

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E
CONTABILIDADE
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO
DOUTORADO INTERINSTITUCIONAL – USP / UEA**

Gilson de Lima Lira

**Indústria 4.0: os impactos das tecnologias habilitadoras nas estratégias de
operações**

**São Paulo
2020**

Prof. Dr. Vahan Agopyan
Reitor da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Fábio Frezatti
Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade

Prof. Dr. Moacir de Miranda Oliveira Junior
Chefe do Departamento de Administração

Prof. Dr. Eduardo Kazuo Kayo
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Administração

GILSON DE LIMA LIRA

Indústria 4.0: os impactos das tecnologias habilitadoras nas estratégias de operações

Versão original

Tese apresentada ao Departamento de Administração da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Administração.

Orientadora: Profa. Dra. Adriana Marotti de Mello

São Paulo
2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação (CIP)

Ficha catalográfica com dados inseridos pelo autor

de Lima Lira, Gilson
Indústria 4.0: os impactos das tecnologias habilitadoras nas estratégias
de operações / Gilson de Lima Lira
-- São Paulo, 2020.
143 p.

Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 2020
Orientadora: Adriana Marotti de Melo.

1. Indústria 4.0 2. Tecnologias habilitadoras 3. Estratégias 4. Operações /
produção. I. Universidade de São Paulo. Faculdade de Economia,
Administração e Contabilidade II. Título.

Título: Indústria 4.0: os impactos das tecnologias habilitadoras nas estratégias de operações

Tese apresentada ao Departamento de Administração, da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título Doutor em Administração.

Aprovado em: ____ / ____ / ____

Banca Examinadora

Prof. Dr.

Instituição:

Julgamento:

Prof. Dr.

Instituição:

Julgamento:

Prof. Dr.

Instituição:

Julgamento:

Profa. Dra.

Instituição:

Julgamento:

Profa. Dra.

Instituição:

Julgamento:

A todos os trabalhadores anônimos do Polo Industrial de Manaus que, nas funções mais simples ou nas mais complexas, têm ajudado nosso Estado e o Brasil a crescer.

AGRADECIMENTOS

A Deus, sempre presente em minha vida.

À professora Adriana Marotti pelas precisas orientações ao longo desta jornada.

Aos gestores que com competência e boa vontade colaboraram nesta pesquisa: Luis Viana (Star Seiki), Ricardo Piva (Tutiplast/ Springer), Lilian Cardozo (Pastore), Arinaldo Brito (Pst / Philips), Odenildo Bruce (LG), Fernando Canto (Digitron), Marcos Oliveira (Panasonic), Ricardo Alberto (Panasonic), Roberto Foradini (Flex), Romulo Souza (Pst / Philips) Wagner Cabral (Unicoba) e Frederico Aguiar (SUFRAMA).

A toda a minha família, em especial à minha mãe, força inspiradora no caminho dos estudos.

“A ciência é a cultura da dúvida.”

Richard Feynman

RESUMO

Lira, G. L. (2020). *Indústria 4.0: os impactos das tecnologias habilitadoras nas estratégias de operações* (Tese de Doutorado). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Nos últimos anos, diferentes organizações mundiais e, de forma muito mais intensa, as empresas do setor industrial, voltaram suas preocupações para um forte movimento tecnológico que a academia e o mundo corporativo denominaram Indústria 4.0. Este movimento, que tem suas origens na Alemanha em 2011, parte de um programa de recuperação do seu parque industrial, o *Industry 4.0 platform*, programa este concebido para fazer frente às crescentes ameaças competitivas vindas de países asiáticos. Além do programa alemão, outros países vêm empreendendo estudos e iniciativas semelhantes, estando o polo industrial de Manaus – por ter um grande parque de empresas tecnológicas e com processos complexos –, inserido também neste cenário mundial. Adaptar-se aos novos avanços tecnológicos está sendo um dos grandes desafios das empresas instaladas no polo, que iniciam neste momento diversas mudanças em suas atividades operacionais de produção, implantando novos sistemas computacionais, denominados tecnologias habilitadoras, através dos quais buscam uma maior eficiência em suas operações. Neste contexto, o propósito principal deste estudo é responder à seguinte pergunta de pesquisa: como as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 impactam os objetivos estratégicos de desempenho? Para tanto, pretende-se neste trabalho, como objetivo geral, analisar o impacto causado nas empresas do Polo Industrial de Manaus pela adoção das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 e, especificamente, a pesquisa se propõe a verificar o impacto das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 nas tipologias de estratégia de operações em qualidade, flexibilidade e custos. A pesquisa de campo, de natureza qualitativa, foi realizada através de entrevistas com gestores de 12 empresas pertencentes à cadeia de empresas do polo eletroeletrônico. Seus principais resultados apontam para um uso frequente de sistemas computacionais de integração de máquinas, como o uso da tecnologia habilitadora M2M – *machine-to-machine*, o uso de *robots autonomus* em atividades que antes envolviam operações manuais, sistemas CPS-*Cyber Physical System*, *IoT- Internet of things*, *Big Data* e *Cloud*. A aplicabilidade destes sistemas confirma as hipóteses de que o uso de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 afeta os objetivos de desempenho – qualidade, flexibilidade e custos –, impactando os fatores competitivos: satisfação dos clientes, velocidade de mudanças e redução de custos.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Tecnologias habilitadoras. Estratégias. Operações/produção.

ABSTRACT

Lira, G. L. (2020). *Industry 4.0: the impacts of enabling technologies on operations strategies* (Tese de Doutorado). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo.

In recent years, different world organizations and, in a more intensive way, companies in the industrial sector, have turned their concerns to a strong technological movement that the academy and the corporate world called Industry 4.0. This movement, which had its origins in Germany in 2011, started out of a program to recover its industrial park, the Industry 4.0 platform, a program designed to face the growing competitive threats from Asian countries. In addition to the German program, other countries have been undertaking similar studies and initiatives, with the industrial pole of Manaus, which has a large park of technological companies and with complex processes, inserted in the advancement of this theme. This is, therefore, one of the great challenges of companies installed in the pole, which are currently initiating several changes in their operational production activities, implementing new computer systems called enabling technologies. In this context, the main purpose of this study is to answer the following research question: How do enabling technologies in Industry 4.0 impact strategic performance objectives? For this purpose, this work intends, as general objective, to analyze the impact caused, in the companies of the Industrial Pole of Manaus, by the adoption of enabling technologies of Industry 4.0. Specifically, the research aims to verify the impact of enabling technologies of Industry 4.0 in the types of operations strategy in quality, flexibility and costs. The field research carried out, of a qualitative nature, was conducted through interviews with managers of 12 companies belonging to the chain of companies of the electro-electronic pole. Its main results point to a frequent use of computer systems for machine integration, like the use of enabling machine-to-machine (M2M) technology, the use of robots in activities that previously involved manual operations, and the use of CPS - Cyber Physical Systems. The use of these systems confirm the hypotheses according to which the use of enabling technologies in Industry 4.0 affects the performance objectives: quality, flexibility and costs, therefore impacting competitive factors on customer satisfaction with reduced waste, speed of change and cost reduction.

Keywords: Enabling Technologies. Strategies. Operations/production.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Guildas ou corporações de ofício	27
Figura 2 - Máquina de fiar	28
Figura 3 - Tear mecânico	29
Figura 4 - Máquina a vapor	29
Figura 5 - Produção em série	31
Figura 6 - Sistema Lean Manufacturing - Toyota.....	32
Figura 7 - Processo de Evolução Industrial	34
Figura 8 - Funcionamento da IoT	36
Figura 9 - Diagrama Cloud Computing	38
Figura 10 - Tipos de serviços Cloud Computing	38
Figura 11 - Arquitetura da Computação Névoa.....	39
Figura 12 - <i>Big Data</i>	41
Figura 13 - Sistemas Ciberfísicos	42
Figura 14 - Digital Twin	44
Figura 15 - Realidade Aumentada	46
Figura 16 - Funcionamento da impressão 3D	48
Figura 17 - Funcionamento RFID (Rádio Frequência).....	49
Figura 18 - Funcionamento do QR CODE.....	50
Figura 19 - Segurança na Nuvem, Aplicação em Dispositivos em IoT.....	51
Figura 20 - Sistema Machine-to-Machine M2M	53
Figura 21 - Procedimentos para a pesquisa bibliográfica	76
Figura 22 - Fluxograma das etapas da pesquisa.....	93
Figura 23 - Modelo Teórico Conceitual da Pesquisa.....	95
Figura 24 - Faturamento Polo Industrial de Manaus - PIM	98
Figura 25 - Mão-de-obra do Polo Industrial de Manaus - PIM	99
Figura 26 - Participação dos Subsetores de Atividades no Faturamento do PIM.....	100
Figura 27 - Cadeia de Empresas Pesquisadas	101
Figura 28 - Empresa 1: Relatório síntese do conteúdo das entrevistas.....	112
Figura 29 - Empresa 2: Relatório síntese do conteúdo das entrevistas.....	113
Figura 30 - Empresa 3: Relatório síntese do conteúdo das entrevistas.....	114
Figura 31 - Empresa 4: Relatório síntese do conteúdo das entrevistas.....	115
Figura 32 - Empresa 5: Relatório síntese do conteúdo das entrevistas.....	116

Figura 33 - Empresa 6: Relatório síntese do conteúdo das entrevistas	117
Figura 34 - Empresa 7: Relatório síntese do conteúdo das entrevistas	118
Figura 35 - Empresa 8: Relatório síntese do conteúdo das entrevistas	119
Figura 36 - Empresa 9: Relatório síntese do conteúdo das entrevistas	120
Figura 37 - Empresa 10: Relatório síntese do conteúdo das entrevistas	121
Figura 38 - Empresa 11: Relatório síntese do conteúdo das entrevistas	122
Figura 39 - Empresa 12: Relatório síntese do conteúdo das entrevistas	123

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características Robóticas	43
Quadro 2 - Fatores Competitivos.....	72
Quadro 3 - Quantidade de artigos publicados por termo pesquisado na base Scopus.....	77
Quadro 4 - Análise dos dez artigos mais citados relacionados ao termo Industry 4.0 na subárea de business and management	81
Quadro 5 - Análise dos dez artigos mais citados relacionados ao termo Advanced Manufacturing na subárea de business and management.....	83
Quadro 6 - Análise dos dez artigos mais citados relacionados ao termo Industrial Internet na subárea de business and management	85
Quadro 7 - Percentual de publicações por Revistas dos temas abordados	87
Quadro 8 - Diretrizes Teóricas e Conceitos Relevantes para a Pesquisa	96
Quadro 9 - Análise das entrevistas	106
Quadro 10 - Resumo das tecnologias por empresas e seus impactos.....	124

LISTA DE ABREVIATURAS

ACATECH	Academia Alemã de Ciências e Engenharia
AGVs	<i>Automated Guided Vehicles</i>
AOI	<i>Automatic Optical Inspection</i>
AR	<i>Augmented Reality</i> - Realidade Aumentada
B2C	<i>Business-to-Consumer</i>
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social
C2B	Consumer-to-Business
CAD	Computer Aided Desing (Projeto Auxiliado por Computador)
CAE	Computer Aided Engineering (Engenharia Auxiliada por Computador)
CAPP	Computer Aided Process Planning (Planejamento do Processo Auxiliado por Computador)
CAQ	Computer Aided Quality (Qualidade auxiliada por computador)
CEOs	<i>Chief Executive Officer</i>
CIM	<i>Computer Integrated Manufacturing</i> (Manufatura Integrada por Computador)
CLP	Controlador Lógico Programável
CN	Controle Numérico
CNC	Controle Numérico por Computador
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CPS	<i>Cyber Physical System</i>
CVM	Comissão de Valores Mobiliários
DIISRTE	<i>Department of Industry, Innovation, Science, Research and Tertiary Education</i>
EDI	<i>Eletronic Data Interchange</i> (Intercâmbio Eletrônico de Dados)
EMBRAPII	Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i>
FMS	<i>Flexible Manufacturing Systems</i>
GSM	<i>Glogal System for Mobile</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HMD	<i>Head Mounted Display</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
IA	Inteligência Artificial

IBM	International Business Machines
IoT	<i>Internet of Things</i>
KETs	<i>Key Enabling Technologies</i>
M2M	<i>Machine-to-Machine</i>
MA	<i>Additive Manufacturing</i> (Manufatura Aditiva)
MIT	Massachussets Institute of Tecnology
MRP	<i>Material Requirements Planning</i> (Planejamento dos Recursos Materiais)
OPT	<i>Optimized Production Technology</i> (Tecnologia de Produção Otimizada)
P&D	Pesquisa e desenvolvimento
PAAS	Plataforma como Serviço
PCI	Placa de Circuito Impresso
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PIB	Produto Interno Bruto
PIM	Polo Industrial de Manaus
QR Code	Código de Resposta Rápida
RAMI	<i>Reference Architectural Model for Industry</i>
RFID	Identificação por radiofrequência
SAAS	<i>Software</i> como Serviço
SLA	<i>Stereolithography</i>
SLS	<i>Selective Laser Sintering</i>
SMD	<i>Surface Mount Device</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>
SMT	<i>Surface Mount Technology</i>
SSL	<i>Secure Sockets Layer</i>
SUFRAMA	Superintendência da Zona Franca de Manaus
TI	Tecnologia da Informação
TICs	Tecnologias de Informação e Comunicação
TLS	<i>Transport Layer Security</i>
WWW	<i>World Wide Web</i>
ZFM	Zona Franca de Manaus

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA	25
1.2	ORGANIZAÇÃO DA TESE.....	25
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	27
2.1	INDÚSTRIA 4.0.....	27
2.1.1	Evolução Histórica Industrial	27
2.1.2	Primeira Revolução Industrial	28
2.1.3	Segunda Revolução Industrial	30
2.1.4	Terceira Revolução Industrial	31
2.1.5	Quarta Revolução Industrial – Indústria 4.0	33
2.2	TECNOLOGIAS HABILITADORAS PARA A INDUSTRIA 4.0.....	35
2.2.1	Internet of Things (IoT)	36
2.2.2	Cloud Computing and Fog Computing	37
2.2.3	Big Data e Analytics	40
2.2.4	Cyber Physical System – CPS	41
2.2.5	Autonomus robots	43
2.2.6	Simulation	44
2.2.7	Augmented Reality	45
2.2.8	Additive Manufacturing	46
2.2.9	Machine learning	48
2.2.10	RFID e QR Code	49
2.2.11	Cyber Security	50
2.2.12	Machine-to-Machine (M2M)	52
2.3	O DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E OS NOVOS DESAFIOS.....	53
2.4	AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO NO POLO DE MANAUS.....	54
2.5	ESTRATÉGIA.....	57
2.5.1	Evolução e Conceitos de Estratégia	57
2.5.2	Evolução da Estratégia de Produção / Operações	59
2.5.3	Os avanços da tecnologia nas atividades de produção	60
2.6	ESTRATÉGIA DAS OPERAÇÕES / PRODUÇÃO	63
2.6.1	As Atribuições das Atividades de Produção	63

2.6.1.1	<i>Estágios da contribuição das estratégias de produção</i>	64
2.6.2	Estratégias de Produção e os Objetivos de Desempenho	66
2.6.2.1	<i>Objetivos de desempenho</i>	66
2.6.3	Gestão e Estratégia da Produção	68
2.6.3.1	<i>A perspectiva top-down</i>	69
2.6.3.2	<i>A perspectiva bottom-up</i>	70
2.6.3.3	<i>A perspectiva das exigências feitas pelo mercado</i>	72
2.6.3.4	<i>A perspectiva relacionada aos consumidores</i>	72
2.6.4	O Processo da Estratégia da Produção	73
2.6.4.1	<i>O Processo e os Trade-Offs entre os objetivos de desempenho</i>	74
2.7	ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA - O ESTADO DA ARTE DA INDÚSTRIA 4.0.	75
2.7.1	Metodologia para o Estudo do Estado da Arte	76
2.7.2	Coleta de Dados	77
2.7.3	Análise dos Dados	77
2.7.3.1	<i>Primeira etapa</i>	78
2.7.3.1.1	Industry 4.0	78
2.7.3.1.2	Advanced Manufacturing.....	78
2.7.3.1.3	Industrial Internet.....	79
2.7.3.2	<i>Segunda etapa</i>	80
2.7.3.2.3	Industrial Internet.....	85
2.7.4	Publicações	87
2.7.5	Publicações por países	87
2.7.6	Considerações sobre o estado da arte	88
3	MÉTODO	91
3.1	ESTRATÉGIA DE PESQUISA ADOTADA: QUALITATIVA	91
3.2	MÉTODO DE PESQUISA ADOTADO: ESTUDO DE CASO	92
3.2.1	Definição da Questão de Pesquisa e Hipóteses	94
3.2.2	Diretrizes Teóricas e Síntese do Referencial Teórico	96
3.2.3	Estratégia de Pesquisa	96
3.2.3.1	<i>Estudo de Caso: O Polo Industrial de Manaus – PIM</i>	97
3.3	PESQUISA DE CAMPO / COLETA DE DADOS	101
3.4	ANÁLISE DOS DADOS	105
4	RESULTADOS	111
4.1	FORNECEDORES DE ROBÔS.....	111

4.2	FORNECEDORES DE INJEÇÃO PLÁSTICA.....	112
4.3	FORNECEDORES DE MÁQUINAS / PROCESSO SMT	115
4.4	FORNECEDORES DE PLACAS / PCI MONTADAS	116
4.5	PRODUTO FINAL (MONTADORAS).....	119
4.6	RESUMO DAS TECNOLOGIAS POR EMPRESAS E SEUS IMPACTOS.....	124
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	125
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	129
	REFERÊNCIAS.....	133
	APÊNDICE	141

1 INTRODUÇÃO

O termo Indústria 4.0 surgiu na Alemanha, denominando um programa de recuperação e atualização do seu parque industrial, o *Industry 4.0 platform*, programa este concebido para fazer frente a crescentes ameaças competitivas estrangeiras provenientes de países orientais (Vogel-Heuser & Hess, 2016). O programa alemão traz em seu bojo um direcionamento que vem sendo demonstrado desde a escolha do seu nome, apontando para uma nova revolução industrial, qual seja, a quarta revolução industrial, representada pelo conceito de Indústria 4.0, com a finalidade de suceder a primeira, marcada pela máquina a vapor, a segunda, pelas máquinas elétricas, e a terceira, pela informática e automatização da indústria (Sergi, 2015).

A Indústria 4.0 pode trazer impactos em diferentes áreas como nas estratégias de operações, nos produtos, nos processos de fabricação e nas atividades de serviços em que se aplicam os princípios dos sistemas ciberfísicos (CPS), com tecnologias orientadas para sistemas inteligentes. As tecnologias da Indústria 4.0 permitem uma identidade de comunicação para cada atividade no fluxo de valor de uma organização, e levaria à customização em massa, comandada por uma grande capacidade de tecnologias da informação (Lasi, Fettke, Kemper, Feld & Hoffmann, 2014; Posada, J., Toro, C., Barandiaran, I., Oyarzun, D., Stricker, D., Amicis, Pinto, E. B., Eisert, P., Dollner, J., & Vallarino, I., 2015; Valdez, Brauner, Schaar, Holzinger, & Ziefle, 2015).

O termo Indústria 4.0 é fundamentado em atividades tecnológicas de grande interconectividade, denominadas *Internet of Things*, com seus pilares apoiados em tecnologias habilitadoras como *Big Data*, *Cloud Computing*, *Autonomous Robot*, *Simulation*, *Additive Manufacturing*, *Machine Learning*, entre outras. A quarta revolução industrial é a interseção de todas as tecnologias (Lee, 2016).

Além do programa alemão, outros países vêm empreendendo estudos e iniciativas semelhantes. Os Estados Unidos, por exemplo, desenvolvem dois programas de forte impacto mundial, o *Industrial Internet Consortium*, promotor do termo *Industrial Internet of Things* (IIoT) e o *Advanced Manufacturing Leadership Coalition*, gerador do termo *Advanced Manufacturing*. Outros movimentos regionais importantes são o *Nouvelle France Industrielle*, da França, *European Factory of the Future Research Association*, da União Europeia e *Smart Industry*, da Holanda (Toro, Barandiaran, & Posada, 2015). Como resposta, países orientais com importantes economias industriais também apresentaram programas como o *Made in China 2015*, da China, e *Manufacturing Innovation 3.0*, da Coreia do Sul.

No Brasil, embora não exista ainda uma organização voltada especialmente para o desenvolvimento desses programas, o poder público criou dois grupos de pesquisas: um coordenado pelo Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e outro pela Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII). Segundo um estudo realizado pela Confederação Nacional da Indústria para avaliar o nível de alinhamento da indústria brasileira com as tecnologias do conceito Indústria 4.0, o Brasil apresenta um nível ainda muito baixo, em torno de 2%. Na Alemanha, um levantamento de 2016, mostra que mais de 40% das fábricas já adotaram tecnologias e processos alinhados aos padrões da Indústria 4.0 (CNI, 2018).

No Amazonas, o Polo Industrial de Manaus abriga diversas empresas nos segmentos eletroeletrônico, duas rodas e relojoeiro. As atividades destes segmentos e suas estratégias de produção / operações estão sendo impactadas pela revolução 4.0, e estes impactos modificarão seus desempenhos. O Polo Industrial é o principal vetor de desenvolvimento da região amazônica e responde hoje por mais de 90% do produto interno bruto do Estado do Amazonas, sendo responsável por mais de 500.000 empregos diretos e indiretos, fatores estes que o tornam um modelo de desenvolvimento, essencial para o Estado e regiões (SUFRAMA, 2018). O segmento eletroeletrônico, que será o objeto desta pesquisa, é o setor mais importante do ponto de vista econômico para o polo, pois responde por mais de 33% do faturamento, além de representar um alto índice de envolvimento de mão de obra.

Diante de tais considerações e de sua relevância, este trabalho tem como questão de pesquisa: **Como as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 impactam os objetivos estratégicos de desempenho?**

A tese terá como Objetivo Geral analisar o impacto causado nas empresas do Polo Industrial de Manaus pela adoção de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0.

Como Objetivos Específicos, a pesquisa se propõe a verificar o impacto das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 nas tipologias de estratégia de operações em qualidade, flexibilidade e custos.

A pesquisa será direcionada pela abordagem qualitativa, pelo método descritivo e correlacional em um estudo de caso. Sua contribuição para a academia se fará com o desenvolvimento teórico, conceitual, do tema Indústria 4.0. Contribuirá também com o estudo das teorias e práticas gerenciais em atividades de operações, e será útil ainda como apoio a tomadas de decisão, a fim de que as empresas pesquisadas mantenham-se competitivas em seus mercados, e assim possam contribuir para o futuro do Polo Industrial de Manaus.

1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA

Empresas de diversos segmentos no mundo e, especialmente, empresas com atividades industriais, vêm constantemente buscando um aprimoramento em suas operações em atividades que promovem uma busca por melhor eficiência. Nas atividades de operações, destacam-se diversas ações em busca pela melhoria contínua, através dos objetivos de desempenho estratégicos voltados para atingir metas de produção. As atividades estratégicas de operações inauguradas por Skinner (1969) desenvolveram-se a partir de seus artigos seminais, com diversas contribuições importantes, assim como contribuições de Hayes e Wheelwright (1994). As estratégias de operações / produção estão relacionadas ao padrão de decisões e às ações estratégicas que se direcionam para o papel, os objetivos e atividades que buscam atingir metas planejadas. Neste momento, diversas empresas experimentam uma nova ordem em suas atividades, que o mundo empresarial e a academia vêm denominando Indústria 4.0 ou manufatura inteligente, que se traduz em um novo modelo de produção apoiado em tecnologias habilitadoras que impactam diretamente os objetivos estratégicos de desempenho, principalmente no segmento industrial.

O Polo eletroeletrônico de Manaus, onde será desenvolvida a pesquisa, vem praticando atividades relacionadas a Indústria 4.0 em suas operações, por meio do uso das tecnologias habilitadoras. Portanto, o presente trabalho investigará estas atividades, e ao final responderá à questão problema: como as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 vêm impactando os objetivos estratégicos de desempenho?

1.2 ORGANIZAÇÃO DA TESE

A tese está organizada a partir de um capítulo introdutório, onde está descrita uma visão geral do tema Indústria 4.0, com uma abordagem sobre as origens deste movimento mundial indo até os seus impactos nas indústrias do polo de Manaus. O capítulo 2 aborda o referencial teórico, e nele se discute primeiramente a evolução histórica do mundo industrial, que se inicia com a indústria 1.0, até nossos dias com a revolução 4.0. Segue-se um estudo sobre as tecnologias habilitadoras com suas características específicas, e as evoluções e conceitos sobre estratégias nas atividades de operações / produção. Ainda como referencial teórico foi elaborada uma análise bibliométrica, com o estudo do estado da arte do termo Indústria 4.0 na base Scopus. No capítulo 3 temos a descrição da metodologia com as estratégias de pesquisa utilizadas, seguida pela apresentação do estudo do caso. No capítulo 4 apresentamos os

resultados da pesquisa em forma de relatórios, com uma síntese do que foi declarado pelos gestores a respeito do uso das tecnologias habilitadoras em seus processos operacionais. O capítulo 5 traz uma discussão sobre os resultados obtidos. Finalizando, o capítulo 6 apresenta as considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 INDÚSTRIA 4.0

2.1.1 Evolução Histórica Industrial

A forma de produção industrial que temos hoje pode ser analisada e explicada a partir do início das associações profissionais surgidas na baixa idade média (séculos XIII ao XV) denominadas guildas (Figura 1). A estrutura de guildas, ou corporações de ofício medievais, era também conhecida como manufatura artesanal, e foi a precursora da organização moderna (Hardy & Clegg, 2001). O surgimento das guildas estava relacionado ao processo de renascimento comercial e urbano que ocorreu nesse período. Nas guildas, os produtos eram fabricados em pequenas quantidades, em oficinas especializadas, onde eram manufaturados por artesãos, mestres naquilo que faziam.

Figura 1 - Guildas ou corporações de ofício



Fonte: imagens Google 2019.

Para iniciar o aprendizado era necessário entrar na estrutura de guildas a partir de sua base: iniciavam-se as tarefas como aprendiz, quando os rudimentos da profissão eram ensinados e postos em prática. O aprendiz, após um longo período de trabalho, que chegava a anos, submetia-se a uma série de regras técnicas, tendo que demonstrar sua habilidade nas tarefas de manufatura, subordinação ao superior e domínio da arte da fabricação local. Passava, então, à categoria de jornaleiro. Como jornaleiro, ou seja, cumpridor de jornadas de trabalho, passava a trabalhar em outras oficinas, aprendendo com outros mestres o ofício, para adquirir a maestria

de conhecer todo um processo de fabricação quando, então, ao final dos longos tempos de aprendizado e experiência, passaria à condição de mestre.

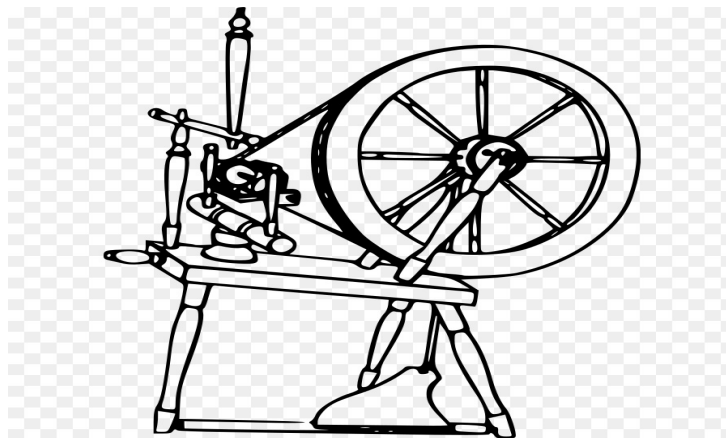
Uma vez mestre, este detinha o conhecimento de todo o processo de fabricação dos bens que produzia, assim como os seus segredos em relação à produção, que se iniciava na compra das matérias-primas, fabricação, até os mercados e vendas dos bens fabricados. Poucas pessoas naquela época tinham acesso a esses bens por essas manufaturas artesanais, uma vez que era muito elevado o valor daqueles produtos, pois tinham baixa escala de produção. Assim, apenas a parte mais abastada da população podia adquiri-los.

Desta maneira, a manufatura artesanal podia ser caracterizada pelo baixo volume de produção, produtos não padronizados, altos custos de produção, baixa qualidade, trabalhadores altamente qualificados que dominavam todo o processo de produção – do projeto até a comercialização, estando sempre em contato com os consumidores –, o uso de ferramentas comuns, entre outros.

2.1.2 Primeira Revolução Industrial

Como havia uma escassez de produtos manufaturados de forma artesanal, famílias começaram a reunir seus parentes para produzir bens e serviços, a fim de atingir os altos ganhos dos artesãos e atender a uma demanda crescente. Ao mesmo tempo que a população crescia e demandava por aumentos das quantidades das manufaturas artesanais, o inventor inglês James Hargreaves, em 1767, criou a primeira máquina de fiar (Figura 2), construída toda em madeira, que passou a ser utilizada amplamente na Inglaterra.

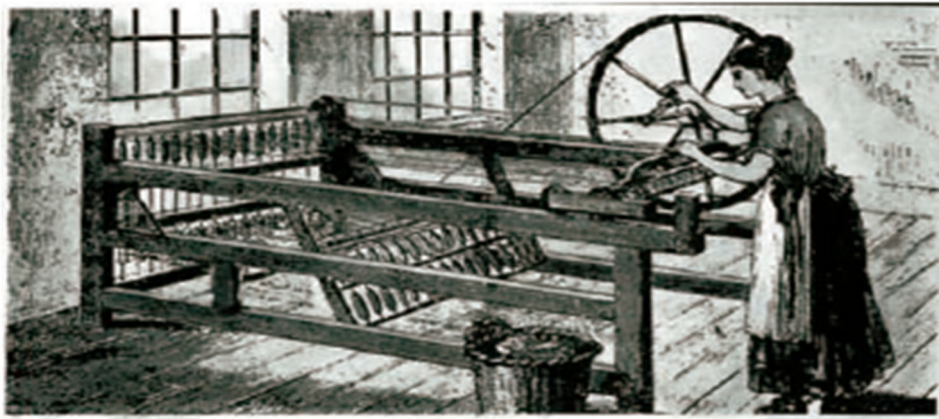
Figura 2 - Máquina de fiar



Fonte: imagens Google 2019.

Com o surgimento do tear mecânico (Figura 3), inventado por Edmund Cartwright em 1785, as empresas familiares, proprietárias de rocas de tear, tornaram-se não competitivas e passaram a trabalhar para os donos dos meios de produção, os capitalistas, marcando, assim, o surgimento da classe operária, cuja jornada de trabalho chegava a dezesseis horas por dia e empregava, na manufatura, e adolescentes, entre outros, ganhando baixos salários (Revolução Industrial Inglesa, 1999).

Figura 3 - Tear mecânico

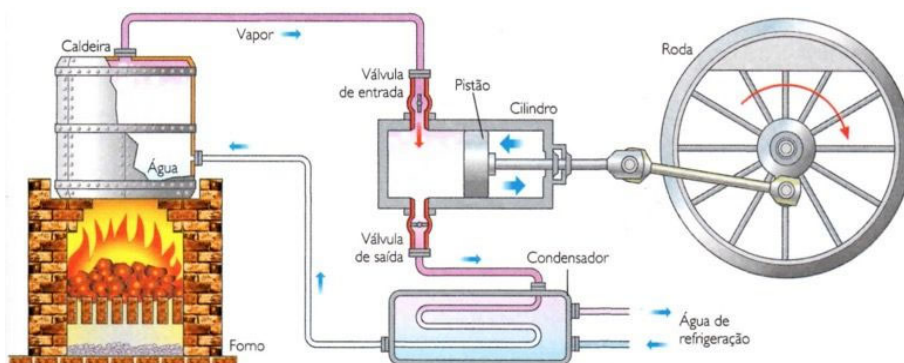


Fonte: imagem Google 2019.

Em seguida, outra inovação significativamente impactante para a época foi desenvolvida pelo inglês Richard Arkwright, que criou em 1769 o tear hidráulico, um avanço em relação ao tear mecânico, e que passou a ser usado também na indústria de tecidos, contribuindo com o aumento da produtividade industrial daquela época.

Em 1769, James Watt começou o aperfeiçoamento da máquina a vapor (Figura 4). Estes equipamentos podiam ser operados por mão de obra não especializada, marcando o início da tecelagem industrial na Inglaterra, o que se convencionou chamar de Primeira Revolução Industrial.

Figura 4 - Máquina a vapor



Fonte: imagens Google 2019.

2.1.3 Segunda Revolução Industrial

Houve um aumento da produção do aço, gerada pelos altos-fornos e coque a partir do século XIX (Noldin Jr., 2002), que colaborou com a fabricação de uma série de equipamentos e máquinas mais modernas que as de madeira de até então. Estas novas condições juntamente com o uso da energia elétrica para fins industriais deram grande impulso à manufatura. A construção e o desenvolvimento das estradas de ferro permitiram um eficiente meio de transporte de mercadorias e pessoas, contribuindo assim, com o progresso naquele período (Ferreira, Reis & Pereira, 2011).

Entre 1825 e 1870, a cidade de Cincinnati, em Ohio, tornou-se o maior centro de manufatura e comercial do Oeste dos Estados Unidos, isso em razão de essa região ter sido o berço da centralização da produção. Quando as empresas se tornaram especialistas em produzir determinados produtos, elas também adotaram a divisão e a especialização do trabalho, inspiradas no livro de Adam Smith, *A riqueza das nações*, publicado em 1776, gerando, assim, a produção em massa, o que possibilitou a Cincinnati tornar-se uma das maiores produtoras de carne e seus subprodutos (Gordon, 1990).

Vários empresários foram a Cincinnati, a fim de conhecer esse novo processo de produção, a manufatura em massa.

Com o avanço da produção industrial, surge a figura do engenheiro mecânico americano Frederick Taylor (1856-1915), que desenvolveu a racionalização do trabalho e aperfeiçoou a divisão do trabalho em etapas múltiplas, marcando o início da Segunda Revolução Industrial (Ferreira, Reis & Pereira, 2011).

Considerado o pai da Administração Científica, Taylor propôs a utilização de métodos cartesianos na administração de empresas. Seu foco era a eficiência e eficácia operacional na administração industrial. Frederick Taylor acreditava que oferecendo instruções sistemáticas e adequadas aos trabalhadores, ou seja, treinando-os, haveria possibilidade de fazê-los produzir mais e com melhor qualidade. Ele também afirmava que todo e qualquer trabalho necessita, preliminarmente, de um estudo, para que seja determinada uma metodologia própria, visando sempre o seu máximo desenvolvimento.

O empresário americano Henry Ford teve importante papel na expansão da produção industrial, ao adaptar a manufatura artesanal de produção de carros para uma nova forma de produção, com um sistema sequencial em linhas de montagem, em uma forma de produção em série (Figura 5). Ford buscava a diminuição dos custos de produção e procurava pagar aos seus funcionários um salário que tornasse possível a eles adquirir os carros que fabricavam.

Figura 5 - Produção em série



Fonte: imagens Google 2019.

Não obstante, o trabalho repetitivo, a forte supervisão e a hierarquia similar à militar fizeram a rotatividade da força de trabalho chegar a mais de 50% nas fábricas da Ford. Isso contribuiu para o surgimento de novas formas de administração da produção e motivou a criação de filmes críticos à manufatura em massa, como *Tempos Modernos*, de Charles Chaplin, que mostra a pressão a que os funcionários eram submetidos nas linhas de produção.

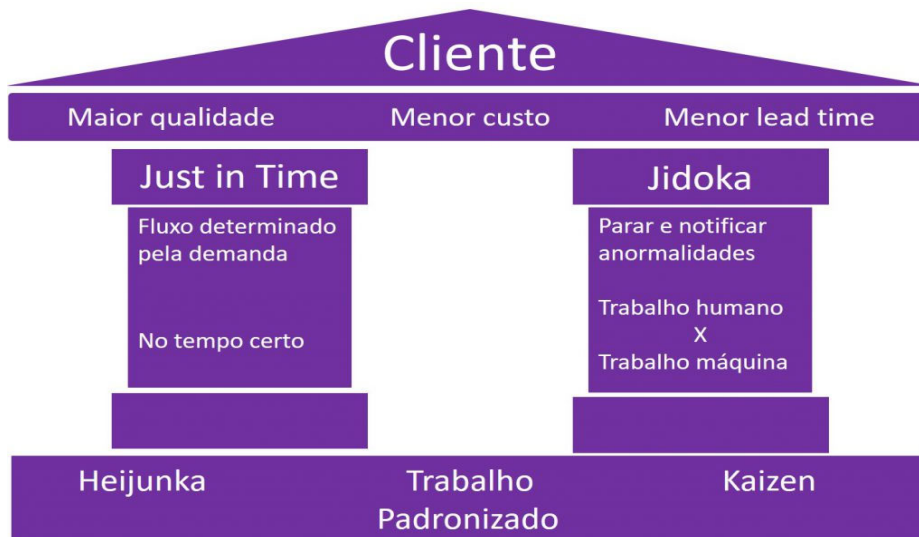
A manufatura em massa reduziu os custos de produção e, conseqüentemente, o preço do produto ao consumidor, propiciando que uma parcela maior da sociedade pudesse adquirir bens e serviços. Trouxe também a padronização de produtos, com a inflexibilidade para produzir o que não estava massificado, e a verticalização das empresas, que procuravam dominar todo o ciclo de produção, da matéria-prima à venda dos produtos.

2.1.4 Terceira Revolução Industrial

A Segunda Guerra Mundial teve seu fim em 1945, e foi um período muito difícil para a humanidade, com muitas perdas, em que diversos países tiveram suas economias devastadas, dentre estes o Japão. O governo japonês lançou um pacote incentivando toda a nação a reduzir desperdícios, para aproveitar ao máximo os recursos disponíveis que lhe restaram. Por esse motivo, a Toyota não tinha como copiar o sistema de produção em massa de Ford. No entanto, com a grande necessidade de ser competitiva, criou o Sistema Toyota de Produção, onde se inclui o sistema de produção enxuta, ou *lean manufacturing* (Figura 6), no Japão. Esse sistema foi desenvolvido pelos engenheiros Eiji Toyoda e Taiichi Ohno (Elias & Magalhães, 2003) e tem por base a ideia da redução de desperdícios ao mínimo, eliminação de perdas, não produção

do que não agregue valor ao produto, preocupação constante com a qualidade desde o projeto do produto, bom desempenho do processo de manufatura, produção conforme a demanda dos clientes (produção puxada), padronização, redução de estoques, parceria entre fornecedor e produtor, redução do ciclo de desenvolvimento de produtos e automação.

Figura 6 - Sistema Lean Manufacturing - Toyota



Fonte: imagens Google 2019.

No início dos anos 60, surgem os controladores lógicos programáveis (CLP), facilitando a automação industrial. A indústria eletrônica foi evoluindo com o tempo, reduzindo seus custos e, com maior capacidade de atender a novos e maiores desafios e a Tecnologia da Informação (TI), passou a ser usada intensamente para apoio e controle da produção.

Surgem os controles de programação da produção como os sistemas *Material Requirements Planning* (MRP), para controle da necessidade de componentes/matéria-prima, e avança para o sistema de *Manufacturing Resources Planning* (MRP II), que, além do controle de materiais, gerencia os recursos industriais, e do *Enterprise Resources Planning* (ERP), que integra todo o processo industrial à empresa (Mourtzis, 2015).

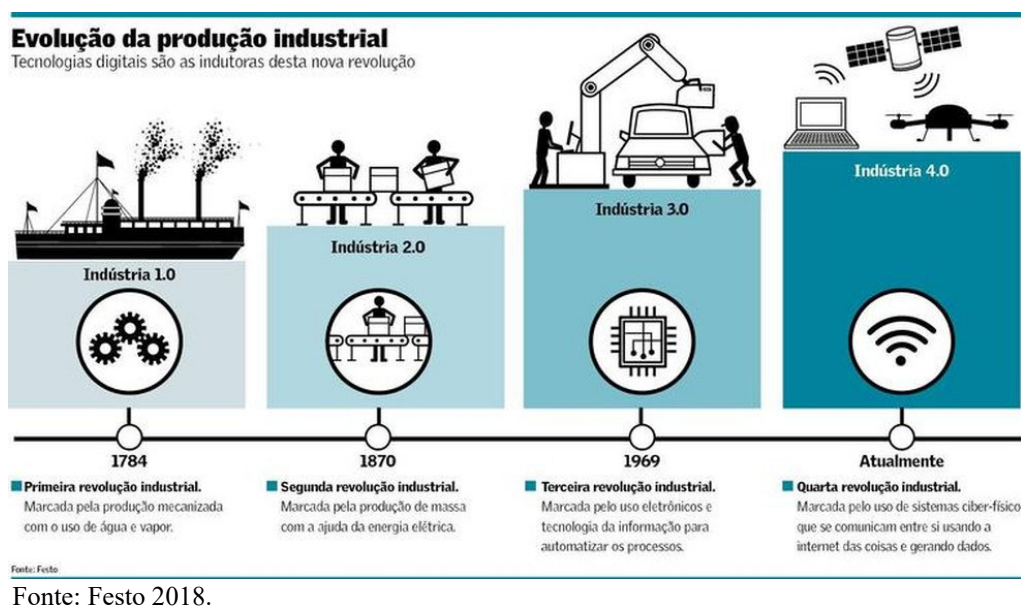
O *lean manufacturing* ou produção enxuta, a automação e o uso intensivo da Tecnologia da informação - TI, ampliaram os ganhos para a indústria em geral, que já vinham se expandindo. A este período convencionou-se a chamar Terceira Revolução Industrial.

2.1.5 Quarta Revolução Industrial – Indústria 4.0

O período industrial atual que vem ganhando a denominação de Indústria 4.0 pode também ser chamado quarta revolução industrial, caracterizando-se pelo desenvolvimento de alta tecnologia, em que sistemas automatizados e que controlam equipamentos industriais podem comunicar-se, trocando informações/dados entre máquinas e pessoas, de forma a otimizar e a tornar mais eficiente todo o processo industrial. A quarta revolução surgiu com a plataforma *Industry 4.0* iniciada na Alemanha, termo este utilizado para demonstrar a atual política tecnológica do país. A inclusão do programa *Industry 4.0* na política industrial do governo alemão foi resultante de uma grande mobilização do meio empresarial que se desenvolveu entre 2011 e 2015. A plataforma foi criada e estabelecida inicialmente como um programa da iniciativa privada, e somente em 2015 foi incorporada à política oficial do governo, ou seja, nasceu como iniciativa do empresariado, com a participação de centros de pesquisa e outras instituições da sociedade civil (Salerno & Zancul, 2017).

Três características principais da plataforma alemã chamaram a atenção dos mais diferentes governos e de empresas de áreas e setores diversos. Primeiro, seu enfoque temático, que busca o desenvolvimento de tecnologias de manufatura avançada potencialmente disruptivas. Segundo, o horizonte de tempo, que não se fixa em processos de curta duração, mas aponta fundamentalmente para o médio e longo prazo. Terceiro, a plataforma alemã também se destaca pela coesão e ampla participação de instituições da sociedade, com representantes da iniciativa privada, da academia, sindicatos de trabalhadores e outras instituições. O consenso alcançado em torno da *Industry 4.0* foi resultado de um grande esforço institucional com origem na iniciativa privada, que permitiu seu lançamento, em 2011, como uma plataforma de convergência e de colaboração em defesa da competitividade da indústria alemã. O termo *Industry 4.0* refere-se a uma sucessão das três revoluções industriais anteriores conforme demonstrado na Figura 7.

Figura 7 - Processo de Evolução Industrial



O termo *Industry 4.0* dá origem a quarta revolução industrial, e é o termo conceitual que foi inicialmente usado na Alemanha para sintetizar diversas diretrizes adotadas pelas empresas alemãs e pelo governo. No entanto, outros países adotaram termos similares como os termos *Advanced Manufacturing* e *Industrial Internet*, termos estes que, por seu conteúdo, tratam também de programas de modernização da indústria. Em função de neste momento diferentes países usarem diferentes denominações para o que se conhece no Brasil como Indústria 4.0, na seção 2.7 deste trabalho está demonstrada uma análise bibliométrica a fim de se obter o estado da arte atual para o tema Indústria 4.0 e suas diferentes denominações, de forma a demonstrar as citações, os autores, os países e as principais publicações que trouxeram artigos relacionados ao tema.

Advanced Manufacturing é o termo usado nos Estados Unidos para o programa similar ao Alemão *Industry 4.0*. Ambos são programas industriais que pretendem ser a expressão de um novo capítulo na trajetória das transformações industriais e prenunciam novas sínteses entre homens, máquinas e a inteligência de *softwares* e algoritmos.

No governo Barack Obama foi lançado, em 2011, o programa *Advanced Manufacturing Partnership*, estruturado para unir o governo federal, a indústria e as universidades em um esforço de desenvolvimento de tecnologias que ajudariam a projetar os Estados Unidos como polo industrial do futuro. A Rede Nacional de Institutos para Inovação na Manufatura, um desdobramento dessa iniciativa, voltou-se para a implantação de centros de excelência, operados e financiados conjuntamente pelo setor público e privado, com foco no

desenvolvimento de pesquisas e tecnologias que respondam a desafios da economia digital (Salerno & Zancul, 2017).

De forma sintética os termos *Industry 4.0* e *Advanced Manufacturing* são utilizados informalmente como sinônimos. Ambos remetem aos esforços para acelerar os processos de digitalização. No conceito alemão, o foco recai sobre a integração da produção fabril. Na visão americana, a abordagem é mais ampla, considerando, entre outros aspectos, a busca por maior integração universidade-empresa para o desenvolvimento de tecnologias emergentes em áreas como desenvolvimento de materiais avançados.

Já o termo *Industrial Internet* refere-se a um movimento formado em 2014, nos Estados Unidos, em colaboração entre indústria, governo e área acadêmica (Lee, J., Kao, H. A. & Yang, S., 2014; Toro et al., 2015). Foi criado para reduzir os riscos do desenvolvimento de tecnologias de manufatura avançada, mediante a criação de padrões e plataforma de teste.

2.2 TECNOLOGIAS HABILITADORAS PARA A INDUSTRIA 4.0

Os segmentos industriais estão constantemente buscando melhorias substanciais em qualidade, flexibilidade e custos. A condição inicial da plataforma da Indústria 4.0 é que equipamentos e objetos com capacidade de comunicação (em geral, aplicações de IoT) devem ser implementados como componentes em todo o processo, caracterizando assim a possibilidade de uma integração entre máquinas (Zezuka, F., Marcon, P., Vesely, I., & Sadjl, O., 2016). Com isso, pode-se observar que a integração de máquinas tem sido objetivo das indústrias no sentido de buscar tecnologias de informação e comunicação para o gerenciamento de processos de maneira eficiente. Na quarta revolução, tem-se a introdução da Internet das Coisas no ambiente de produção. Isso permitirá que as empresas estabeleçam redes globais que incorporem suas máquinas, sistemas de armazenamento e instalações de produção, o que se chama *Cyber Physical Systems* – CPS, ou seja, sistemas integrados que contenham uma parte física e uma integração virtual (Stevan & Santos, 2018). Os processos de fabricação serão conectados em rede, o que permitirá o gerenciamento das atividades de operações em tempo real, desde um novo pedido até a logística de entrega. Na etapa de desenvolvimento deste trabalho, nas entrevistas semiestruturadas com as empresas pesquisadas, foi examinado quais os tipos de tecnologias as empresas vêm utilizando. A seguir apresentamos as diversas características das tecnologias habilitadoras que representam a integração dos processos de fabricação e que podem ser utilizadas na cadeia de fornecedores e nas empresas montadoras do produto final do setor eletroeletrônico.

2.2.1 Internet of Things (IoT)

Internet das Coisas significa redes de eletricidade, *software*, sensores, conectividade de rede e coisas incorporadas a objetos ciberfísicos, coleta ou troca de dados. A Internet das Coisas faz com que os objetos sejam detectados ou controlados por infra-rede, suporta a integração entre sistemas físicos reais e sistemas baseados em computador, e traz vários efeitos, tais como melhoria da produtividade ou economia na fabricação (Kang, H. S., Lee, Y. J., Choi, S., Hyun, K., & Pink, H. J., 2016).

O primeiro pesquisador a utilizar o termo Internet das Coisas foi Keven Asthon, pioneiro em tecnologia do Massachusetts Institute of Technology (MIT), em 1999, durante uma apresentação para executivos da empresa Procter & Gamble, onde o assunto abordado era a ideia de etiquetar produtos para controle eletrônico durante o processo de produção, e esse monitoramento se daria por intermédio de radiofrequência (RFID).

Segundo Santos (2018, p. 28), “A Internet das Coisas (IoT) é a rede de dispositivos e, em geral, as coisas que estão conectadas e se comunicam entre si para realizar determinadas tarefas, sem exigir interação entre humanos ou entre seres humanos”. A IoT trata da junção de dispositivos físicos e virtuais que, conectados à internet, interagem, tais como sinais de wifi, armazenamento em nuvem, sensores, telefones móveis, eletrodomésticos, móveis. O uso dessa tecnologia pode beneficiar vários setores como, por exemplo, indústrias com robôs trabalhando em linha de produção, controle de prédios e casas inteligentes, ou até mesmo uma simples atividade, como uma cafeteria inteligente no escritório. A Figura 8 representa o escopo dos elementos que fazem parte do IoT.

Figura 8 - Funcionamento da IoT



Fonte: <https://azure.microsoft.com/pt-br/overview/iot/>.

De acordo com Faccioni Filho (2016), o conjunto de relações dentro da IoT é composto pelas seguintes funcionalidades: comunicação, cooperação, sensoriamento, atuação. A seguir a descrição do conceito de cada funcionalidade:

- **Comunicação:** é a troca de mensagens entre objetos da IoT.
- **Cooperação:** são ações conjuntas desses objetos, em aplicações cooperadas.
- **Sensoriamento:** consiste na captação de dados de um objeto ou ambiente, por meio de sensores.
- **Atuação:** consiste na ação do objeto sobre um determinado meio, podendo modificar e operar o mesmo.

Empresas da área de tecnologia como Cisco, Microsoft, Intel, entre outras, estão trabalhando para criar mais recursos computacionais e eletrônicos que venham atender a demanda da IoT (Faccioni Filho, 2016). A Anatel, recentemente, publicou a Portaria nº 491, de 10 de abril 2017. No item 35 desse documento, entra em pauta reavaliar a regulamentação, visando diminuir as dificuldades na expansão dessa tecnologia. Os itens a serem analisados são: regras de qualidade, licenciamento, fatores técnicos, logística. Já a empresa Microsoft visa investir 50 bilhões de dólares em IoT nos próximos quatro anos pois está trabalhando com plataforma em nuvem, sistemas operacionais e dispositivos, e poderá oferecer aos clientes uma inovação nos negócios comerciais (Microsoft, 2018).

Em um estudo realizado pela empresa Cisco, estima-se que até o ano de 2020 haverá cerca de 50 bilhões de dispositivos conectados à internet, o que significa fluxo de grandes quantidades de dados.

2.2.2 Cloud Computing and Fog Computing

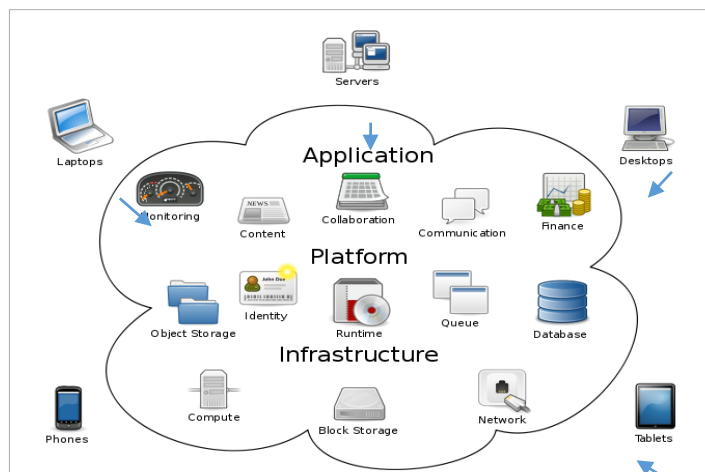
O conceito de computação em nuvem consiste no armazenamento de dados que pode ser acessado de maneira ubíqua ou seja, via rede de qualquer lugar. Para o seu funcionamento são necessários recursos computacionais como, por exemplo, servidores, aplicações, rede e serviços (Souza, 2010).

Uma das vantagens do uso desse recurso é a economia para empresas de grande porte que necessitam armazenar dados. Ao invés de instalar *datacenters* locais (espaços físicos), podem utilizar o espaço virtual que é oferecido pelas empresas provedoras como a Microsoft Azure, que é líder global em serviços de computação em nuvem (Microsoft, 2018).

Quanto à classificação da computação em nuvem, ela divide-se em híbrida, pública e privada.

- **Híbrida:** é composta pela junção dos serviços da nuvem privada e pública. Por exemplo, a empresa pode manter aplicações em níveis público e privado.
- **Privada:** é aquela em que os recursos computacionais estão dedicados a uma organização específica, estão separados de outras empresas.
- **Pública:** é aquela em que os recursos computacionais estão disponíveis para diversos clientes.

Figura 9 - Diagrama Cloud Computing

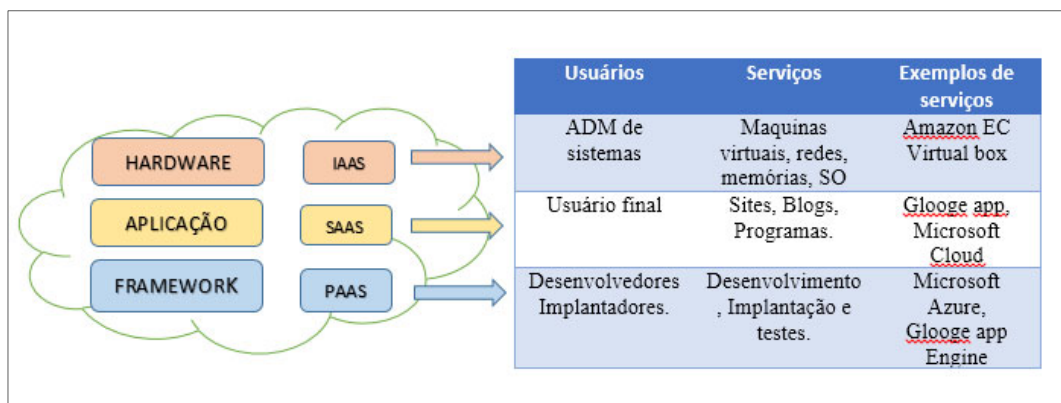


Fonte: Microsoft 2018.

A computação em nuvem é dividida em três modelos de serviços chamados Infraestrutura como Serviço (IAAS), *Software* como Serviço (SAAS) e Plataforma como Serviço (PAAS), que fazem parte da arquitetura computacional de armazenamento de dados (Souza, F., Machado, J., & Moreira, L., 2010).

A Figura 10 exibe esses serviços, a quem são destinados, e exemplos das aplicações de acordo com o serviço.

Figura 10 - Tipos de serviços Cloud Computing



Fonte: Microsoft 2018.

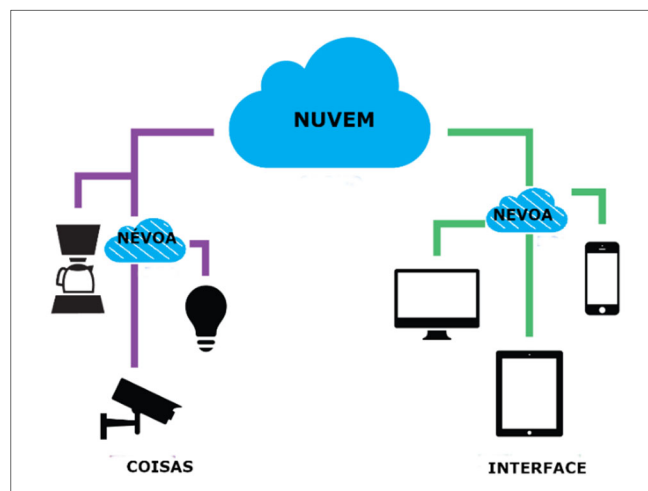
Cloud Manufacturing é a tecnologia de computação em nuvem que é aplicada à área de fabricação, e é considerada como uma inovação do novo paradigma de fabricação, semelhante ao *Smart Manufacturing*. Wu, Greer, Rosen e Schaefer (2015) definiram o *Cloud Manufacturing* da seguinte forma:

Cloud Manufacturing é um modelo de manufatura centrado no cliente, que explora o acesso imediato a uma gama de recursos de manufatura compartilhada, diversificada e descentralizada, para formar linhas de produção temporárias reconfiguráveis, o que aumenta a eficiência, reduz os custos ao longo do ciclo de vida do produto, e viabiliza a otimização do emprego dos recursos em resposta às tarefas geradas pela demanda variável (p.18).

Para realizar o *Cloud Manufacturing* simultaneamente com *Smart Manufacturing*, será necessário definir vários elementos, tais como requisitos conceituais, tecnologias-chave, meio ambiente, visão e abordagem estratégica.

Fog Computing (computação névoa) está associada a computação em nuvem, porém oferece uma arquitetura descentralizada, diferente da nuvem. A névoa opera como uma camada intermediária entre nuvem e dispositivo de *hardware*. Para Grudtner (2017, p. 82), computação em nevoa “é uma extensão da computação em nuvem, pois ela foca em dispositivos que estão na borda da rede, mais próximos a usuários e mais descentralizados, por isso é também chamada de nevoeiro, uma nuvem que está próxima ao usuário”.

Figura 11 - Arquitetura da Computação Névoa



Fonte: Adaptada- Site Datacenter Dynamics (2018).

2.2.3 Big Data e Analytics

Big Data significa um grande conjunto de dados, que precisa ser processado e armazenado através de diferentes métodos de processamento devido à dimensão das informações, estrutura e tamanho. Pressupõe sistemas técnicos especiais e metodologias – como análise, captura, curadoria de dados, pesquisa, compartilhamento, armazenamento, transferência, visualização e privacidade das informações –, que vão executar análises preditivas, para um tamanho específico do conjunto de dados. Para a execução do *Big Data* em *Smart Manufacturing* exige-se visualização, análise e compartilhamento eficazes de vários dados resultantes do desenvolvimento e fabricação de produtos, assim como processos de engenharia de sistemas para locais de fabricação a serem utilizados, com previsões e modelagem. Lee et al. (2014) resumiram as tendências de mudanças no ambiente de *Big Data* na produção de serviços e na prontidão inteligente de ferramentas. Para gerenciamento de *Big Data* na perspectiva da Indústria 4.0, eles ressaltaram que a autoprogramação e automanutenção de uma máquina devem ser alcançadas em um *Cyber Physical System (CPS)*, baseado em ambiente IoT, e que a análise da decisão para a máquina em automanutenção é baseada em *Machine Learning*, através do processamento dos dados armazenados.

Big Data refere-se a um extenso volume de dados que alcançam ordens de magnitude (volume), incluindo dados estruturados e não estruturados (variedade), velocidade e variabilidade. Os dados gerados normalmente, originam-se de PCs, *Smartphones*, sensores com leitor RFID e câmeras de trânsito, e podem vir em diversas extensões de arquivo, como arquivos de texto, imagens, vídeo, áudio e outros (Intel, 2013).

Pode-se dizer que a função do *Big Data* é reunir dados, fazer a triagem, interpretar e usar as informações coletadas para um determinado público, levando em consideração o ambiente. Através dos dados coletados, o *Big Data* seleciona as informações e compara com as informações adquiridas pelo usuário, traçando um perfil. Com este perfil é possível descobrir quais os interesses do usuário, os serviços que estão sendo buscados na internet (Mascarenhas & Pilan, 2016).

Figura 12 - *Big Data*

Adaptado de: PCL Design.

Fonte: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, Indústria 4.0 (2018).

Segundo Mascarenhas e Pilan (2016, p. 122), *Big Data Analytics* “é análise inteligente de grande quantidade de dados coletados, podendo ser estruturados ou não, com alta velocidade no processamento, a fim de nortear o destino de dados internos e externos”.

Estruturas de dados no *Big Data*:

- **Dados estruturados:** são dados que possuem organização em linhas e colunas, podendo ser encontrados pela categoria, definição, localização, etc. É possível encontrá-los em bancos de dados específicos. Com definições precisas, torna-se fácil a identificação e interpretação.
- **Dados não estruturados:** são dados que não possuem uma estrutura organizada em linhas e colunas, como vídeos, e-mails. Não oferece componentes necessários para identificação e interpretação.

De acordo com a empresa Intel, as organizações ao redor do mundo estão tendendo a um aumento significativo em volume de dados, tendo alcançado cerca de 2,7 *Zetta bytes* no final do ano de 2012. Desde essa data, estima-se que esse valor tem dobrado a cada ano.

2.2.4 Cyber Physical System – CPS

Sistemas Ciberfísicos (CPS) são sistemas de colaboração de entidades computacionais que estão em conexão intensiva com o mundo físico circundante e seus processos em curso, fornecendo e utilizando, ao mesmo tempo, serviços de acesso a dados e processamento de dados disponíveis na internet (Hellinger & Seeger, 2011). As áreas de aplicação do CPS, são

amplamente variáveis e vão de processos aeroespaciais, automotivos, químicos, infraestrutura, energia e transporte até a fabricação do mais simples produto. Na área de Produção, o CPS é uma tecnologia fundamental para o processo de fabricação, e é estudado em estreita relação com outras tecnologias como nuvem, IoT e *Big Data*. Lee, Bagheri e Kao (2014, p. 3) definiram os 5C da arquitetura para realizar o CPS como “(1) nível de conexão inteligente, (2) nível de conversão de informação, (3) nível cibernético, (4) nível de cognição, e (5) nível de configuração”.

Um sistema *Cyber Physical System* (CPS) é formado por elementos computacionais (*software*) que se comunicam com sensores e monitoram espaços virtuais e físicos para obter uma informação precisa do ambiente. A função dos sensores nesse sistema é conectar a inteligência distribuída na organização.

O monitoramento e controle são geralmente executados em tempo real via internet. No espaço físico, modificam o ambiente em que os usuários vivem. No espaço virtual, coletam informações acessadas pelos usuários como sites, rede sociais, fóruns, blogs. Estas aplicações podem beneficiar várias áreas tais como agricultura, pecuária, manufatura, saúde, defesa, energia, aeroespacial.

Um exemplo de *software* usado nos CPS é o *Web Sphere Sensor Events*. Fabricado pela IBM, ele analisa dados e eventos em tempo real vindo de sensores e integra com soluções mais inteligentes (International Business Machines, 2015).

Figura 13 - Sistemas Ciberfísicos



Fonte: Bosch Robôs (2018).

2.2.5 Autonomus robots

Robôs são máquinas mecânicas, eletromecânicas ou virtuais, que possuem Inteligência Artificial (inteligência similar à humana, executada por *software* ou mecanismo). Estes podem realizar tarefas que dependem ou não da intervenção humana (Santos, 2014). Uma das mais importantes tecnologias habilitadoras para a Indústria 4.0 é a que trata de Robôs Autônomos, que compreende robôs físicos e Inteligência Artificial. Eles trabalham nas empresas com duas modalidades principais:

- **Modalidade 1:** Manufatura, qualidade, agilidade, automação na produção (Ex.: linhas de produção).
- **Modalidade 2:** Autosserviços, automatização de tarefas (Ex.: Atendimento ao cliente).

Quanto às habilidades de robôs autônomos, eles são capazes de trabalhar por um longo período sem intervenção humana, deslocam-se de um ponto x a um ponto y sem assistência humana, evitam situações perigosas como detecção de radiação e bombas. Em relação às aplicações robóticas, destacam-se robôs industriais, robôs de entretenimento, robôs de apoio médico, robôs de limpeza, robôs de atendimento ao cliente (Gomes, Martinho, Bernardo, Matos & Abrantes, 2012).

As classificações de robôs variam de acordo com a perspectiva e necessidade do ambiente. No Quadro 1, são descritas algumas características essenciais que devem ser levadas em consideração no desenvolvimento de robôs.

Quadro 1 - Características Robóticas

Características	
Locomoção	Com rodas, pernas...
Flexibilidade	Corpo único ou vários corpos, corpo flexível ou rígido
Forma	Simples/complexa
Utilização	Robôs para serviços industriais, pesquisas, educação
Duplicação	Aspecto técnico de fácil ou difícil duplicação
Mobilidade	Ser usado na água, ar, mata, tubos...
Autonomia	Totalmente autônomo ou teleoperado...

Fonte: SENAI, Indústria 4.0 (2018).

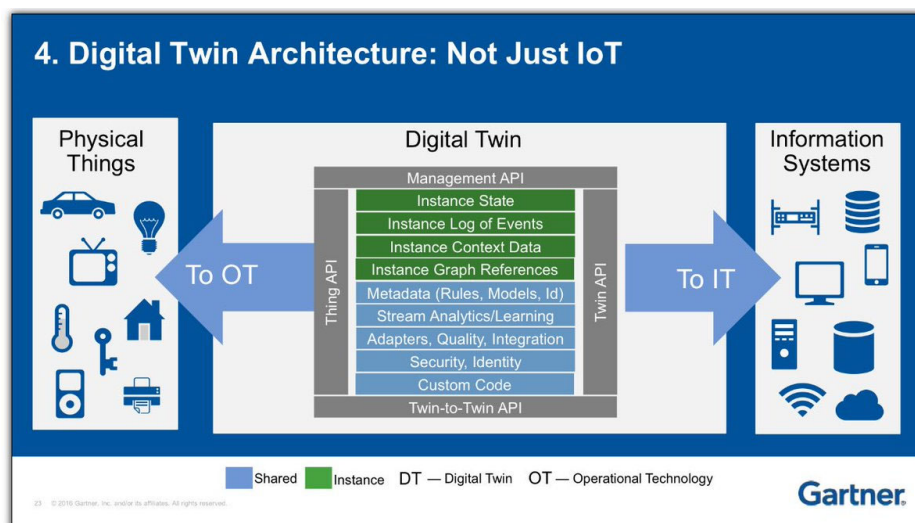
2.2.6 Simulation

Simulação ou virtualização é a reprodução virtual de ambientes e processos de uma fábrica. Com essa ferramenta é possível reproduzir plantas industriais envolvendo equipamentos, quadro funcional e operações (CNI, 2018).

No contexto da Indústria 4.0, este conceito pode ser aplicado na reprodução de fábricas inteligentes, com o objetivo de identificar e minimizar falhas, controlar processos, aumentar a qualidade de trabalho, entre outros. Os sensores instalados ao longo das plantas são responsáveis pelo monitoramento e rastreamento dos processos.

As tecnologias como impressão 3D, protótipos rápidos e *softwares* de simulação estão no topo de recursos tecnológicos mais requisitados pelas indústrias (Alves, 2018). Uma ferramenta fundamental para simulação no setor empresarial é o *Digital Twin*, “Gêmeo Digital” em português, meio que possibilita às empresas desenvolver, avaliar, e aprimorar seus produtos. O *Digital Twin* trabalha com Internet das Coisas (IoT), Aprendizagem de Máquina e Inteligência Artificial. Neste sistema os sensores captam informações e realizam cálculos complexos, direcionando a máquina nas tomadas de decisão. Quanto à aplicabilidade, é muito extensa, mas vale destacar aqui os ramos empresarial e industrial, que o utilizam para aprimorar sua infraestrutura. Em empresas de consultoria da área tecnológica, o gêmeo digital está entre as maiores tendências para os próximos anos, oferecendo funções como reproduzir, relacionar, adicionar, analisar, testar e integrar (Gartner, 2018).

Figura 14 - Digital Twin



Fonte: Gartner (2018)

Abaixo estão relacionadas algumas funções do *Digital Twin*:

- **Reproduzir.** Reproduz virtualmente um sistema de produção.
- **Relacionar.** Relaciona tarefas a setores e colaboradores específicos.
- **Adicionar.** Adiciona o tempo para realizar as tarefas.
- **Analisar.** Analisa processos logísticos.
- **Testar.** Testa processos de montagem e ergonomia em linha de produção.
- **Integrar.** Integra informações, pois se houver mudanças no *design* do produto, a produção também será adaptada ou modificada.

Para implementar, a empresa precisa definir os objetivos, verificar se possui recursos necessários como equipamentos, definir etapas até a adaptação, definir ações de curto e longo prazo.

2.2.7 Augmented Reality

Tendo suas pesquisas iniciadas durante a década de sessenta, a realidade aumentada (do inglês *Augmented Reality* - AR) vem com a proposta de aumentar a interatividade com o ambiente, utilizando recursos tecnológicos para integrar objetos virtuais com o mundo real.

No ano de 1968, o engenheiro eletricitista Ivan Sutherland deu origem ao HMD (*Head Mounted Display*), um equipamento capaz de reproduzir um cubo virtual em 3D desenhado no espaço real. Não obstante o sistema tratar apenas com *mainframes*, Sutherland revolucionou o mundo com seu pioneirismo no desenvolvimento de tecnologias AR.

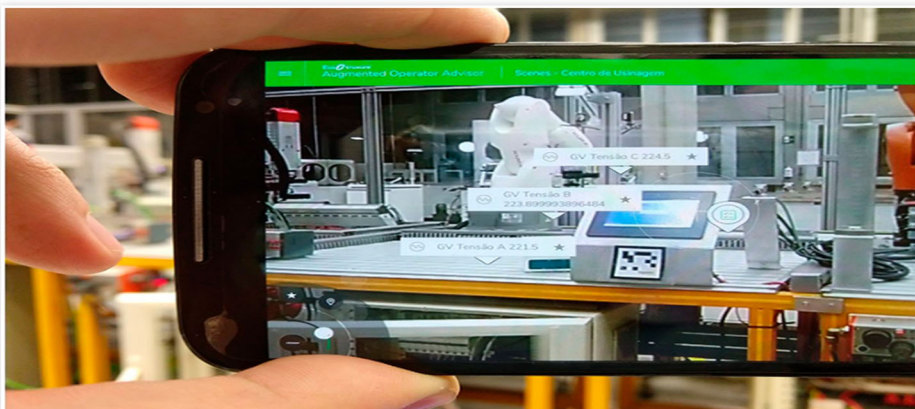
Na década de 90, as tecnologias de realidade aumentada desenvolvem-se, quando a empresa de aviação Boeing solicita os trabalhos de Thomas Caudell em parceria com David Mizell, na intenção de criar um sistema capaz de auxiliar os mecânicos em suas funções: com um aparato semelhante aos óculos, ele proporcionava aos usuários o reconhecimento de conexões de fios e cabos que eram ligados aos motores de aeronaves, o que melhorava consideravelmente o desempenho e confiabilidade nas funções.

A Realidade Aumentada pode ser conceituada também da seguinte forma: “Realidade aumentada é a inserção de objetos virtuais no ambiente físico, mostrada ao usuário, em tempo real, com o apoio de algum dispositivo tecnológico, usando a interface do ambiente real, adaptada para visualizar e manipular os objetos reais e virtuais.” (Kirner, 2006, p. 26). Isso significa que a realidade aumentada vem com a proposta de aumentar a interatividade, proporcionando ao usuário uma maior imersão no uso de ferramentas e realização de suas funções.

Um dos objetivos da Realidade Aumentada é “inserir objetos virtuais no mundo real, criando a ilusão de que todo cenário é real. Para isto a simulação é usada para fazer com que os objetos virtuais tenham comportamentos apropriados como: movimentação, colisão, reação, simulação física, etc.” (Kirner, 2006, p. 35). Na atividade industrial, tem-se utilizado a realidade aumentada para identificação de falhas em solda e pintura, assim como em inspeções complexas que envolvem riscos.

Há também uma grande popularidade na utilização da AR em diversos segmentos, como em simuladores e jogos para *smartphones*. São jogos que utilizam recursos gráficos que permitem uma interação dinâmica no mundo real. A aplicação desta tecnologia vem ganhando cada vez mais adeptos, o que a torna uma das ferramentas mais visadas atualmente.

Figura 15 - Realidade Aumentada



Fonte: SENAI, SP (2018).

2.2.8 Additive Manufacturing

Manufatura Aditiva - MA (*Additive Manufacturing*) é definida como um grupo de tecnologias que utiliza uma abordagem de camadas ultrafinas para criar objetos livres. Mais conhecida como impressão 3D ou prototipagem rápida, faz a impressão de um protótipo digital (CAD). As vantagens da prototipagem rápida são flexibilidade e capacidade de trabalhar com modelos geométricos complexos.

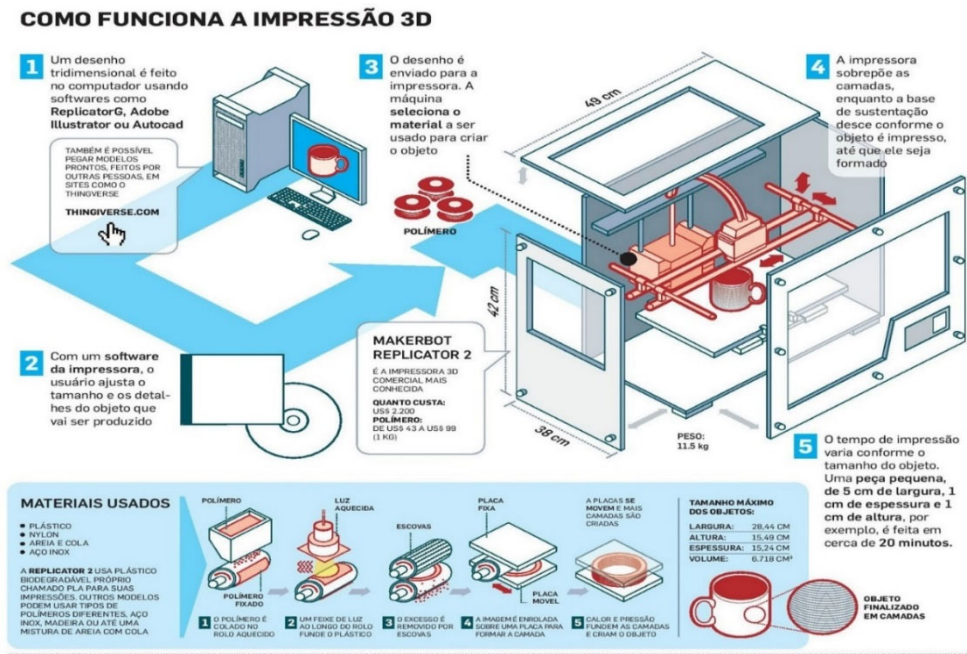
A MA é uma maneira de converter um modelo 3D, como um arquivo CAD, em um objeto físico, ligando ou juntando materiais através de luz, vibração ultrassônica, laser e feixe de elétrons. Tem diferentes características, de acordo com os materiais ou métodos de colagem (Pal, 2013). A manufatura aditiva começou como prototipagem rápida, tecnologia que colocava em prática ideias de produtos de engenheiros de projeto e, 1980, e agora está sendo usada não só para prototipagem, mas também para tornar viáveis produtos em escala, graças aos avanços

na tecnologia de materiais e laminação (Campbel, Bourell & Gibson, 2012). Vários estudos relacionados estão em andamento. Huang e Leu (2015) classificam a manufatura aditiva de acordo com o método de laminação, materiais e atributos de fabricantes e máquinas relacionados. As tecnologias de manufatura aditiva estão agora sendo aplicadas em diversas áreas, incluindo aviação, veículos, vestuário e biomédica. As tecnologias de MA irão desenvolver-se em integração com usinagem CNC no futuro. Wong e Hernandez (2012) também analisaram o desenvolvimento tecnológico relacionados à manufatura aditiva, e mencionam que o processo de acabamento deverá ser mais exigido no futuro através de um processo com maior precisão. Eles mencionam ainda que a manufatura aditiva apresenta várias vantagens em comparação aos métodos de fabricação tradicional em (1) eficiência de materiais, (2) eficiência de recursos, (3) flexibilidade de peças e (4) flexibilidade de produção. Por outro lado, tem pontos fracos em (1) limitação de tamanho, (2) imperfeição e (3) custo.

No aspecto técnico, a MA envolve *software* de modelagem tridimensional e, como figura central, o laser. Como exemplo de ferramentas disponíveis no mercado, vale destacar aqui as três mais utilizadas: a) *Fused Deposition Modeling* (FDM), usa como matéria prima filamentos de polímero; b) *Stereolithography* (SLA), usa luz ultravioleta para curar resinas líquidas; e c) *Selective Lazer Sintering* (SLS), caracterizada por gerar os objetos a partir das matérias primas (cerâmicas, plásticos, metais) (CNI, 2018).

O funcionamento começa com a elaboração de um projeto 3D por meio de *software* da computação gráfica, por exemplo, Auto Cad, Tinkercad, entre outros. Depois do projeto pronto vem a estereotilografia responsável pela produção da peça, e logo após vem a modelagem por fusão e deposição, que tem função de produzir as camadas de baixo para cima.

Figura 16 - Funcionamento da impressão 3D



Fonte: www.impressao3d.com.br.

2.2.9 Machine learning

A aprendizagem automática ou aprendizagem de máquina (*machine learning*) integra o campo da Inteligência Artificial (IA). Este sistema consegue ter uma “abordagem autodidata”, acessando e analisando grandes quantidades de dados, com o intuito de identificar padrões. Em outras palavras, a máquina aprende sem estar explicitamente programada para realizar aquela determinada tarefa.

Arthur Samuel, engenheiro do Massachusetts Institute of Technology (MIT), no ano de 1959, realizava o projeto de criar uma máquina autônoma, utilizando pela primeira vez a nomenclatura *Machine Learning*. Mas sua verdadeira aplicabilidade vem com a utilização da Internet, pois há uma imensa quantidade de informações na rede, que necessitavam de uma organização automatizada.

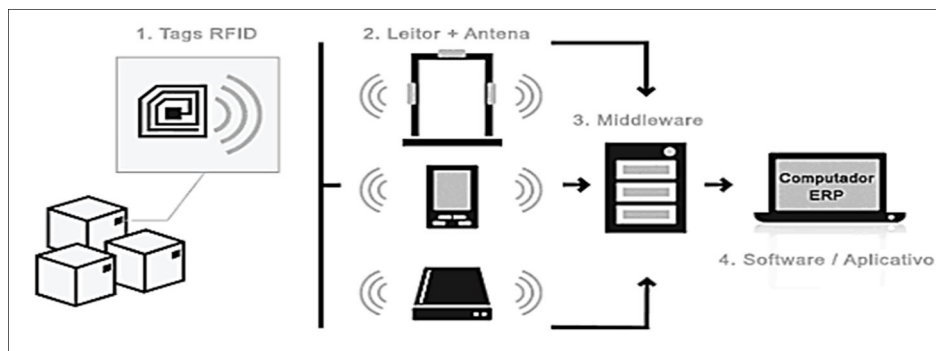
Sua aplicabilidade está em constante expansão. Detecções de padrões, como as informações contidas na *web*, possibilitaram a compreensão de mercado com maior confiabilidade em previsões e melhoria contínua na realização de inúmeras tarefas. É o caso de sistemas de GPS automotivo e de reconhecimento de voz, por exemplo, onde o “computador aprende o perfil do usuário”, permitindo uma maior facilidade na interação homem-computador.

2.2.10 RFID e QR Code

a) RFID

A identificação por rádio frequência (RFID), é uma tecnologia que utiliza a frequência de rádio para a captura automatizada de dados, identificando objetos por meio de dispositivos eletrônicos. Esses dispositivos são *tags* ou etiquetas eletrônicas, que possuem sua própria memória, emitindo ondas eletromagnéticas de rádio frequência para interagir com o leitor, que por sua vez, capta estas informações.

Figura 17 - Funcionamento RFID (Rádio Frequência)



Fonte: www.afixgraf.com.br

Seu surgimento e aplicação ocorreu durante a Segunda Guerra Mundial: por meio de radares, era possível identificar aviões próximos a área, porém estes radares não faziam a distinção entre aviões inimigos ou aliados.

Em conjunto com o exército britânico, o físico escocês Sir Robert Alexander Watson-Watt então desenvolve tal sistema, que permite a identificação de navés aliadas. Com tal informação, diferenciando os inimigos dos aliados, agora era possível realizar uma preparação das defesas para um potencial ataque inimigo.

Seu funcionamento dá-se por meio de uma antena, que consegue fazer uma leitura do sinal, onde é transferida a devida informação para o leitor, realizando a conversão para digital destas ondas de rádio para digital. Com a conversão, as informações podem ser tratadas por um computador, realizando assim a devida análise.

b) QR CODE

O Código de Resposta Rápida (QR Code) é um código de barras em formato 2D que permite a decodificação de uma determinada informação por meio de um dispositivo móvel,

utilizando a câmera fotográfica. Seu uso permite a transmissão rápida de uma quantidade significativa de informações.

Esta tecnologia surgiu no ano de 1994, em uma empresa subsidiária da Toyota, a Denso-Wave, no intuito de catalogar componentes para automóveis de uma maneira mais eficaz e eficiente. Como os QR Codes são de uso livre, esta tecnologia vem sendo aprimorada por diversas empresas e entusiastas, o que permite uma melhoria contínua da ferramenta, como a transmissão de informação em um espaço cada vez menor, assim como a diversificação de sua aplicabilidade.

Figura 18 - Funcionamento do QR CODE



Fonte: QR CODE <https://stockphotos.com.br>.

2.2.11 Cyber Security

A Internet era somente usada para conectar serviços remotos através de protocolo HTTP (protocolo utilizado em trocas de informações na *web*) ao usuário final, mas com as novas tendências da Internet das Coisas (IoT), esse cenário mudou. Agora, ela interliga objetos dentro de uma rede. Com a expansão das redes de internet e Internet das Coisas, como o que vemos agora nas tecnologias para a Indústria 4.0, podem ocorrer vulnerabilidades de informações confidenciais de usuários e sistemas empresariais. Pessoas mal-intencionadas vão procurar explorar as falhas nos sistemas, nas configurações de programas, implementação, serviços de rede ou equipamentos (Oliveira, Martinez, Kuehme & Batista, 2017).

Na arquitetura da IoT, o usuário pode variar de ambiente, acessando a rede de internet de sua casa ou de um ambiente público, sendo que nessa segunda opção não tem a garantia de segurança em criptografia, já que o ambiente estará em conexão com dispositivos desconhecidos. Em termos de requisitos para segurança da informação na Internet das Coisas,

visa-se a segurança de maneira dinâmica e flexível, de forma que ao se mudar de local durante a troca de informações, o método se adapte ao ambiente.

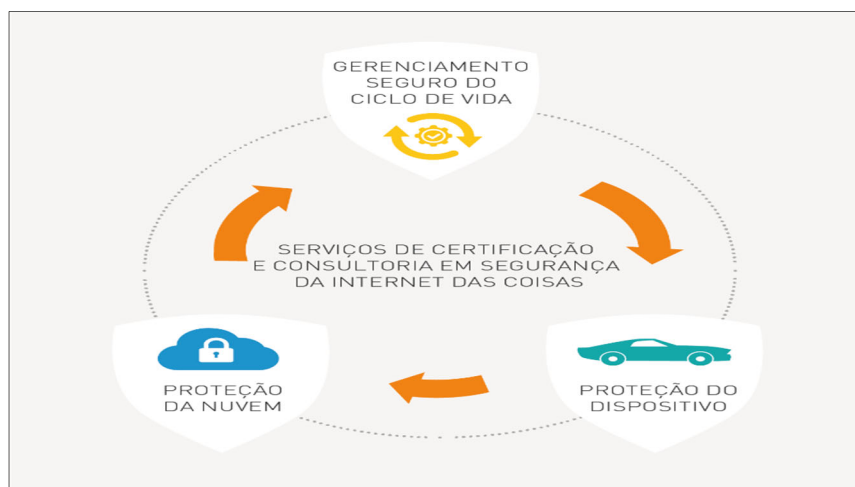
Assinatura digital, cifragem, decifragem, controle de acesso, integridade de dados, inserção de bits, controle de rotas, permutas de credenciais, e terceiros confiáveis, são mecanismos de segurança recomendados para evitar ataques maliciosos (Oliveira, 2017).

Assinatura digital é a garantia da autenticidade nas mensagens trocadas entre emissor e receptor. Cifragem/decifragem consiste na encriptação e decriptação por meio de algoritmos. Integridade é a consistência e precisão de dados durante o ciclo de informação. Inserção de bits visa inserir bits nos espaços do fluxo de mensagens. Controle de rotas, pode alterar o caminho do roteamento, caso haja ameaças à segurança.

Segurança e privacidade são os pontos preocupantes na IoT, devido a comunicação entre objetos ocorrer por interface de redes. Esta interação entre essas ferramentas abre espaços para ataques de *hackers* às aplicações e dispositivos, de forma passiva e ativa. Ataque de forma passiva dá-se pela análise e monitoramento de dados trafegados. Já na ativa, ocorre pela invasão de agentes externos utilizando protocolos de acessos para manipulação de aplicações.

Para garantir que os pacotes de dados cheguem ao destino intactos, existem os protocolos de segurança que devem garantir a integridade dos pacotes durante a comunicação entre cliente e servidor. De acordo com o Comitê Gestor da Internet no Brasil, os protocolos como o *Secure Sockets Layer* (SSL) e o *Transport Layer Security* (TLS), asseguram a confidencialidade e a integridade das informações (Cgib, 2012). A Figura 19 demonstra as três áreas de segurança na estrutura IoT:

Figura 19 - Segurança na Nuvem, Aplicação em Dispositivos em IoT



Fonte: <https://www.gemalto.com.br>.

- **Proteção da nuvem:** protege dados enquanto são movidos e armazenados na nuvem.
- **Gerenciamento do ciclo de vida:** garante que os dados transmitidos mantenham-se confidenciais.
- **Proteção de dispositivo:** protege dispositivo enquanto está em uso.

Tanto o cliente quanto o servidor precisam estar atentos à escolha dos dispositivos com qualidade, manter atualizados sistemas e *softwares*, fazer *backup* diariamente, criar senhas difíceis, e além das senhas habilitar outros meios de identificação como biometria, instalar extensões nos navegadores que bloqueiem conteúdo inapropriado (Microsoft, 2018; Proof, 2018).

2.2.12 Machine-to-Machine (M2M)

M2M é uma tecnologia da Indústria 4.0 que pode funcionar tanto com sistemas remotos quanto com interligação através de cabos, para que as máquinas se comuniquem com outros dispositivos que possuam as mesmas habilidades. M2M usa um *dispositivo* (como um sensor ou medidor) para capturar um *evento* (como temperatura, nível de estoque, etc), que é enviado através de uma *rede* (sem fio, com fio ou híbrida) para uma *aplicação* de um programa, que transforma o evento capturado em *informação* a ser analisada, por exemplo, itens que precisam ser rearmazenados. Este sistema é obtido com o uso da telemetria, que é uma linguagem que as máquinas usam para se comunicar. Estas comunicações foram originalmente obtidas com uma rede remota de equipamentos transmitindo informações de volta para um centralizador, a fim de serem analisadas, podendo ser posteriormente roteadas para um sistema computacional, como um computador pessoal.

Com o desenvolvimento das tecnologias de comunicações, os sistemas M2M expandiram-se além da conexão *ponto-a-ponto*, e mudaram para sistemas de rede que transmitem dados para equipamentos pessoais. A expansão das redes sem fio em todo o mundo tornou mais fácil o estabelecimento da comunicação M2M e reduziu a quantidade de energia e tempo necessários para transmitir informação entre equipamentos. Essas redes também abrem um leque de novas oportunidades de negócios e conectam os consumidores aos fabricantes em termos de disponibilidade de novos produtos.

Nos últimos anos, o *short message service* (SMS) tornou-se um crescente e importante mecanismo de transmissão que representa um tipo de comunicação M2M, com a onipresença do *global system for mobile* (GSM) e o relativo baixo custo do SMS como vantagens. Preocupações surgiram em relação à confiabilidade do SMS como um canal M2M, entretanto

o crescimento do sistema de sinalização (SS7) conectou *gateways* de SMS, o que pode oferecer maior confiabilidade e também a habilidade de confirmar o recebimento, reduzindo as preocupações citadas anteriormente.

Figura 20 - Sistema Machine-to-Machine M2M



Fonte: imagens Google 2020.

2.3 O DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E OS NOVOS DESAFIOS

As empresas visam desenvolver uma estratégia capaz de criar uma vantagem competitiva (Porter, 1980). De acordo com Koren (2010), o fim do século XX foi definido pela busca por uma customização em massa nas empresas industriais, visando criar uma vantagem competitiva. Contudo, mesmo com opções de customização, o grau de participação do cliente na definição do produto é limitado às opções de customização oferecidas pelo fabricante. Este modelo, onde o fabricante tem alto grau de controle sobre as escolhas do cliente, empurrando para o cliente sua proposta de produto, faz parte do que é conhecido como *Business-to-Consumer* (B2C).

Com o desenvolvimento tecnológico (onde se inclui o uso das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 e seus impactos nos objetivos estratégicos de produção), que é o cerne da questão desta pesquisa, as empresas devem agora objetivar um novo patamar de diferenciação. As empresas devem buscar a viabilidade técnica e econômica de produzir de forma personalizada em volumes industriais. A produção personalizada é a nova forma de criar uma vantagem competitiva por meio de diferenciação. Neste formato, chamado *Consumer-to-*

Business (C2B), o tamanho mínimo para se aceitar um pedido para fabricação de um produto é igual a uma unidade (Koren, 2010).

Em 2011 foi apresentada pela primeira vez na feira de Hannover, na Alemanha, pelos membros da Academia Alemã de Ciências e Engenharia (ACATECH), a visão de como poderia ser a Indústria 4.0 do século XXI (Pfeiffer, 2017). Um dos pontos centrais da proposta era uma inversão do modelo de negócios B2C para um C2B. Esta seria a grande quebra de paradigma da indústria, que é tornar o cliente o centro de decisão do processo de produção de forma economicamente viável. Esta viabilidade econômica visualizada pela ACATECH tornou-se possível de ser alcançada pela disponibilidade das tecnologias habilitadoras emergentes associadas à Quarta Revolução Industrial.

2.4 AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO NO POLO DE MANAUS

O polo industrial de Manaus está vinculado ao Ministério da Economia e tem como órgão gestor a Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA). Nos cinquenta anos de sua existência, tanto o órgão gestor quanto as empresas do setor eletroeletrônico vêm buscando modelos de inovação e de desenvolvimento que visam manter este projeto socioeconômico competitivo em função de suas limitações logísticas, criando diferentes estratégias ao longo do tempo, como é o caso recente de se adequar às novas tecnologias habilitadoras que são pilares da Indústria 4.0. O Ministério da Economia criou recentemente, através da portaria nº 2.091 de 17 de dezembro de 2018, uma metodologia a ser adotada nos investimentos em P&D - Pesquisa Desenvolvimento e inovação voltada para a Indústria 4.0, e cria o selo da “Indústria 4.0” que será aplicado às empresas instaladas no Polo de Manaus.

O diagnóstico do nivelamento tecnológico terá como base o modelo denominado Régua de Maturidade da ACATECH, que irá medir o progresso tecnológico das empresas que estão na direção de se tornar uma Indústria 4.0. A seguir, a descrição dos estágios de maturidade dispostos na portaria nº 2.091:

“Art. 5º Os estágios de maturidade inicial e desejado do processo ou subprocesso fabril no conceito da indústria 4.0 serão definidos em seis níveis, ordenados do menor estágio de maturidade para o maior, com base em modelos e normas internacionais de validade global, conforme a metodologia ACATECH descrita no modelo a seguir:

Estágio 1 (Computadorização)

A otimização ou autocorreção do processo ou subprocesso de transformação ocorre localmente na mesma célula de manufatura. É um subprocesso local que possui elementos que transformam fenômenos envolvidos em sinais digitais, que são transferidos para uma área predeterminada, e então analisadas por Inteligência Artificial, gerando informações e conhecimentos suficientes sobre a evolução do processo de transformação (local) em curso, tendo capacidade de identificar e caracterizar as relações causa-efeito, possibilitando a auto manutenção do(s) equipamentos e em conjunto com algum sistema de inspeção de qualidade na saída, e seja capaz de acionar o sistema de auto correção e/ou auto otimização do subprocesso. Não permitindo que este subprocesso produza algum tipo de não conformidade.

Estágio 2 (Conectividade)

A otimização ou autocorreção do processo ou subprocesso de transformação de duas ou mais células sequenciais e paralelas que tenham influência uma sobre a outra. É um processo que integra todos os dados digitais gerados nos subprocessos do estágio 1, que por meio de análises de Inteligência Artificial, irão conectar e controlar as variáveis do processo de transformação de cada uma das células, concentrando-se na qualidade da saída final. O objetivo é corrigir qualquer defeito no momento em que aconteça, mas algumas vezes, somente ao final da integração dos processos de transformação, o conjunto produzido estará na condição de qualidade total. Isto é, há controle ao longo de todo o processo. Esta integração permite rastrear cada peça, subconjunto e conjunto transformado, montado ou produzido, promovendo a autocorreção ao longo de todo o processo, e não mais concentrado em uma única célula.

Estágio 3 (Visibilidade)

Este estágio utiliza os dados, informações e conhecimentos gerados ao longo dos processos e subprocessos de transformação para criar, realimentar, robustecer o gêmeo digital ou virtual dos subprocessos e processos de transformação. Esta integração entre o virtual-digital e o real permite a execução de simulações computacionais e criação de cenários que podem alimentar e contribuir com o processo de autocorreção e auto otimização, e contribuir para reduzir o ciclo de novos desenvolvimentos, pois os conhecimentos dos processos de transformação, já testados e comprovados em produção real, não mais serão variáveis indeterminadas.

Estágio 4 (Transparência)

Neste estágio, dados, informações e conhecimentos gerados ao longo dos processos e subprocessos de transformação, serão utilizados para autocorrigir e auto otimizar todos os processos e subprocessos de transformação ao mesmo tempo que integra a cadeia de suprimentos para fornecer subsídios e informações de demanda (presente e futuro) de fornecimentos, e potencializa a capacidade de corrigir e otimizar o processo de fornecimento ao mesmo tempo que pode direcionar (prever) a produção futura dos mesmos insumos.

Estágio 5 (Capacidade preditiva)

Este estágio utiliza a inteligência artificial e analisa, compreende, cria cenários e modelos de tendências, cria as relações causa-efeito das possíveis variações de demanda, promovendo as autocorrekções e auto otimizações de todos os processos e subprocessos, já compatíveis com os conceitos da indústria 4.0, e adaptando-os as novas condições de demanda. Promove a integração da demanda, do processo de transformação e da cadeia de suprimentos.

Estágio 6 (Adaptabilidade)

Este estágio promove a integração de toda estrutura organizacional da empresa já com os níveis anteriores implementados e permite a gestão da empresa baseada em inteligência artificial, de todo o negócio a nível local, regional ou mundial, incluindo toda a cadeia produtiva local ou global.

Parágrafo único. Só farão jus aos recursos de pesquisa, desenvolvimento e inovação as empresas beneficiárias que busquem um estágio de maturidade em indústria 4.0 desejado superior a 3 nos seus processos ou subprocessos. [...]

Art. 8º Os estágios de maturidade em indústria 4.0 inicial e desejado serão certificados por relatório consolidado e parecer conclusivo elaborados por auditoria independente credenciada na Comissão de Valores Mobiliários – CVM e cadastrada no Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, com a emissão de relatório de comprovação da existência e veracidade das evidências em relação ao escopo do projeto. ”

Em março de 2017, Bill Ford, presidente do conselho da Ford, declarou: “As montadoras precisam mudar e virar fábricas de *software*. Esse é nosso futuro.” (Moraes, 2017). Não só as montadoras mas, em um futuro breve as empresas de todos os setores serão confrontadas com os desafios da quarta revolução industrial. Isso coloca não só em discussão as necessidades de transformação, mas qual a velocidade e intensidade dessas mudanças.

Desta forma as empresas da cadeia eletroeletrônica do polo de Manaus que estão neste momento desenvolvendo estratégias tecnológicas para suas atividades operacionais em busca de melhorias para atender seus clientes, estão também implantando ações e adequações para atenderem ao sistema de diagnóstico de nivelamento tecnológico que está sendo criado pelo órgão gestor SUFRAMA que irá medir através da Régua de Maturidade da ACATECH os níveis tecnológicos das empresas como forma de acesso aos investimentos em P&D – Pesquisa e Desenvolvimento.

2.5 ESTRATÉGIA

A seção seguinte é parte da base conceitual desta tese. Nela serão estudados alguns conceitos sobre estratégia desde as suas origens, evolução, seus diferentes enfoques, até os nossos dias. As organizações empresariais, seja por sua sobrevivência, seja pela necessidade de inovação e satisfação dos clientes, há muito buscam sistematicamente diferentes estratégias para consolidarem-se no ambiente competitivo. O avanço tecnológico inserido nas atividades de operações / produção tem crescido sobremaneira, obrigando as empresas a se atualizarem de forma sistêmica a fim de se manterem em um mercado cada dia com concorrência mais forte. A revolução tecnológica 4.0 é um desses momentos pontuais de ruptura, em que as organizações se veem diante da necessidade de se adequarem a diversas inovações disruptivas. As empresas da cadeia eletroeletrônica do polo de Manaus estão inseridas no contexto mundial de mudanças tecnológicas que ocorrem neste momento, e para se manterem eficientes e competitivas terão que adotar estratégias corretas, especialmente nas áreas de operações / produção – atividades bastante impactadas pelos novos paradigmas de manufatura.

2.5.1 Evolução e Conceitos de Estratégia

Conceito originado em campanhas e estratégias militares, a estratégia tem papel fundamental na gestão empresarial e é condição *sine qua non* para a sobrevivência de qualquer organização. A sintonia com o novo milênio exige das empresas habilidades estratégicas empresariais que possam se antecipar ao futuro.

Os gerentes têm a difícil tarefa de tomar decisões que orientem consistentemente os seus negócios face às mudanças ambientais, ou seja, formular as estratégias é uma questão de sobrevivência, considerando principalmente as oscilações externas que ocorrem constantemente, situação que força as empresas a se adaptarem aos novos desafios, ameaças e oportunidades existentes no mercado (Ansoff, 1990, p. 68).

Mintzberg (2006) expõe que a essência da estratégia da empresa é um padrão de comportamento que se forma a partir das inúmeras decisões que a organização toma ao longo do tempo, na tentativa de adaptar-se ao ambiente.

O ambiente industrial nos últimos anos tem buscado novas estratégias para se ajustar ao crescimento tecnológico que vem impactando fortemente as atividades das empresas, especialmente as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 nas atividades de operações, produção e serviços.

Destaca-se que a busca das organizações por estratégias deve ser uma prática. A dedicação de tempo de uma empresa a criar, adaptar e reformular estratégias traz uma série de vantagens para que ela se mantenha competitiva, como: assumir o controle sobre o seu destino; enxergar as oportunidades; transformar ameaças em oportunidades; definir rumos para a organização; introduzir a disciplina de pensar a longo prazo; desenvolver um processo educacional; incentivar a integração e a negociação; mobilizar recursos para o destino comum e promover mudanças.

Drucker (1990) e Ansoff (1977), conceituados autores no meio acadêmico e empresarial, alertam para um aspecto da estratégia: a ideia de mapear as futuras direções da organização a partir dos recursos que ela possui. No entanto, não basta um propósito ou uma boa disposição para concretizar uma situação futura desejada. Faz-se necessário elaborar planos, estabelecer políticas, definir caminhos a serem percorridos e efetivar as ações para viabilizar esses desejos. Com a evolução das organizações relacionada às constantes mudanças tecnológicas como a que estamos acompanhando com a Indústria 4.0, há uma maior diversificação e volume de produtos, e surge o que se chama hoje de estratégia empresarial, atividades através das quais as empresas buscam encontrar suas maiores vantagens competitivas. Por estes aspectos, apresentam-se outros conceitos para o termo estratégia, a saber:

“É o conjunto de decisões que determinam o comportamento a ser exigido em determinado período de tempo.” (Simon, 1971, p. 79).

“É o conjunto de objetivos, finalidades, metas, diretrizes fundamentais e os planos para atingir esses objetivos, postulados de forma a definir em que atividades se encontra a empresa, que tipo de empresa ela é ou deseja ser.” (Andrews, 1971, p. 79).

“É um movimento ou uma série específica de movimentos feitos por uma empresa” (Von Neumann & Morgenstern, 1974, p. 79).

Chandler Jr. (1962, p. 13) define estratégia como "a determinação de metas básicas a longo prazo e dos objetivos de uma empresa e a adoção das linhas de ação e aplicação dos recursos necessários para alcançar essas metas". Tanto Besanko (2012) quanto Serra, Ferreira, Torres, A. e Torres, M. (2014) valorizam a definição de Chandler. A concepção de Andrews (1971) de que estratégia seja um padrão de objetivos, propósitos, metas e planos a serem alcançados é um conceito que corrobora com os objetivos deste estudo.

2.5.2 Evolução da Estratégia de Produção / Operações

Foi no final do século XIX que Taylor iniciou uma abordagem empírica e sistemática para o entendimento dos processos operacionais que afetam a organização de uma empresa (Teixeira, Lacerda, Antunes & Veit, 2014). Estudou os tempos e movimentos feitos por trabalhadores durante a realização de suas tarefas operacionais, e com essa abordagem modificou os processos operacionais aumentando o ganho em eficiência. Durante a segunda guerra mundial alguns países reuniram seus principais cientistas para o desenvolvimento de ferramentas de modelagem matemática que ajudassem no processo decisório sobre as principais operações de guerra. Com o fim da guerra, essas ferramentas de modelagem matemática foram aproveitadas para solucionar problemas das empresas, que eram similares aos das operações de guerra: otimização da produção, composição do melhor mix de produtos, e distribuição e transporte aos menores custos. No final da década de 60 os modelos matemáticos supriam decisões específicas como quantidades a serem produzidas e rotas mais curtas para entrega dos produtos. Contudo, os modelos matemáticos não resolviam os problemas decorrentes das inconsistências estratégicas das empresas como por exemplo, produzir uma grande variedade de produtos quando a estratégia da empresa era voltada para o baixo custo. Neste contexto, a área de operações começa a crescer em direção a uma visão mais estratégica. Em 1969, Skinner escreve um artigo seminal – *Manufacturing - missing link in corporate strategy* –, em que indica que a área de operações deve ser vista pela alta administração como uma atividade fundamental da estrutura estratégica da organização e assim como outras áreas deve ser alinhada como estratégia tanto para o curto, quanto ao longo prazo. De forma pontual o artigo de Skinner aponta para os *trade-offs* nas decisões estratégicas da organização. Os *trade-offs* referem-se às decisões que devem ser tomadas quando a empresa busca altos níveis de eficiência em operações que são teoricamente incompatíveis, como por exemplo a busca pela customização de produtos em busca de variedade e diferenciação e, ao mesmo tempo, a busca pela padronização do processo produtivo para reduzir a variabilidade dos produtos.

Com a crise internacional da década de 70, quando países produtores de petróleo boicotaram a produção e os preços das *commodities* dispararam causando problemas globais, a economia mundial dava sinal de estagnação e a consequência foi o aumento da competitividade entre as empresas. A partir de então, as empresas buscam repensar suas atividades e passam a rever suas estratégias de forma a possibilitar não apenas sua sobrevivência, mas, principalmente, sua lucratividade em mercados cada vez mais concorridos. É neste momento que surge, em meados da década de 80, Michel Porter com suas pesquisas em estratégias das organizações. Seguindo a tendência mundial, neste mesmo período, os acadêmicos da área de operações ampliam seus estudos sobre as estratégias de operações, e nas décadas seguintes observa-se a ampliação dos estudos conectando estratégias de operações a avanço tecnológico.

2.5.3 Os avanços da tecnologia nas atividades de produção

Atualmente observamos um crescimento exponencial de diversas tecnologias que vêm sendo embarcadas nas atividades de operações. Estas tecnologias, que cresceram a partir da década de 70, são a cada dia mais determinantes nas estratégias atuais dos diversos segmentos industriais.

Atividades voltadas para tecnologias são cada vez mais importantes no trabalho de um gerente de produção. De fato, muitos gerentes de produção agora são encarregados de gerenciar não somente os aspectos físicos da produção como também as tecnologias necessárias para lidar com a torrente crescente de informações imprescindíveis para estas operações (Hayes & Wheelwright, 1979, p. 133).

“A transformação tecnológica é um dos principais condutores da concorrência, pois desempenha um papel importante na mudança estrutural das indústrias, bem como na criação de novas empresas” (Porter, 1989, p. 153).

Os computadores começaram a ser incorporados a grandes empresas em meados dos anos 70, porém, seu alto custo dificultava sua popularização no ambiente empresarial. Um grande avanço aconteceu na administração da produção. Inicialmente o computador era utilizado nas áreas de contabilidade e comercial, contudo, logo em seguida, sua utilização foi agregada aos métodos gerenciais que auxiliavam nas técnicas de Planejamento e Controle da Produção (PCP). Acerca dos modernos sistemas de manufatura avançada e gerenciamento da produção, Severiano Filho (1999, p. 82) afirma que é uma "configuração de recursos combinados, com densidade e competências tecnológicas incorporadas, para a produção de bens com elevado grau de desempenho". De acordo com o autor, os vetores densidade e

competência tecnológica são os fatores que diferenciam os sistemas modernos e os sistemas convencionais de fabricação.

Severiano Filho (1999) cita ainda algumas técnicas que evoluíram ao longo do tempo como sistemas computacionais, que vêm sendo utilizados por diversas organizações de forma intensa em atividades dos sistemas operacionais de produção. Dentre elas os sistemas *Computer Aided Design* (CAD) - Projeto Auxiliado por Computador; *Computer Aided Engineering* (CAE) - Engenharia Auxiliada por Computador; *Computer Aided Process Planning* (CAPP) - Planejamento do Processo Auxiliado por Computador; *Computer Aided Quality* (CAQ) - Qualidade auxiliada por computador; *Computer Integrated Manufacturing* (CIM) - Manufatura Integrada por Computador; *Electronic Data Interchange* (EDI) - Intercâmbio Eletrônico de Dados; *Material Requirements Planning* (MRP) - Planejamento dos Recursos Materiais; *Optimized Production Technology* (OPT) - Tecnologia de Produção Otimizada; Controle Numérico (CN); Controle Numérico por Computador (CNC), entre outros.

Os anos 80 trouxeram um aumento explosivo do poder dos microprocessadores, acelerando o advento do microcomputador. Isso, juntamente com as planilhas eletrônicas e os editores de texto, permitiu aos gerentes terem (fisicamente ao invés de virtualmente, como antes) suas máquinas pessoais, algumas vezes podendo trabalhar em rede com o resto da organização, compartilhar arquivos e rodar programas compartilhados. Ao mesmo tempo, os avanços na robótica, nos sensores e na tecnologia de manejo de materiais (como veículos guiados de forma automatizada, ou *Automated Guided Vehicles* (AGVs)) permitiram o desenvolvimento do primeiro sistema de manufatura flexível - *Flexible Manufacturing Systems* (FMS). O objetivo de muitos fornecedores de FMS era o de progredir para uma fábrica “vazia”, na qual robôs, máquinas e computadores conduziriam todos os fluxos de informação, de máquina e de manejo dos materiais. O termo vazio, dá a ideia de que os gerentes de produção seriam capazes de fechar as portas, apagar as luzes, e simplesmente, deixar os computadores e as máquinas fazerem seu trabalho.

Nos anos 90, surgem os sistemas *Enterprise Resource Planning* (ERP) um amplo sistema de informação de empresa que procura integrar a maioria dos processos de negócios baseados em Tecnologia da Informação (TI). O sucesso do ERP resultou de uma confluência de diversos fatores.

Primeiro fator: muitas empresas (e particularmente seus CEOs) não aceitavam o fato de que as diferentes partes de suas organizações utilizavam sistemas de informação idiossincráticos e normalmente locais. Esses sistemas de fora faziam com que a informação fosse apresentada de forma inconsistente, tornando as comparações e agregações muito difíceis.

Em alguns casos, acessar a informação de algum outro local da organização se tornava impossível, do ponto de vista técnico, já que os sistemas, geralmente, não podiam conversar entre si. Esse estado de relações insatisfatórias ficava claro quando as empresas adquiriam empresas com sistemas de informação incompatíveis ou quando davam a grupos locais o controle sobre a tecnologia da informação, sem estabelecer padrões para a apresentação de informações e trocas entre localidades. A maioria das empresas não percebeu que logo seria possível aos sistemas de informação trabalhar em rede nos mais remotos locais.

Segundo fator: foi a influência crescente da visão de processo das organizações que sugeriu que as empresas fossem reestruturadas em torno de famílias de processos (por exemplo, preenchimento de pedidos, cobranças e pagamentos) necessárias para que os negócios funcionassem, ao invés de em torno dos diversos departamentos e grupos funcionais que poderiam estar envolvidos nesses processos. O ERP foi uma oportunidade de mudar a maneira como a empresa trabalhava, primeiro ao forçar o detalhamento desses processos e, depois, fixando-os nos seus *modus operandi* por meio de *softwares*. Já que o *software* não permitia às pessoas fazerem da maneira antiga, a “reengenharia” se tornou a única maneira de trabalhar.

Finalmente, o *terceiro fator* foi o marketing frenético, tanto por parte dos fornecedores de sistemas ERP quanto das empresas de consultoria contratadas para instalá-los. Sem dúvida que uma mentalidade de “siga o líder” também desempenhou um papel importante no crescimento do ERP, como o fez na expansão da capacidade. Ao responder à pergunta “O que devemos fazer com a bagunça que temos na TI?”, muitas empresas observaram o que todos os outros estavam fazendo e decidiram que o ERP era o caminho a ser tomado.

O crescimento da internet nos anos 90 foi acelerado primeiramente pela *World Wide Web* (www). A internet tem crescido constantemente desde o final dos anos 60 e nos anos 90, tornou-se um “encanamento” para a transferência de e-mails e arquivos. As implicações da WWW para os gerentes de produção foram imensas. Primeiro, permitiu a instalação de intranets (redes internas privadas e exclusivas da empresa) que usavam a mesma tecnologia do resto da WWW e forneciam a capacidade de compartilhar documentos e informação dentro da empresa de uma forma padronizada e fácil de ler. Segundo, as intranets eram seguidamente expandidas de forma a se tornarem extranets (redes externas), permitindo que organizações de fora previamente selecionadas tivessem acesso a algumas das informações disponíveis dentro da empresa.

No século XXI, tem-se a penetração maciça das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) no ambiente da empresa manufatureira e das próprias operações fabris. É razoável afirmar que se trata de um prolongamento do processo de automação industrial, levado

agora a explorar as várias possibilidades abertas pelo uso das TICs, a propósito, identificada ela mesma como a primeira grande tendência geral (IDA, 2012). E quanto às outras tecnologias? A literatura cita frequentemente “tecnologias habilitadoras” (*enabling technologies* - ver item 2.2), isto é, tecnologias que permitem a geração de novos produtos e processos e até mesmo a derivação de outras tecnologias. Vale comentar que uma conceituação precisa e satisfatória de tecnologia habilitadora não é fácil de ser encontrada. Em um documento do Governo Australiano, por exemplo, lê-se que “uma tecnologia habilitadora é uma tecnologia que pode conduzir a mudança radical na capacidade de um usuário ou cultura, permitindo a criação de produtos radicalmente novos ou serviços ou processos mais eficientes” (DIISRTE, 2012): uma definição que enfatiza mais o impacto do que propriamente a característica das tecnologias habilitadoras.

Para a Comissão Europeia, as “tecnologias habilitadoras chave” (abreviadamente, KETs, do inglês *Key Enabling Technologies*) são caracterizadas como tecnologias intensivas em conhecimento e associadas a uma elevada intensidade de P&D, rápidos ciclos de inovação, intensivas tanto em capital quanto em emprego altamente qualificado.

2.6 ESTRATÉGIA DAS OPERAÇÕES / PRODUÇÃO

2.6.1 As Atribuições das Atividades de Produção

Nenhuma organização pode planejar pormenorizadamente todos os aspectos de suas ações atuais ou futuras, mas todas as organizações necessitam de alguma direção estratégica e, assim, podem beneficiar-se ao saber para onde estão dirigindo-se e como podem chegar lá. (Slack, Jones & Johnston, 2009, p. 59)

A Administração da Produção é uma atividade central para qualquer empresa. Destaca-se por ser uma função crucial para muitas organizações, pois representa a maior parte dos bens e a maior parte dos funcionários, e também porque é a função que agrega competitividade à empresa, ao fornecer a habilidade de respostas aos consumidores, e ao desenvolver as capacitações que a colocarão à frente dos concorrentes no futuro. Por exemplo, o papel e o desempenho da função produção são altamente importantes para as empresas do polo eletroeletrônico do Polo Industrial de Manaus. Estas empresas necessitam manter sua reputação, em grande parte, devido ao desempenho dos seus processos em operações. Se uma função produção, no entanto, não consegue produzir seus produtos e serviços de forma eficaz,

poderá inviabilizar o negócio ao prejudicar seu desempenho, independentemente da posição que ocupe no seu mercado.

A maior parte das empresas espera que suas operações e seus gerentes de operações melhorem com o tempo, especialmente quando são implementados em suas plantas novas tecnologias, como as que estamos acompanhando na revolução Indústria 4.0. Ao passar pelo processo de implementação e aprimoramento, as empresas devem evoluir para o sucesso competitivo organizacional: as organizações são diretamente responsáveis por seu sucesso competitivo. Isso significa que eles deveriam ser capazes de, em diferentes etapas, dominar as habilidades de primeiro “implementar”, depois “apoiar”, e por fim “impulsionar” a estratégia de operações com base em ferramentas tecnológicas. Essas etapas são atividades desenvolvidas como a seguir:

Primeiro, ‘implementar’ a estratégia. A maioria das empresas possui algum tipo de estratégia, mas é a produção que coloca em prática. Afinal, não se pode tocar uma estratégia; não se pode vê-la; tudo o que você pode ver é como a produção se comporta na prática.

Segundo, o ‘apoio’ à estratégia empresarial: apoiar a estratégia vai além de simplesmente implementar a estratégia. Significa desenvolver suas capacitações de modo a permitir à organização aprimorar e refinar seus objetivos estratégicos. Por exemplo, um fabricante de televisores decidiu ser o primeiro a lançar os produtos no mercado: sua operação necessita, portanto, ser capaz de enfrentar a inovação constante. Deve desenvolver processos que sejam flexíveis o suficiente para fabricar novos componentes e organizar seus funcionários para que eles entendam as novas tecnologias. Quanto melhor for a produção ao fazer essas coisas, mais apoio estará dando para estratégia da empresa.

O terceiro, e mais difícil, papel da produção é ‘impulsionar’ a estratégia, dando-lhe vantagem única a longo prazo. Por exemplo, as empresas a serem pesquisadas do Polo Industrial de Manaus terão que influenciar e impulsionar as estratégias de operações dos seus principais fornecedores, para que estes acompanhem as mudanças tecnológicas que estão ocorrendo em suas plantas e estejam alinhados com estas mudanças. As atividades de operação impulsionam a estratégia tanto da empresa quanto de seus fornecedores.

2.6.1.1 Estágios da contribuição das estratégias de produção

Hayes e Wheelwright (1994), da Harvard University, desenvolveram o modelo de quatro estágios, que pode ser usado para avaliar o papel e a contribuição da função produção. O modelo traça a progressão dessa função. A habilidade de qualquer operação de exercer seus

papéis na organização pode ser julgada pela consideração de seus propósitos ou aspirações organizacionais.

Estágio 1

Neutralidade interna: este nível é o mais fraco da contribuição da função produção. Nesse estágio, a função produção está segurando a empresa quanto a sua eficácia competitiva. Ela se mantém voltada para dentro e, no máximo, reage às mudanças dos ambientes interno e externo, contribuindo pouco para o sucesso competitivo. De forma paradoxal sua ambição é “passar despercebida” (ou inteiramente neutra). Ao menos, quando isso ocorre, ela não contribui para o insucesso da empresa.

Estágio 2

Neutralidade externa: A primeira etapa de rompimento do estágio 1 é a função produção começar a se comparar com empresas ou organizações similares fora do mercado (sendo “extremamente neutra”). Isso pode não conduzi-la imediatamente à “primeira divisão” de empresas do mercado, mas ao menos pode levá-la a comparar seu desempenho ao da concorrente ao tentar adotar “melhores práticas”.

Estágio 3

Apoio interno: a operação no estágio 3 está entre as melhores do seu mercado. Ainda assim, aspira a ser, sem sombra de dúvida, a melhor do mercado. Isso é atingido obtendo uma visão clara da concorrência ou dos objetivos estratégicos da empresa desenvolvendo os recursos de produção “apropriados”. A produção está tentando dar “apoio interno” ao fornecer uma estratégia de operações respeitável.

Estágio 4

Apoio externo: Hayes e Wheelwright (1994), destacam a crescente importância da administração da produção ao sugerir uma sutil diferença entre os estágios 3 e 4. Uma empresa no estágio 4 vê a função como provedora da base para seu sucesso competitivo. A produção olha para longo prazo. Ela prevê as prováveis mudanças nos mercados e nas ofertas de insumos e desenvolve capacidades que serão exigidas para competir nas condições futuras de mercado. A produção no estágio 4 é inovadora, criativa e proativa, e deve ser a impulsionadora das estratégias para manter-se “um passo à frente” dos concorrentes – o que Hayes e Wheelwright (1994) denominaram “apoio externo”.

2.6.2 Estratégias de Produção e os Objetivos de Desempenho

As atividades relacionadas às operações possuem diversos *stakeholders*, que são pessoas ou grupos de pessoas que podem ser influenciadas ou influenciar as atividades da operação produtiva. Existem os *stakeholders* internos, como por exemplo, os funcionários da operação; outros são externos, como a sociedade ou grupos comunitários, ou ainda os acionistas da empresa. Diversos *stakeholders* externos possuem um relacionamento comercial direto com a empresa, como por exemplo, fornecedores de produção e os consumidores; outros não, como os legisladores e fiscais industriais. Entretanto, em qualquer tipo de empresa é responsabilidade da função produção compreender os objetivos de seus *stakeholders* e estabelecer a partir desta compreensão os seus objetivos organizacionais.

2.6.2.1 Objetivos de desempenho

Os objetivos de desempenho dos *stakeholders* estabelecem as bases para o processo estratégico decisório da produção, mas o nível operacional necessita de um conjunto de objetivos mais bem definidos, que estejam alinhados especificamente à sua atividade básica de satisfazer as exigências dos clientes. Slack et al. (2009) destacam cinco objetivos de desempenho, que se aplicam a todos os tipos de operações produtivas. Imagine um gerente de produção de algum tipo de organização industrial, ou um administrador hospitalar, ou gerente de produção de uma indústria eletrônica, como é o caso desta pesquisa: que objetivos ele deve ter para satisfazer às exigências dos clientes e contribuir para a competitividade?

A seguir uma descrição dos cinco objetivos de desempenho para as estratégias de operações preconizadas por Slack (2009). No entanto, para o fim desta pesquisa utilizaremos no modelo conceitual os objetivos relacionados a qualidade, flexibilidade e custos.

a) **Objetivo qualidade**

Qualidade é atender as expectativas do consumidor. Para as empresas é “fazer certo as coisas”, mas as coisas que a produção precisa fazer certo variarão de acordo com o tipo de operação. Todas as operações destacam a qualidade como um objetivo particularmente importante. Algumas vezes, qualidade é a parte mais visível das atividades de produção. É também algo que o consumidor considera relativamente fácil de julgar. O produto fabricado ou serviço é do jeito que deveria ser? Está certo ou errado? Existe algo de fundamental a respeito

de qualidade. Por isso, ela exerce claramente a maior influência na satisfação ou insatisfação dos clientes. A percepção do consumidor de produtos ou serviços de alta qualidade significa a satisfação do consumidor e, com isso, uma chance maior de seu retorno. Qualidade reduz custos: quanto menos erros em cada processo da operação, menos tempo será necessário para a correção e conseqüentemente, menos confusão e irritação. Qualidade aumenta a confiabilidade. Custos crescentes não são a única consequência da má qualidade.

b) Objetivo velocidade

Velocidade está relacionada ao tempo que transcorre entre a requisição e o recebimento de produtos ou serviços pelos consumidores. O benefício principal na rapidez da entrega dos bens e serviços para os consumidores externos é que ela pode ampliar a oferta. A velocidade da operação interna também é importante. A resposta rápida aos consumidores é auxiliada sobretudo pela rapidez na tomada de decisão e na movimentação de materiais e das informações internas da operação. Existem benefícios complementares, como a redução de estoques e de riscos. Prever os eventos do dia seguinte é menos arriscado que prever os do próximo ano. Quanto mais rápido o tempo total de percurso de um processo, menores os horizontes de previsões necessários.

c) Objetivo confiabilidade

Confiabilidade significa executar entregas no tempo planejado, para que os consumidores recebam seus bens ou serviços exatamente quando necessários ou, ao menos, quando prometidos. Os consumidores só julgam a confiabilidade de uma operação após o produto ou serviço ter sido entregue. Inicialmente a confiabilidade talvez não afete a escolha do consumidor: ele já terá “consumido”. Entretanto, no decorrer do tempo, confiabilidade pode ser mais importante do que qualquer outro critério. Não importa quão barata seja a passagem de ônibus ou quão rápido ele seja se o serviço estiver sempre atrasado (ou fora do horário) e os veículos estiverem sempre lotados. Os passageiros potenciais estarão mais bem servidos por um Uber. A confiabilidade na operação interna tem efeito similar. Os clientes internos julgarão o desempenho uns dos outros, analisando o nível de confiabilidade entre processos na entrega pontual de materiais e informações. As operações que possuem maior confiabilidade interna são mais eficazes por várias razões. Confiabilidade também está relacionada a fatores que trazem vantagens competitivas para as organizações como economia de tempo e de dinheiro.

d) Objetivo flexibilidade

Objetivo relacionado à capacidade de mudanças rápidas nas atividades relacionadas às operações. É poder alterar rapidamente o que a operação faz, como faz, ou quando faz. Especificamente, a mudança deve atender quatro tipos de exigências:

- Flexibilidade de produto/serviço: habilidade da operação em introduzir ou modificar os produtos e serviços;

- Flexibilidade de composto (*mix*): habilidade da operação em produzir uma ampla variedade ou composto de produtos e serviços;

- Flexibilidade de volume: habilidade da operação de alterar seus níveis de saída *outputs* para produzir diferentes quantidades ou volumes de produtos e serviços;

- Flexibilidade de entrega: habilidade da operação em alterar os tempos de entrega de seus serviços ou produtos.

Flexibilidade / Customização: Um dos efeitos externos benéficos da flexibilidade é a maior habilidade de uma operação de fazer coisas diferentes para diferentes consumidores. (Pine, 1993). Assim, a flexibilidade fornece a habilidade de produzir uma alta variedade de produtos e serviços permitindo a customização. Algumas empresas desenvolveram flexibilidade de tal forma que seus produtos e serviços são produzidos para atender a consumidores individuais. Mesmo assim, conseguem produzir em alto volume, de forma que a produção mantém os custos baixos. Essa abordagem é denominada “customização em massa” que é atingida por meio da flexibilidade de projeto. Este é um dos caminhos perseguidos pela visão Indústria 4.0.

e) **Objetivo Custo**

Este objetivo está relacionado à busca de redução de custos, de forma a possibilitar preços apropriados ao mercado e ainda permitir retorno para a organização ou, em caso de uma organização que não vise lucro, dar bom retorno aos contribuintes ou aos mantenedores da operação. Quando a organização procura fazer isso, ela está proporcionando uma vantagem competitiva em custo a seus clientes.

2.6.3 Gestão e Estratégia da Produção

Nem sempre se percebe que diferentes estratégias e abordagens de marketing visando obter uma vantagem competitiva impõem diferentes demandas à divisão de manufatura da empresa (Skinner, 1969). A Gestão Estratégica da Produção está relacionada a padrões de

decisões e as ações estratégicas que definem os papéis, os objetivos e as atividades de produção e, geralmente, está ligada à criação e entrega diária de bens e serviços. Entretanto, “produção” ou “operação” não são sinônimos de operacional. Produção ou operação diz respeito a recursos que criam produtos e serviços. “Operacional” é o oposto de estratégico, significando atividades repetidas e detalhadas. Portanto, podem-se examinar tanto os aspectos operacionais quanto os estratégicos das operações. Também é importante considerar a distinção entre o “conteúdo” e o “processo” da estratégia de produção. Conteúdo da estratégia de produção envolve decisões e ações específicas, que estabelecem o papel, os objetivos e as atividades da produção. O processo da estratégia da produção é o método usado para produzir as decisões específicas de “conteúdo”. Slack et al. (2009) descrevem que:

Não existe um acordo universal a respeito de como a estratégia da produção deve ser descrita, diferentes autores possuem visões e definições diferentes sobre o assunto dentre estas, “perspectivas” aparecem: (1) Estratégia da produção como um reflexo “de cima para baixo” (*top-down*) do que o grupo ou negócio todo deseja fazer; (2) estratégia da produção é uma atividade “de baixo para cima” (*bottom-up*), em que as melhorias da produção cumulativamente constroem a estratégia. (3) A estratégia da produção envolve a tradução dos requisitos do mercado em decisões da produção; (4) a estratégia da produção envolve a exploração das capacidades dos recursos da produção em mercados predefinidos. (p. 61)

Nenhuma dessas quatro perspectivas sozinhas dá uma visão geral do que seja a estratégia de produção. Juntas, no entanto, elas fornecem uma ideia de pressões em jogo para formar o conteúdo da estratégia da produção.

2.6.3.1 A perspectiva *top-down*

A perspectiva *top-down* (de cima para baixo) demonstra que uma empresa necessitará de uma estratégia para se posicionar no ambiente global, econômico, político e social. Esta estratégia implica em decisões sobre tipos de negócios em que o grupo deseja investir, em que partes do mundo o grupo deseja operar, como alocar seu dinheiro entre os vários negócios e assim por diante. Tais decisões formam a estratégia corporativa da empresa. Cada unidade de negócio dentro do grupo corporativo também necessitará montar sua própria estratégia de negócios, que estabelecerá sua missão e objetivos individuais.

Esta estratégia de negócios direciona a empresa em relação a seus clientes, mercados e concorrentes, e também à estratégia do grupo corporativo do qual faz parte. De forma semelhante, dentro da empresa, estratégias funcionais necessitam considerar qual parte cada função deveria desempenhar para contribuir para os objetivos estratégicos da empresa. A produção, o marketing, o desenvolvimento de produto/serviço e outras funções precisam

considerar qual a melhor forma de se organizarem para apoiar os objetivos da empresa. Portanto, uma perspectiva da estratégia da produção é que ela deve tomar seu lugar na hierarquia de estratégias. Sua principal influência, entretanto, será tudo aquilo que a empresa entender como direção estratégica. As mudanças atuais e futuras por que passam as empresas do polo eletroeletrônico em relação a revolução Indústria 4.0 indicam que as empresas terão que rever suas estratégias de operação. A implicação para a estratégia da produção é que ela necessita expandir-se rapidamente, investindo em capacitação tecnológica e revisão dos seus processos. O papel da produção é, largamente, o de implementar e “operacionalizar” a estratégia.

2.6.3.2 A perspectiva bottom-up

Mudanças significativas implicam a perspectiva “de baixo para cima”. Quando qualquer empresa revisar sua estratégia corporativa, deverá levar em conta as circunstâncias, experiências e capacidades das várias empresas que compõem o grupo. De forma similar, as empresas, ao revisarem suas estratégias, irão consultar suas funções individuais sobre suas restrições e capacitações. Devem, também, incorporar as ideias que vêm da experiência diária de cada função. Portanto, uma perspectiva alternativa para a visão de baixo para cima é que muitas ideias estratégicas emergem, com o tempo, da experiência operacional.

Algumas vezes, as empresas se movem em uma direção estratégica em particular porque a experiência de fornecer produtos e serviços a consumidores no nível operacional convence-as de que é a coisa certa a fazer. Pode não haver decisões em um escalão mais alto que examinam opções estratégicas alternativas e escolhem aquela que oferece a melhor saída. Em vez disso, o consenso geral emerge do nível operacional da organização: o “alto nível” do processo decisório estratégico pode confirmar o consenso e fornecer os recursos para fazer acontecer efetivamente.

Essa ideia de estratégia que é moldada pela experiência do nível operacional ao longo do tempo é, algumas vezes, chamada de conceito de estratégias emergentes. A estratégia é gradualmente moldada com o tempo e baseada em experiência de vida real, e não no posicionamento teórico. De fato, as estratégias são, geralmente, formadas de uma maneira relativamente fragmentada e não estruturada, para refletir o fato de que o futuro é, pelo menos parcialmente, desconhecido e imprevisível. Esta visão da estratégia de produção, talvez, seja mais descritiva de como as coisas realmente acontecem, mas à primeira vista, parece ser menos útil em fornecer um guia para o processo decisório específico. Ainda assim, embora as

estratégias emergentes sejam menos fáceis de categorizar, o princípio que governa a perspectiva de baixo para cima é claro: moldar os objetivos e as ações da produção, pelo menos em parte, pelo conhecimento adquirido nas atividades diárias com suas habilidades e experiências.

2.6.3.3 A perspectiva das exigências feitas pelo mercado

Entre as estratégias das empresas, um dos objetivos mais evidentes é satisfazer o mercado e buscar manter a fidelidade de seus clientes. Nenhuma operação produtiva que falhar constantemente em servir seu mercado de forma adequada tem chance de sobreviver no longo prazo. Embora se entenda que os mercados são normalmente associados à função de marketing, também são importantes para a administração da produção. Sem compreender o que o mercado requer, é impossível garantir que as operações estejam obtendo a prioridade certa entre seus objetivos de desempenho (qualidade, rapidez, confiabilidade, flexibilidade e custo).

2.6.3.4 A perspectiva relacionada aos consumidores

A estratégia de produção busca satisfazer os consumidores, desenvolvendo seus cinco objetivos de desempenho. De acordo com Slack et al. (2009, p. 67) se os consumidores valorizarem especialmente produtos ou serviços de baixo preço, a produção dará ênfase a seu desempenho em custos. De forma alternativa, se a ênfase dos consumidores se concentrar em entrega rápida, o critério velocidade tornar-se-á importante para a produção, e assim por diante. Esses fatores que definem as exigências dos clientes são chamados fatores competitivos. O Quadro 2 mostra a relação entre alguns fatores competitivos e os objetivos de desempenho. O ponto importante é que os fatores competitivos valorizados pelos diversos consumidores irão influenciar a prioridade de cada objetivo de desempenho.

Quadro 2 - Fatores Competitivos

FATORES COMPETITIVOS	OBJETIVOS DE DESEMPENHO
Preço baixo	Custo
Alta Qualidade	Qualidade
Entrega rápida	Velocidade
Entrega confiável	Confiabilidade
Produtos e serviços inovadores	Flexibilidade

Fonte: Slack, 2009.

2.6.4 O Processo da Estratégia da Produção

O processo da estratégia da produção relaciona-se aos procedimentos que podem ser usados para formular estratégias de produção com o objetivo de aprimorar a produtividade das empresas. A sabedoria tradicional sobre gestão da manufatura afirma e continua a afirmar que a medida para se aferir o êxito de uma empresa é a sua produtividade (Skinner, 1974).

Um grande número de autores que escrevem sobre as diferentes formas de estratégia de produção tem debatido sobre a importância de uma implementação eficaz das estratégias para atingir a produtividade (Slack et al. 2009). Isso demonstra a concordância que, independentemente de quão sofisticados sejam os suportes intelectuais e analíticos de uma estratégia, ela continuará sendo somente um documento até o momento de ser implementada. Ken Platts, da Universidade de Cambridge, tem escrito sobre a natureza do processo de formulação da estratégia de operações. Sua descrição genérica do processo é denominada “os cinco Ps”:

Propósito

Como em qualquer forma de gestão de projeto, quanto mais clareza houver a respeito da meta final, mais chances haverá dela ser alcançada. Nesse contexto, é crucial possuir uma compreensão compartilhada sobre a motivação, limites e contexto do desenvolvimento da estratégia.

Ponto de Entrada

Ligado ao item interior, qualquer processo de análise, formulação e implementação é, potencialmente, politicamente sensível, e o apoio que o processo possui dentro da hierarquia da organização é central para o sucesso da implementação.

Processo

Qualquer processo de formulação necessita ser explícito. É importante que os gerentes engajados em formar estratégias de operações reflitam sobre o processo em que estão participando.

Gestão de Projeto

Existe um custo associado a qualquer processo de estratégia. Na verdade, uma das razões pelas quais as operações não possuíam tradicionalmente estratégias explícitas é a

dificuldade de liberar tempo suficiente do nível de gerenciamento. As disciplinas básicas de gestão de projeto, como planejamento de tempo e de recursos, controles, mecanismos de comunicação, revisões, e assim por diante, devem estar em funcionamento.

Participação

Intimamente ligada aos itens anteriores, a seleção de pessoal para participar do processo de implementação é também crucial. Assim, por exemplo, o uso de consultores externos pode fornecer *expertise* adicional, o uso de gerentes de linha (e funcionários) pode fornecer uma experiência de “mundo real” e a inclusão de gerentes de diferentes funções (e fornecedores etc.) pode ajudar a integrar a estratégia finalizada.

2.6.4.1 O Processo e os Trade-Offs entre os objetivos de desempenho

Até recentemente, o trabalho da manufatura costumava ser reduzido a não obstruir o lançamento da estratégia de negócios e ser o mais eficiente possível em termos de custo (Corbet, 1993, p. 185). No entanto, a principal pergunta não é “Como podemos reduzir custos?”, mas sim “Como podemos concorrer?” ou seja, como a produção pode desempenhar um papel mais proativo para sustentar e até mesmo formular a estratégia de negócios (Skinner, 1986). Fator determinante na implementação da estratégia de operações é identificar como a estratégia deve direcionar a prioridade relativa dos objetivos de desempenho da operação. Bons exemplos são afirmações como “rapidez de resposta é mais importante do que eficiência de custo”, “qualidade é mais importante do que variedade” e assim por diante. Para isso, é necessário considerar a possibilidade de melhoria de desempenho de um objetivo em detrimento de outro. Por exemplo, uma operação pode desejar aprimorar sua eficiência de custo ao reduzir a variedade de produtos ou serviços que oferece a seus consumidores. Provavelmente, o melhor resumo da ideia de *trade-off* vem do professor Wickham Skinner (1969), o mais influente e pioneiro na abordagem estratégica em operações, que disse:

Muitos gerentes vão prontamente admitir que existem compromissos ou *trade-offs* a fazer ao projetar-se um avião ou caminhão. No caso de um avião, os *trade-offs* envolveriam a velocidade cruzeiro, as distâncias de decolagem e aterrissagem, o custo inicial, a manutenção, o consumo de combustível, o conforto dos passageiros e a capacidade de carga ou passageiros; no caso do caminhão envolveriam a avaliação de outras características. A mesma coisa vale para as estratégias de operações (p. 12).

Existem, no entanto, duas visões a respeito do *trade-offs*. A primeira enfatiza o “reposicionamento” dos objetivos de desempenho, ao comprometer o desempenho de algum objetivo para favorecer melhoramentos em outros. A segunda visão enfatiza o aumento de “eficácia” da operação ao ultrapassar os *trade-offs*, de modo que melhoramentos em um ou mais aspectos de desempenho possam ser alcançados sem nenhuma redução no desempenho de outros aspectos. Muitos negócios vão adotar ambas as abordagens em um momento ou outro. A adoção das tecnologias da Indústria 4.0 possibilitará melhores escolhas.

2.7 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA - O ESTADO DA ARTE DA INDÚSTRIA 4.0

Como apoio à fundamentação teórica desta pesquisa e em busca de obter citações atualizadas, principalmente nas questões tecnológicas que norteiam o tema Indústria 4.0, foi realizada uma análise bibliométrica a cerca de como os diversos países do mundo vêm tratando este tema. Logo de imediato percebeu-se que diferentes termos são utilizados em diferentes países para tratar do mesmo tema que conhecemos no Brasil como Indústria 4.0. Desta forma, foi feito um estudo do estado da arte de três termos: *Industry 4.0*, *Advanced Manufacturing* e *Industrial Internet*. Apesar das diferentes denominações, estão relacionados aos mesmos conceitos: todos tratam dos avanços tecnológicos em processos industriais. Estes termos vêm sendo tratados atualmente pela literatura especializada como uma nova revolução na manufatura industrial.

O termo *Industry 4.0* denomina um programa de recuperação e atualização do parque industrial alemão, o *Industry 4.0 platform*, programa este concebido para fazer frente a crescentes ameaças competitivas estrangeiras. Países como Estados Unidos, França, Holanda, China, Japão e Coreia do Sul vêm empreendendo estudos e iniciativas em suas plataformas industriais, em busca de uma maior eficiência para se adequarem à revolução 4.0 em programas similares ao programa alemão, com as denominações *Advanced Manufacturing* e *Industrial Internet*.

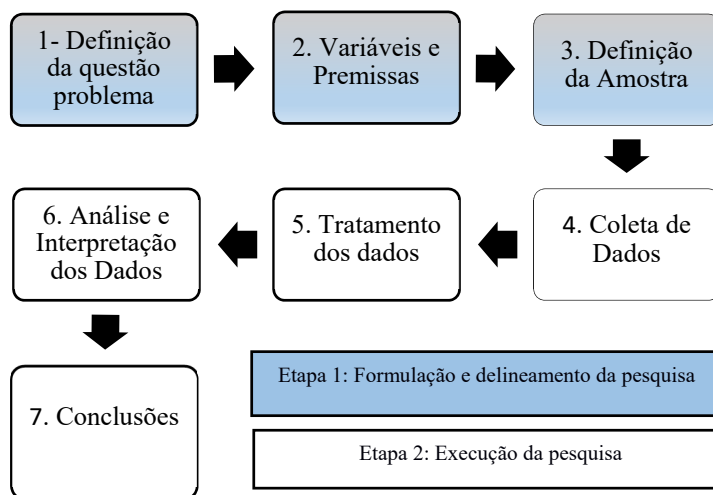
A pesquisa foi desenvolvida na base Scopus e foi realizada em duas etapas. A primeira etapa consistiu em uma coleta de informações das quantidades gerais de publicações para os diferentes termos. Identificou-se, inicialmente, o volume de produção dos termos *Industry 4.0*, *Advanced Manufacturing* e *Industrial Internet*. Na segunda etapa, os termos foram restringidos à área de administração (*business, management and accounting*) onde foram identificados os dez principais artigos por citação, além de seus autores, países, ano de publicação, assuntos abordados e as bases onde estes artigos foram publicados.

2.7.1 Metodologia para o Estudo do Estado da Arte

A pesquisa foi desenvolvida com base na bibliometria, que é um conjunto de leis e princípios empíricos que contribuem para estabelecer os fundamentos teóricos da ciência da informação (Guedes & Borschiver, 2007). A bibliometria se utiliza de parâmetros estatísticos em busca de indicadores da produção científica de temas diversos, autores, publicações e regiões, avaliando também a divulgação dessas produções.

A fim de demonstrar os passos a serem seguidos em uma pesquisa bibliométrica, a Figura 21, elaborada por Moran, Souza, Boaventura e Marinho (2010), demonstra um procedimento através de um fluxo de atividades a ser seguido. Este fluxo está dividido em duas etapas: - Etapa 1, em que se desenvolve a formulação e delineamento da pesquisa, responsável pelo alinhamento da pesquisa e seus objetivos; e - Etapa 2, execução da pesquisa, quando se desenvolve o trabalho quantitativo e sua análise.

Figura 21 - Procedimentos para a pesquisa bibliográfica



Fonte: Moran et al., 2010.

Como forma de medição da relevância de cada um dos termos pesquisados, serão utilizados gráficos e tabelas de acordo com as variáveis obtidas pela bibliometria. Guedes e Borschiver (2007), evidenciam que análises de produção científica e do número de citações de uma pesquisa são indicadores apropriados para captar o alcance de uma determinada fonte.

2.7.2 Coleta de Dados

Para a coleta de dados, foi considerado o repositório Scopus (2018) da Rede Elsevier de publicações científicas, por deter a maior abrangência na produção mundial da atualidade nas áreas de ciência, tecnologia, medicina, ciências sociais, artes e humanidades (Archambault, Campbell, Gingras, & Lauriviere 2009; Moran et al., 2010).

A pesquisa inicial foi realizada da seguinte forma: foram inseridos no campo de pesquisa da base Scopus os termos *Industry 4.0*, *Advanced Manufacturing* e *Industrial Internet*, restringindo-se a título do artigo, resumo e palavra-chave, e limitando-se os resultados a artigos publicados na área de *business and management*. Em ambas as bases foram delimitados os períodos de 2011 a 2018. A pesquisa foi realizada no dia 16/07/2018.

Com a pesquisa inicial, obtiveram-se os seguintes resultados (Quadro 3):

Quadro 3 - Quantidade de artigos publicados por termo pesquisado na base Scopus

Temas Pesquisados	Artigos
<i>INDUSTRY 4.0</i>	226
<i>ADVANCED MANUFACTURING</i>	133
<i>INDUSTRIAL INTERNET</i>	34

Fonte: Base Scopus 2018.

2.7.3 Análise dos Dados

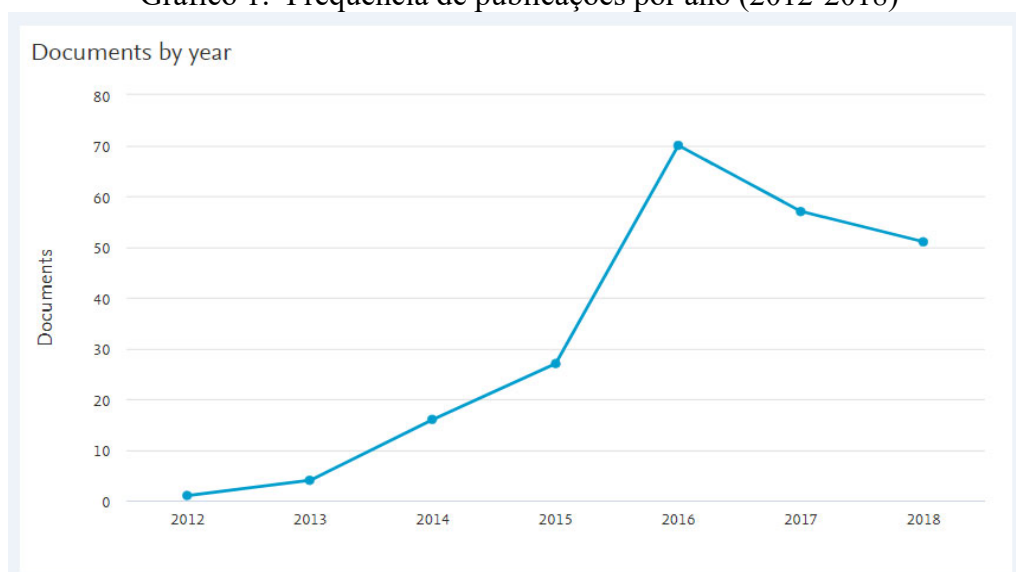
As análises dos dados foram realizadas em dois momentos: a primeira análise foi realizada a partir do levantamento do que foi publicado entre 2011 e 2018 e sua distribuição no tempo, utilizando-se os mesmos parâmetros de pesquisa para cada um dos termos pesquisados: *Industry 4.0*, *Advanced Manufacturing*, *Industrial Internet*. Para cada um destes termos, a pesquisa foi restringida à área de Administração – “*business and management*”. A segunda análise consistiu na leitura do *abstract* dos dez artigos mais citados de cada termo: *Industry 4.0*, *Advanced Manufacturing* e *Industrial Internet*, para que se pudessem definir os principais temas que vêm sendo abordados, seu delineamento e possíveis lacunas.

2.7.3.1 Primeira etapa

2.7.3.1.1 Industry 4.0

A pesquisa do primeiro tema foi realizada usando a seguinte expressão: *TITLE – ABS – KEY (“Industry 4.0”) AND DOCTYPE (ar OR re) AND PUBYEAR <2019 AND (LIMIT – TO (SUBJAREA, “BUSI”))*. Do estudo inicial, foram identificados 226 documentos publicados entre 2011 e 2018, sendo 2016 o ano com maior número de publicações, conforme o gráfico a seguir. Observa-se que no ano de 2012, começam a aparecer trabalhos com o termo *Industry 4.0*. Este fenômeno tem origem na iniciativa privada alemã que permitiu seu lançamento em 2011, como uma plataforma de convergência e de colaboração em defesa da competitividade da indústria local (Salerno & Zancul, 2017).

Gráfico 1: Frequência de publicações por ano (2012-2018)



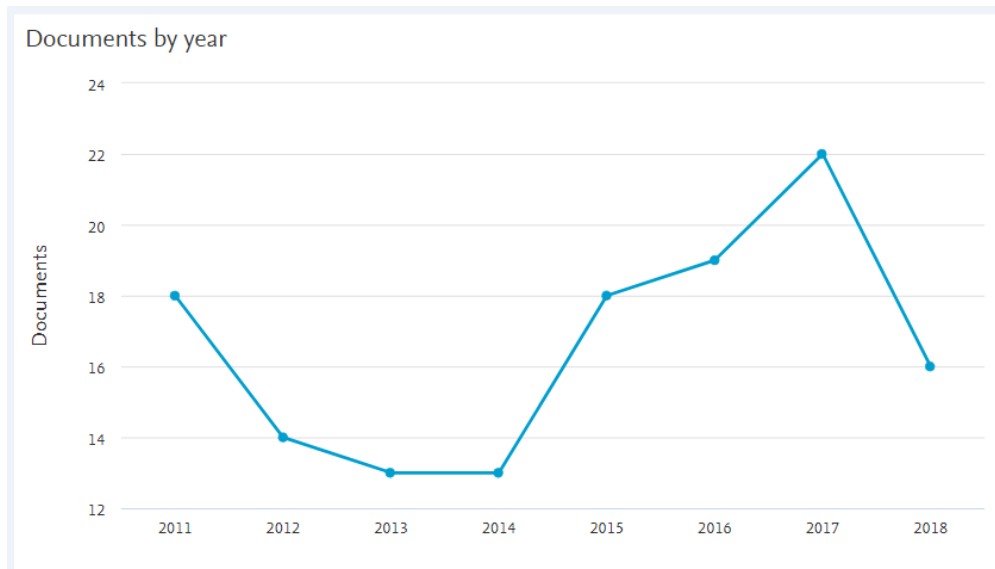
Fonte: Scopus – Gráfico *Analyze search results*.

2.7.3.1.2 Advanced Manufacturing

A pesquisa do segundo tema foi efetuada usando a seguinte expressão: *TITLE – ABS – KEY (“Advanced Manufacturing 4.0”) AND DOCTYPE (ar OR re) AND PUBYEAR <2019 AND (LIMIT – TO (SUBJAREA, “BUSI”))*. Do estudo inicial foram identificados 133 documentos publicados entre 2011 e 2018, sendo 2017 o ano com maior número de publicações,

conforme o gráfico a seguir. O termo *Advanced Manufacturing* é o nome do programa de recuperação tecnológica dos Estados Unidos, similar ao termo *Industry 4.0* da Alemanha.

Gráfico 2: Frequência de publicações por ano (2011-2018)

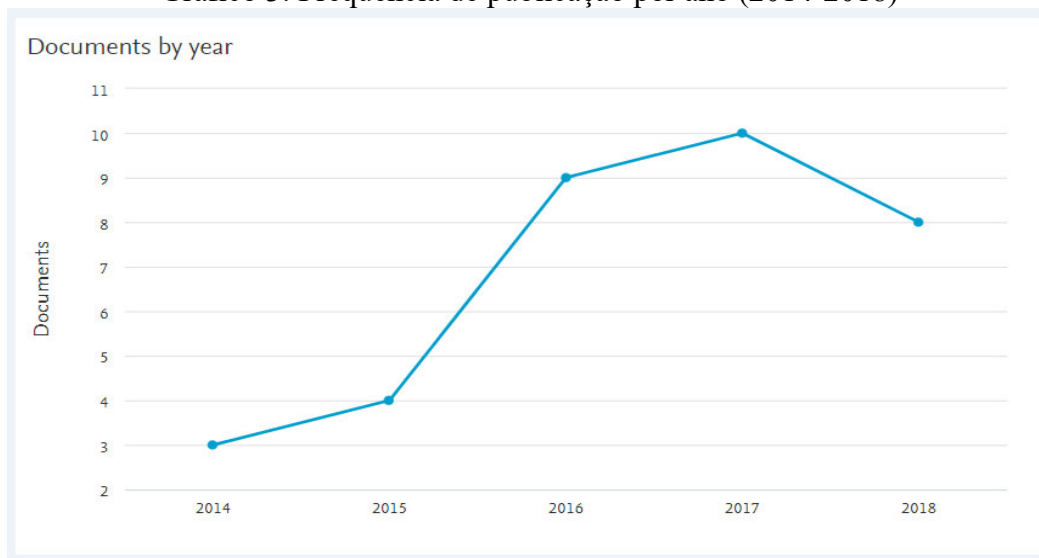


Fonte: Scopus – Gráfico *Analyze search results*.

2.7.3.1.3 Industrial Internet

A pesquisa do terceiro tema foi elaborada usando a seguinte expressão: *TITLE – ABS – KEY (“Industrial Internet 4.0”) AND DOCTYPE (ar OR re) AND PUBYEAR <2019 AND (LIMIT – TO (SUBJAREA, “BUSI”))*. Do estudo inicial, foram identificados 34 documentos publicados entre 2011 e 2018, sendo 2017 o ano com maior número de publicações, conforme o gráfico a seguir:

Gráfico 3: Frequência de publicação por ano (2014-2018)



Fonte: Scopus – Gráfico *Analyze search results*.

2.7.3.2 Segunda etapa

As análises desta etapa foram realizadas a partir da interpretação de dez artigos de cada um dos termos pesquisados. Os Quadros 4, 5 e 6 a seguir foram estruturados com o título dos artigos, ano de publicação, número de citações, assuntos abordados, seus autores, os países e veículos onde foram feitas as publicações. Estes quadros permitiram um embasamento para os caminhos do projeto de tese e sua análise crítica, a partir das lacunas que estão identificadas no item 2.7.6 - Considerações sobre o estado da arte.

2.7.3.2.1 Industry 4.0

Quadro 4 - Análise dos dez artigos mais citados relacionados ao termo Industry 4.0 na subárea de business and management

INDUSTRY 4.0 - 16/07/2018							
Item	Título	Ano	Citações	Assuntos abordados	Autores	País	Publicações
1	Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions	2016	73	Tecnologias / sistemas	Kang H.S., Lee J.Y., Choi S., Kim H., Park J.H., Son J.Y., Kim B.H., Noh S.D.	Coreia do Sul	International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology
2	A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory Industry 4.0	2016	44	Supply Chain / Fábricas inteligentes	Ivanov D., Dolgui A., Sokolov B., Werner F., Ivanova M.	Alemanha	International Journal of Production Research
3	Smart product design and production control for effective mass customization in the Industry 4.0 concept	2016	26	Processo de design de produtos e organização da produção	Zawadzki P., Zywicki K.	Polônia	Management and Production Engineering Review
4	An event-driven manufacturing information system architecture for Industry 4.0	2017	21	Digitalização, sistemas LISA, integração de fábrica flexível e utilização de dados	Theorin A., Bengtsson K., Provost J., Lieder M., Johnsson C., Lundholm T., Lennartson B.	Suécia	International Journal of Production Research
5	Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal	2017	18	Pesquisa das lacunas, investigando os progressos acadêmicos na Indústria 4.0.	Liao Y., Deschamps F., Loures E.F.R., Ramos L.F.P	Brasil	International Journal of Production Research
6	Industrial revolution - Industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution?	2015	16	O papel especial das PMEs Design / metodologia / abordagem	Sommer L.	Alemanha	Journal of Industrial Engineering and Management

Quadro 4 - Análise dos dez artigos mais citados relacionados ao termo *Industry 4.0* na subárea de business and management (Continuação)

Item	Título	Ano	Citações	Assuntos abordados	Autores	País	Publicações
7	Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in Industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing	2016	14	Lean Manufacturing	Sanders A., Elangeswaran C., Wulfsberg J.	Alemanha	Journal of Industrial Engineering and Management
8	New logistics and production trends as the effect of global economy changes [Nowe trendy logistyki i produkcji jako efekt zmian gospodarki światowej]	2016	13	Supply Chain / Logística	Kovács G., Kot S.	Hungria	Polish Journal of Management Studies
9	Strategic business transformation through technology convergence: Implications from General Electric's industrial internet initiative	2015	10	Tecnologia operacional (OT) e tecnologia da informação (TI)	Agarwal N., Brem A.	Alemanha	International Journal of Technology Management
10	The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0	2018	4	Planejamento e controle da produção em PMEs.	Moeuf A., Pellerin R., Lamouri S., Tamayo-Giraldo S., Barbaray R.	Alemanha	International Journal of Production Research

Fonte: pesquisa do Autor.

Da análise do Quadro 4, para os principais temas mais citados na pesquisa para *Industry 4.0* (pesquisa no Scopus relacionado a *business and management*), pode-se destacar que 40% das pesquisas estão voltadas para artigos relacionados a Organização da Produção/*Lean*

Manufacturing, 30% para Tecnologias/Sistemas, 20% para *Supply Chain* e 10% para pesquisas bibliométricas.

Das pesquisas relacionadas ao tema *Industry 4.0*, destaca-se a Alemanha como o país que teve os artigos mais citados, seguida pela Coreia do Sul, Polônia, Suécia, Brasil e Hungria.

2.7.3.2.2 Advanced Manufacturing

Quadro 5 - Análise dos dez artigos mais citados relacionados ao termo Advanced Manufacturing na subárea de business and management

ADVANCED MANUFACTURING 16/07/2018							
Item	Título	Ano	Citações	Assuntos abordados	Autores	País	Publicação
1	Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges	2016	79	Manufatura aditiva e sustentabilidade	Ford Simon, Despeisse M.	Reino Unido	Journal of Cleaner Production
2	A comparison of energy consumption in bulk forming, subtractive, and additive processes: Review and case study	2014	76	Consumo de energia	Yoon H.-S., Lee J.-Y., Kim H.-S., Kim M.-S., Kim E.-S., Shin Y.-J., Chu W.-S., Ahn S.-H.	Coreia do Sul	International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology
3	Moving towards green and sustainable manufacturing	2014	67	Sustentabilidade	Dornfeld D.A.	Estados Unidos	International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology
4	IFSJSP: A novel methodology for the Job-Shop Scheduling Problem based on intuitionistic fuzzy sets	2013	58	Sistemas Informativos de manufatura JSP	Zhang X., Deng Y., Chan F.T.S., Xu P., Mahadevan S., Hu Y.	Estados Unidos	International Journal of Production Research
5	Implementation of a responsive supply chain strategy in global complexity: The case of manufacturing firms	2014	56	Cadeia de suprimento responsiva	Roh J., Hong P., Min H.	Estados Unidos	International Journal of Production Economics

Quadro 5 - Análise dos dez artigos mais citados relacionados ao termo *Advanced Manufacturing* na subárea de *business and management* (Continuação)

Item	Título	Ano	Citações	Assuntos abordados	Autores	País	Publicação
6	AHP-based lean concept selection in a manufacturing organization	2011	40	Lean Manufacturing	Vinodh S., Shivraman K.R., Viswesh S.	Índia	Journal of Manufacturing Technology Management
7	Hidden innovators: The role of non-R&D activities	2011	33	Inovação e P&D	Barge-Gil A., Nieto M.J., Santamaría L.	Espanha	Technology Analysis and Strategic Management
8	Offshoring and international competitiveness: Antecedents of offshoring advanced tasks	2012	31	Offshoring de tarefas avançadas de manufatura	Jensen P.D.O., Pedersen T.	Dinamarca	Journal of the Academy of Marketing Science
9	An implementation framework for seru production	2014	22	Lean Manufacturing	Liu C., Stecke K.E., Lian J.	China	International Transactions in Operational Research
10	An impact of manufacturing flexibility and technological dimensions of manufacturing strategy on improving supply chain responsiveness: Business environment perspective	2013	20	Supply Chain	Kim M., Suresh N.C., Kocabasoglu-Hillmer C.	Reino Unido	International Journal of Production Research

Fonte: pesquisa do Autor.

Da análise do Quadro 5, dos principais temas mais citados na pesquisa para *Advanced Manufacturing* (pesquisa no Scopus relacionado a *business and management*), destaca-se que 30% das pesquisas estão direcionadas a *Lean Manufacturing*, 30% a Sustentabilidade, 20% a *Supply Chain*, 10% a Tecnologias em Sistemas de Produção e 10% a Pesquisa e Desenvolvimento (P&D).

Das pesquisas relacionadas ao tema *Advanced Manufacturing*, destaca-se os Estados Unidos como o país que teve os artigos mais citados, seguido pelo Reino Unido, Coreia do Sul, Índia, Espanha, Dinamarca e China.

2.7.3.2.3 Industrial Internet

Quadro 6 - Análise dos dez artigos mais citados relacionados ao termo Industrial Internet na subárea de business and management

ANÁLISE ABSTRACT: INDUSTRIAL INTERNET 16/07/2018							
Item	Título	Ano	Citações	Assuntos Abordados	Autores	País	Publicações
1	The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises	2015	145	Tecnologias para aplicativos corporativos	Lee I., Lee K.	USA	Kelley School of Business
2	Strategic business transformation through technology convergence: Implications from General Electric's industrial internet initiative	2015	8	Estudo sobre tecnologia operacional OT e tecnologia da Informação	Agarwal N., Brem A.	Alemanha	International Journal of Technology Management
3	How will smart city production systems transform supply chain design: a product-level investigation	2016	7	Cidades Inteligentes / cadeias de Suprimentos	Kumar M., Graham G., Hennelly P., Srai J.	India	International Journal of Production Research
4	System dynamics analysis for an Internet-of-Things-enabled production logistics system	2017	6	Logística de produção interna e externa	Qu T., Thüerer M., Wang J., Wang Z., Fu H., Li C., Huang G.Q.	China	International Journal of Production Research
5	Process querying: Enabling business intelligence through query-based process analytics	2017	6	Gerenciamento dos Processos estudo do estado da arte	Polyvyanyy A., Ouyang C., Barros A., van der Aalst W.M.P.	Austrália	Decision Support Systems
6	Sustainability aspects of a digitalized industry – A comparative study from China and Germany	2017	5	Discute as mudanças que a digitalização deve provocar na comparando uma indústria altamente industrializada (Alemanha) com uma importante economia industrial emergente (China).	Beier G., Niehoff S., Ziems T., Xue B.	Alemanha	International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology

Quadro 6 - Análise dos dez artigos mais citados relacionados ao termo Industrial Internet na subárea de business and management (Continuação)

Item	Título	Ano	Citações	Assuntos Abordados	Autores	País	Publicações
7	Actors in the emerging internet of things ecosystems	2017	5	Investiga os atores nos eco sistemas da Internet das Coisas.	Leminen S., Rajahonka M., Westerlund M.	Finlândia	International Journal of E-Services and Mobile Applications
8	Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of Industry 4.0	2017	4	Desafios Econômicos, Ecológicos e Sociais da Internet das Coisas.	Kiel D., Müller J.M., Arnold C., Voigt K.-I.	Alemanha	International Journal of Innovation Management
9	Core concept of system lifecycle management in context of Industrial Internet including Industry 4.0 and Internet of Things and Services [Kern des system lifecycle management: Im kontext von industrial internet mit industrie 4.0 und internet der dinge und dienste]	2016	3	Digitalização, interdisciplinaridade, integração e colaboração	Eigner M., Muggeo C., Apostolov H., Schäfer P.	Alemanha	ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftliche n Fabrikbetrieb
10	Short description and benefits of system lifecycle management in context of industrial internet including Industry 4.0 and internet of thinks and services [Kurzer Begriff und Nutzen des System Lifecycle Management: Industrial Internet mit Industrie 4.0 und Internet der Dinge und Dienste]	2015	3	Engenharia Sistemas / Tecnologias inteligentes, interconectividade	Eigner M., Faißt K.-G., Apostolov H., Schäfer P.	USA	ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftliche n Fabrikbetrieb

Fonte: pesquisa do Autor.

Da análise do Quadro 6, dos principais temas mais citados na pesquisa para *Industrial Internet* (pesquisa no Scopus relacionada a *business and management*), destaca-se que 60% das pesquisas estão direcionadas a artigos relacionados a Tecnologias/Sistemas/Digitalização, 20% a *Supply Chain* e 20% a Gerenciamento de Processos.

Das pesquisas relacionadas para o tema *Industrial Internet*, destaca-se a Alemanha como o país que teve os artigos mais citados, seguida pelos Estados Unidos, Índia, China, Austrália e Finlândia.

2.7.4 Publicações

Dos trinta artigos pesquisados e mais citados, identificam-se a seguir as cinco revistas internacionais onde estas publicações foram mais indexadas, conforme o Quadro 7.

Quadro 7 - Percentual de publicações por Revistas dos temas abordados

Revistas	Publicações (%)
<i>International Journal of Production Research</i>	27%
<i>International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology</i>	14%
<i>Journal of Industrial Engineering and Management</i>	10%
<i>International Journal of Technology Management</i>	7%
<i>ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb</i>	7%
Outras publicações com apenas um artigo (11)	35%

Fonte: pesquisa do Autor.

2.7.5 Publicações por países

A Tabela 1, faz uma análise demonstrativa da distribuição das publicações dos artigos por países. Observa-se desta análise uma concentração das pesquisas em países desenvolvidos e poucas em países em desenvolvimento.

Tabela 1- Análise das Publicações por países

PAÍS	INDUSTRY 4.0	ADVANCED MANUFACTURING	INDUSTRIAL INTERNET	TOTAL	%
ALEMANHA	5		4	9	30,0
ESTADOS UNIDOS		3	2	5	16,7
CHINA		1	1	2	6,7
CORÉIA DO SUL	1	1		2	6,7
REINO UNIDO		2		2	6,7
ÍNDIA		1	1	2	6,7
ESPANHA		1		1	3,3
DINAMARCA		1		1	3,3
AUSTRÁLIA			1	1	3,3
FINLÂNDIA			1	1	3,3
BRASIL	1			1	3,3
POLÔNIA	1			1	3,3
SUÉCIA	1			1	3,3
HUNGRIA	1			1	3,3
				30	100

Fonte: Pesquisa do autor.

2.7.6 Considerações sobre o estado da arte

Considerando a análise do volume de publicações dos artigos na primeira etapa, identificou-se uma tendência de crescimento significativo no volume de produção dos temas *Industry 4.0*, *Advanced Manufacturing* e *Industrial Internet* nos últimos anos, crescimento este observado a partir de 2011, quando os termos *Industry 4.0* – denominação criada na Alemanha – e *Advanced Manufacturing* – seu similar nos Estados Unidos – começaram a ser usados pela iniciativa privada e governo em ambos os países.

Ao analisar os dados na segunda etapa, descrevem-se as seguintes observações: o termo *Industry 4.0*, tem suas pesquisas concentradas em atividades relacionadas a operações como Organização da Produção/*Lean Manufacturing*, Desenvolvimento de Tecnologias da Informação e *Supply Chain*. Já o tema *Advanced Manufacturing* tem suas pesquisas desenvolvidas em áreas relacionadas a Produção e Sustentabilidade, *Lean Manufacturing*, *Supply Chain* e Pesquisa e desenvolvimento (P&D). As pesquisas relacionadas a *Industrial Internet* são desenvolvidas nas áreas de Digitalização/Tecnologias/ Sistemas, *Supply Chain* e Gerenciamento dos Processos. Ou seja, as pesquisas apontam que os três termos estão atualmente voltados para as áreas de operações das empresas. Considerando o direcionamento das pesquisas voltadas para a área de administração, observou-se uma concentração nas áreas de operações e tecnologias. Da análise das publicações por países observa-se uma concentração

de artigos e citações em países mais desenvolvidos como Alemanha, Estados Unidos, China e Coreia do Sul, com oportunidades de pesquisas em países menos centrais e países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil.

Da pesquisa bibliométrica realizada na área de Administração, observou-se também a ausência de temas relacionados a atividades que envolvem os Recursos Humanos, por exemplo o desenvolvimento e a qualificação da mão de obra, apesar das mudanças tecnológicas que estão sendo provocadas pela revolução 4.0 pressuporem uma requalificação de toda a mão de obra envolvida nas atividades operacionais e nas áreas de apoio.

3 MÉTODO

As atividades relacionadas a Indústria 4.0 vem provocando mudanças que vão além da simples digitalização das plantas industriais, passando por uma forma muito mais complexa de inovação baseada na combinação de múltiplas tecnologias. A escolha do tema Indústria 4.0 com suas tecnologias habilitadoras e seus impactos nas estratégias de operações deve-se a dois motivos: primeiro, as mudanças disruptivas provocadas pelas tecnologias habilitadoras que impactarão tanto as estratégias de operações quanto a forma de gestão em função dos novos processos tecnológicos de fabricação; segundo, a relevância do projeto econômico do Polo Industrial de Manaus para a região Amazônica, seja pela sua influência no PIB do Estado, seja pelo volume de empregos diretos e indiretos gerados na região.

A relação entre a adoção das novas tecnologias da Indústria 4.0 e os seus impactos nas atividades de operações ainda não tem suas variáveis e constructos teóricos bem definidos e solidificados na literatura. Desta forma podemos observar que a tese aqui desenvolvida ainda está em fase de construção, assim como as teorias relacionadas a este tema. Uma teoria pode ser construída a partir de quatro componentes: definição das variáveis, seu domínio (onde será válida), um conjunto de relações entre as variáveis, e predições realizadas a partir deste. Sem teoria é impossível abstrair sentido de dados gerados empiricamente (Voss, Tsiriktsis & Frohlick, 2002).

Como forma de apoiar a construção de uma teoria, a estratégia qualitativa é a forma mais indicada, por possuir um caráter indutivo, ou seja, a teoria seria construída a partir dos dados obtidos nas pesquisas de campo. Esta forma de geração de teoria, no entanto, não seria direta na maioria das vezes, havendo nela um elemento dedutivo. Há um processo iterativo, onde existe um diálogo constante entre teoria já existente na literatura e dados empíricos. Ainda mais, no campo da pesquisa em organizações, é necessário entender as complexas relações sociais a partir da percepção de seus atores sobre as mesmas, o que é muito difícil de ser conseguido através de métodos quantitativos de pesquisa (Bryman & Bell, 2007).

3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA ADOTADA: QUALITATIVA

Segundo Cooper e Schindler (2016, p. 145), basicamente os gestores fazem pesquisa para entender como e por que as coisas acontecem. Se querem saber somente o que aconteceu ou com que frequência, metodologias de pesquisa quantitativa serviriam a seu propósito. Entretanto, entender os diferentes significados que as pessoas atribuem a suas experiências

geralmente requer técnicas de pesquisas que se aprofundam nas interpretações, motivações e entendimentos escondidos das pessoas. A pesquisa qualitativa é projetada para dizer ao pesquisador como (processo) e por que (significado) as coisas acontecem de determinada forma.

Para Bryman (1989), a pesquisa qualitativa possui as seguintes características vantajosas quando comparada a métodos quantitativos:

- a) A pesquisa qualitativa enfatiza a *interpretação* da realidade pelos entrevistados, enquanto a pesquisa quantitativa procura revelar um fato;
- b) O contexto da pesquisa é importante, o que facilita a compreensão das relações entre as variáveis pesquisadas;
- c) A pesquisa qualitativa tende a lidar melhor com os processos que ocorrem na organização, mostrando sua evolução ao invés de descrevê-los estaticamente;
- d) Permite que o pesquisador altere o rumo da pesquisa durante sua execução, caso algum fato relevante altere suas hipóteses iniciais de pesquisa;
- e) Permite o uso de variadas fontes de informação, como entrevistas, observação, consulta a documentos, etc.

A análise qualitativa tem também como característica fundamental a descrição de fenômenos impregnados de significados singulares e subjetivos que ao serem estudados favorecem o aprofundamento da temática e o desenvolvimento do conhecimento científico (Gil, 2016).

3.2 MÉTODO DE PESQUISA ADOTADO: ESTUDO DE CASO

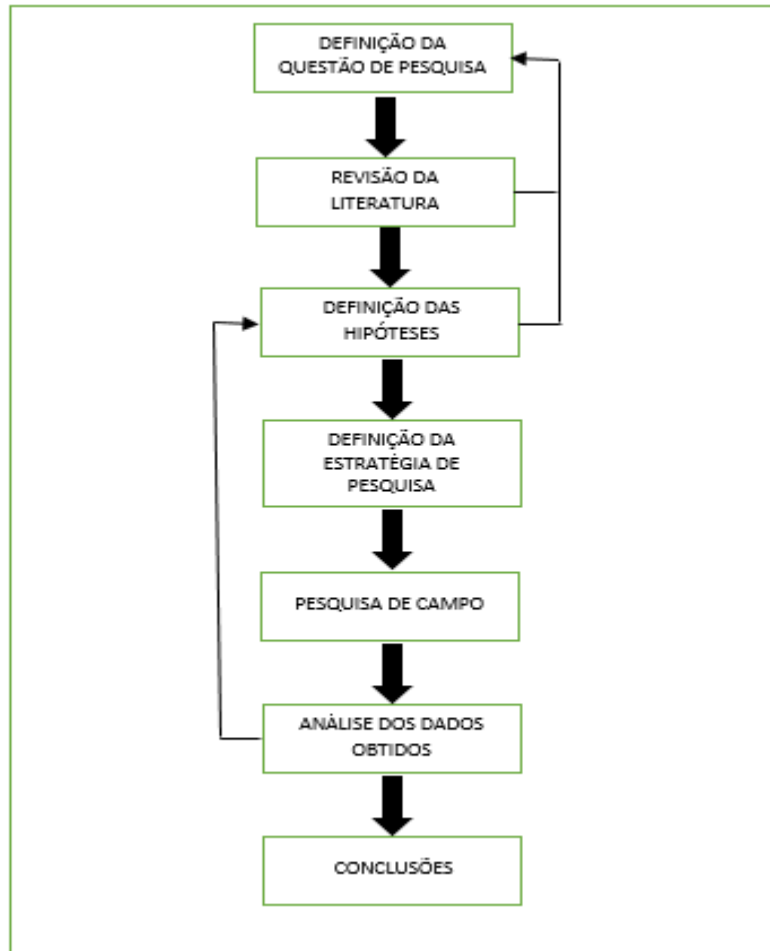
O estudo de caso é um método de pesquisa particularmente útil quando ainda não há certeza na definição dos constructos e variáveis que constroem a teoria que explicaria um fenômeno (Voss, Tsikriktsis & Frohlich, 2002). Podem-se citar como pontos fortes deste método, de acordo com Voss, Tsikriktsis e Frohlich (2002) e Yin (2002):

- a) O fenômeno pode ser estudado em seu contexto natural, e a teoria relevante e com sentido pode ser gerada a partir da observação de prática real;
- b) O método permite que questões do tipo “*por que*”, “*como*” e “*o que*” sejam respondidas com um entendimento relativamente completo da natureza e complexidade do fenômeno como um todo;

O método leva a investigações exploratórias nas fases iniciais de um processo ainda não completamente compreendido pela teoria.

As etapas desta pesquisa pelo método estudo de caso seguirão o esquema proposto por Eisenhardt (1989), conforme a Figura 22 abaixo:

Figura 22 - Fluxograma das etapas da pesquisa



Fonte: pesquisa do Autor, a partir de Eisenhardt (1989).

Definição da Questão de Pesquisa e Hipóteses: a definição da questão de pesquisa e das hipóteses, mesmo que seja em termos amplos, no início da pesquisa, é importante para focalizar os esforços e não se deixar perder no grande volume de dados investigados. A revisão da literatura auxilia na construção das hipóteses (como parte da revisão da literatura foi elaborada uma análise bibliométrica capítulo 2, item 2.7, para avaliar o estado da arte do tema Indústria 4.0).

Definição da Estratégia de Pesquisa: inclui a seleção do(s) caso(s) a ser(em) estudado(s), dos métodos de apropriação dos dados, a preparação de questionários e protocolos de pesquisa.

Pesquisa de Campo: nesta fase, a coleta e análise de dados se sobrepõem, em um processo iterativo, que permite ao pesquisador adaptar o questionário às características específicas do caso.

Análise dos Dados: análise dos dados intra e intercasos, comparação com a literatura, buscando a confirmação ou negação das hipóteses propostas.

Estas etapas de trabalho possuem caráter iterativo, ou seja, há um diálogo constante entre as fases da pesquisa. A partir de uma definição preliminar das questões de pesquisa, procedeu-se a revisão da literatura e a construção das hipóteses de pesquisa, que por sua vez levaram ao refinamento das questões de pesquisa. Posteriormente, foi definido o método e estratégia de pesquisa. A partir dos instrumentos de pesquisa gerados, foi realizada a pesquisa de campo. Com os dados obtidos e analisados, as hipóteses foram revistas, levando às conclusões apresentadas no Capítulo 6.

A seguir serão descritos os procedimentos que foram adotados em cada etapa da pesquisa.

3.2.1 Definição da Questão de Pesquisa e Hipóteses

Após a revisão de toda a literatura, o estudo apresenta um modelo conceitual teórico em forma de síntese (Figura 23) com os principais pontos e suas inter-relações demonstrando os caminhos que foram percorridos para que se cumpram os objetivos preestabelecidos.

O caminho conceitual parte das tecnologias habilitadoras, que são atividades tecnológicas de grande interconectividade (Lee, 2016). Uma vez adotadas estas tecnologias pelas empresas pesquisadas, será verificado que impactos elas causam nas estratégias de operações através dos objetivos de desempenho e seus fatores competitivos como qualidade, flexibilidade e custo.

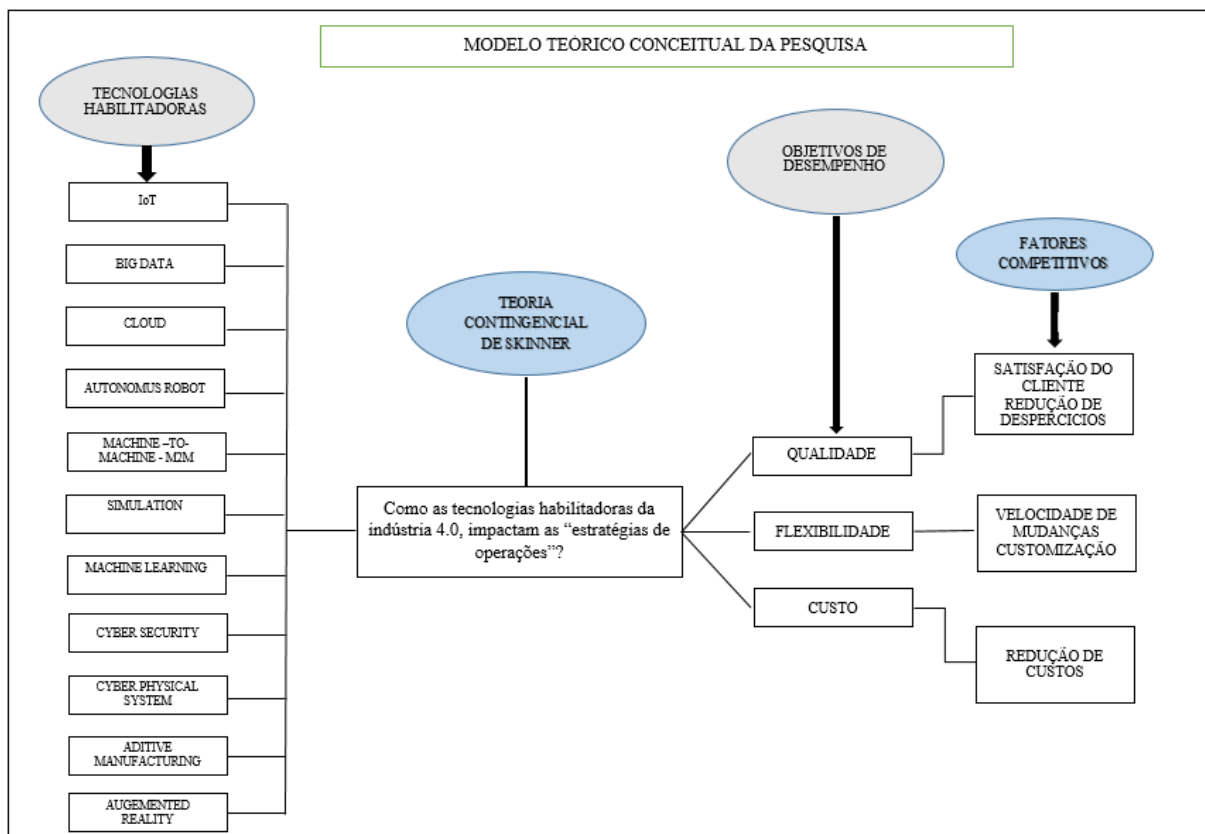
Desta forma, são apresentadas algumas hipóteses que orientarão a execução da pesquisa e que seguem o modelo conceitual e os objetivos da pesquisa. As hipóteses partem da fundamentação teórica relacionada às estratégias de produção, como as teorias de Skinner (1969), que indicam que a área de operações deve ser vista como uma atividade estratégica crucial para que as empresas se mantenham competitivas, cresçam e consolidem sua posição no mercado. Os objetivos de desempenho estão fundamentados na teoria de Slack et al. (2009), que destaca as exigências amplas dos *stakeholders* que formam o pano de fundo para o processo decisório das atividades de operações. Para o nível operacional são necessários objetivos mais

específicos para atingir as exigências dos consumidores como qualidade, flexibilidade e custos. Neste contexto, criamos as hipóteses:

Hipótese 1- O uso de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 permite um foco em qualidade (medido como o aumento na satisfação do cliente) com redução de custos simultaneamente.

Hipótese 2 - O uso de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 permite um foco em flexibilidade (medido em velocidade de mudanças e customização) com redução de custos simultaneamente.

Figura 23 - Modelo Teórico Conceitual da Pesquisa



Fonte: pesquisa do Autor.

3.2.2 Diretrizes Teóricas e Síntese do Referencial Teórico

O Quadro 8 apresenta uma síntese do referencial teórico, com as teorias, os conceitos e os principais autores que serviram de apoio às pesquisas. Pretende-se com esta estrutura dar uma base para o entendimento do problema de pesquisa, e por conseguinte apoio para a elaboração dos procedimentos metodológicos que contribuam para o constructo estabelecido e a resposta do problema.

Quadro 8 - Diretrizes Teóricas e Conceitos Relevantes para a Pesquisa

TEORIA	CONCEITOS	PRINCIPAIS AUTORES
Indústria 4.0	Evolução histórica, primeira, segunda, terceira e quarta revolução industrial	Hardy e Clegg (2001), Noldin Jr. (2002), Reis (2011), Gordon (1990), Magalhães (2003), Mourtzis (2015), Zancul (2017), Lee et al. (2014) e Toro et al. (2015).
Tecnologias habilitadoras	Conceitos, definições técnicas	Kang (2016), Liao (2017), Sanders (2016), Lee (2015), Kovacs (2016) e Stevan (2018).
Estratégia	Evolução e conceitos	Mintzberg (2006), Drucker (1977), Ansoff (1977), Simon (1971), Andrews (1971), Neumann e Morgenstern (1974), Chandler (1962), Besanko (2012) e Serra et al. (2014).
	Avanços tecnológicos em estratégia de produção	Skinner (1969), Skinner (1974), Porter (1989), Hayes e Wheelwright (1994) e Severiano Filho (1999).
Estratégia em Operações/ Produção	Atribuições das atividades de produção	Skinner (1974), Slack (2009), Hayes e Wheelwright (1994).
	Objetivos de desempenho	Slack (2009), Fine (1985), Miller (1989), Cleveland (1989), Garvin (1989), Drucker (1990), Corbett (1993) e Vickery (1991).
	O processo (<i>trade-offs</i>) entre os objetivos de desempenho	Skinner (1974), Slack (2009), Hayes e Wheelwright (1994) e Corbett (1993).

Fonte: pesquisa do Autor.

3.2.3 Estratégia de Pesquisa

O estudo de caso é o método utilizado nesta pesquisa. Este método procura analisar a dinâmica entre os fenômenos e o contexto onde eles estão inseridos (Eisenhardt, 1989). Dado o caráter das hipóteses de pesquisa, o estudo de caso é o método ideal para conduzi-la.

Uma pesquisa de estudo de caso pode ser conduzida através de um caso único ou através de múltiplos casos. Há uma relação de compromisso entre o número de casos analisados e a

profundidade de estudo para cada unidade de análise: quanto menor o número de unidades de análise, maior a oportunidade para aprofundar a avaliação de cada caso. Por outro lado, o uso de um caso único poderia trazer limitações para a generalização das conclusões, modelos e teorias desenvolvidas. O uso de múltiplos casos pode reduzir a profundidade de estudo por uma limitação de recursos materiais e tempo, mas pode aumentar a validação externa dos dados e prevenir avaliações enviesadas. Não há uma clara definição do que seria uma unidade de análise ou caso: em um único caso pode haver vários contextos diferentes, ou ainda em uma única empresa pode haver vários casos diferentes (Voss, Tsikriktsis, & Frohlich, 2002).

Além da questão de quantos casos, Voss, Tsikriktsis e Frohlich (2002) colocam que há que se definir se será realizada uma análise retrospectiva ou longitudinal. Como um dos objetivos da pesquisa qualitativa feita por estudo de caso é o estabelecimento de relações de causa e efeito, tem-se que quanto maior o período de tempo em que o fenômeno é analisado, maior a oportunidade de avaliar as relações de causa e efeito que surgem. Isto pode ser realizado através de uma pesquisa retrospectiva, ou seja, baseada em dados históricos sobre fatos já ocorridos, ou pesquisa longitudinal, onde o pesquisador acompanha o desenrolar dos acontecimentos por um período de tempo. Uma vez definidos quantos casos serão analisados, surge a questão de quais serão eles, pois diferentemente da pesquisa quantitativa, onde métodos tradicionais de amostragem são utilizados, em estudos de casos a seleção acontece de acordo com critérios específicos. Miles e Huberman (1994) sugerem o seguinte teste a ser aplicado para amostrar casos:

- a) É relevante para o quadro teórico desenvolvido e as questões de pesquisa?
- b) O fenômeno a ser estudado aparece claramente?
- c) Ele permite generalização?
- d) É factível?
- e) Haveria problemas éticos com divulgação de informações sigilosas, bem como benefícios e/ou riscos potenciais no relacionamento com os entrevistados?

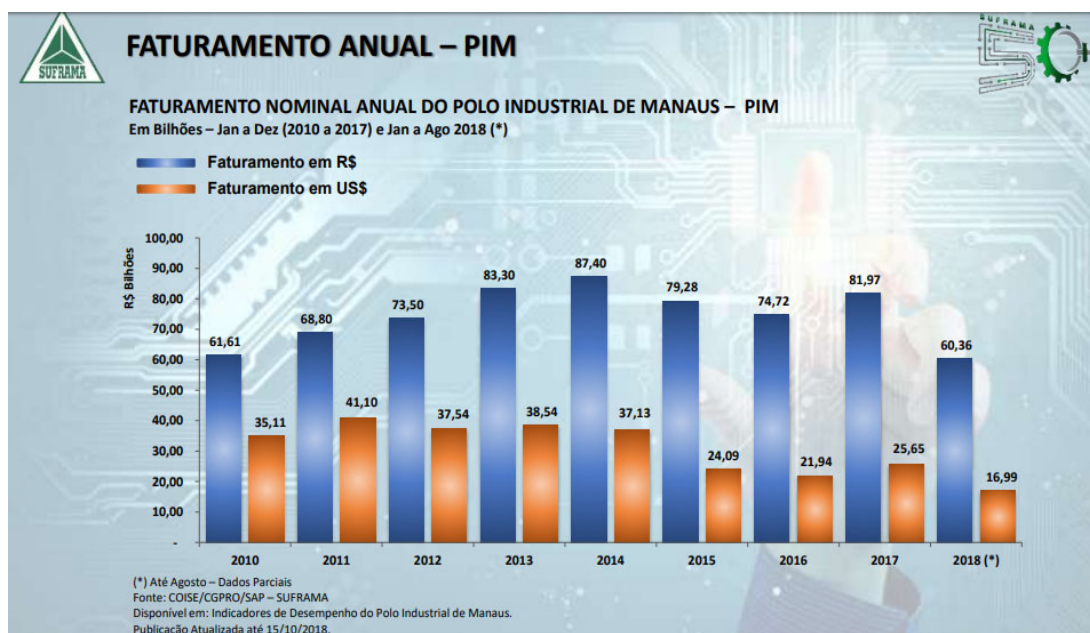
3.2.3.1 Estudo de Caso: O Polo Industrial de Manaus – PIM

A Zona Franca de Manaus (ZFM) é um modelo de desenvolvimento econômico implantado pelo governo brasileiro objetivando viabilizar uma base econômica na Amazônia Ocidental e Amapá e promover a melhor integração produtiva e social dessa região ao País, garantindo a soberania nacional sobre suas fronteiras. A mais bem-sucedida estratégia de desenvolvimento regional, o modelo leva à região de sua abrangência (estados da Amazônia

Ocidental: Acre, Amazonas, Rondônia, Roraima e Amapá) desenvolvimento econômico aliado à proteção ambiental, proporcionando melhor qualidade de vida às suas populações.

A ZFM compreende três polos econômicos: comercial, industrial (onde está inserido o setor eletroeletrônico, que é o setor com maior faturamento e o que gera mais empregos, e que abrange as doze empresas o objeto deste estudo como parte de sua cadeia produtiva) e o agropecuário. O primeiro teve maior ascensão até o final da década de 80, quando o Brasil adotava o regime de economia fechada. O Polo Industrial de Manaus é considerado a base de sustentação da ZFM conforme demonstrado por seu faturamento nos últimos anos, retratado na Figura 24.

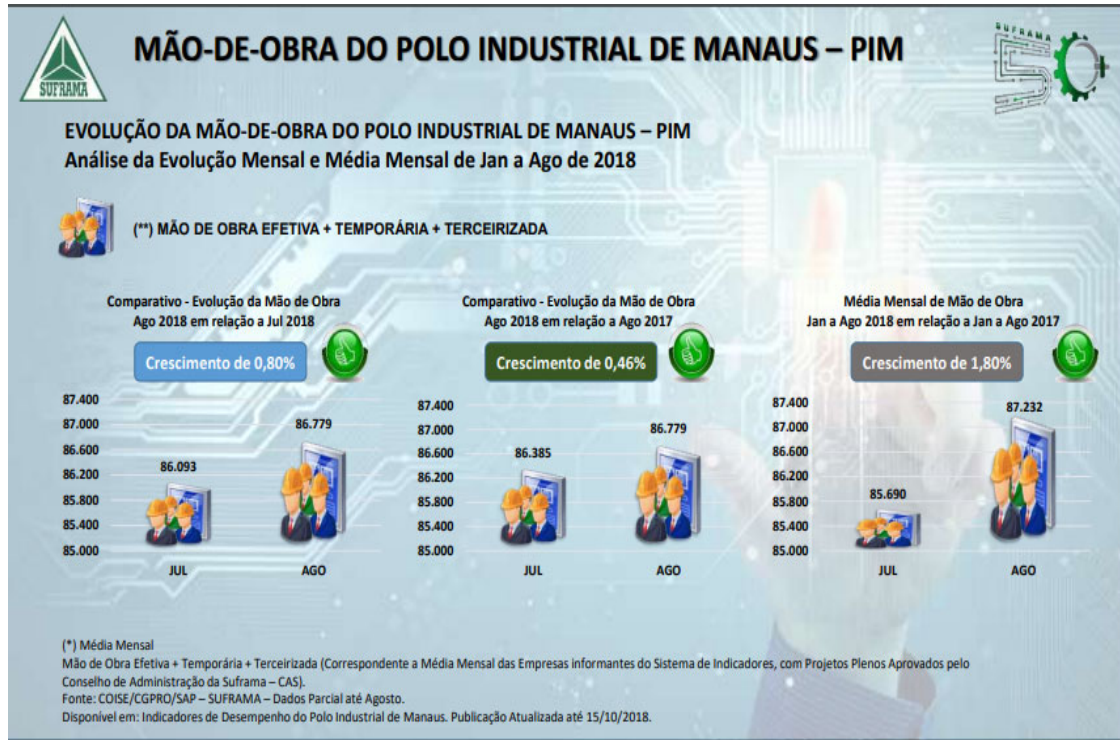
Figura 24 - Faturamento Polo Industrial de Manaus - PIM



Fonte: COISE/CGPRO/SAP – SUFRAMA.

O Polo Industrial de Manaus possui cerca de 500 indústrias de alta tecnologia, gerando aproximadamente cem mil empregos diretos conforme a Figura 25, e mais de meio milhão de empregos indiretos.

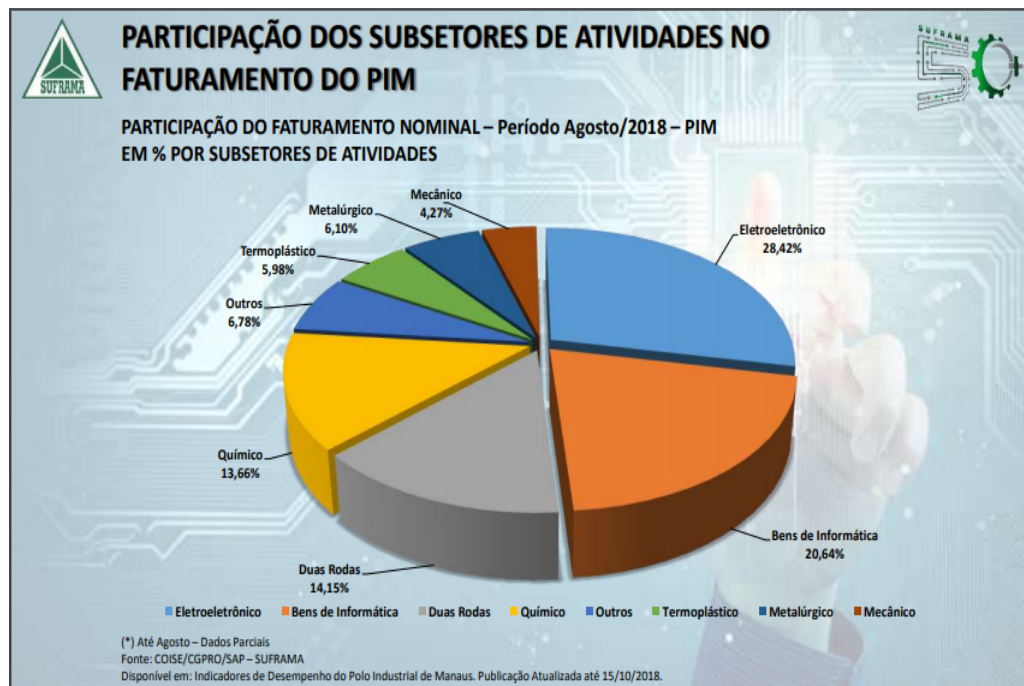
Figura 25 - Mão-de-obra do Polo Industrial de Manaus - PIM



Fonte: COISE/CGPRO/SAP – SUFRAMA (***) Dados Parciais até ago de 2018. Indicadores de Desempenho do Polo Industrial de Manaus.

No Polo industrial de Manaus destacam-se vários segmentos, principalmente eletroeletrônicos, bens de informática, duas rodas e químico. O setor eletroeletrônico, no entanto, é o que se destaca com a maior participação no faturamento do PIM, conforme a Figura 26. Entre os produtos fabricados no setor eletroeletrônico destacam-se aparelhos celulares, produtos de áudio e vídeo (televisores), computadores, ar condicionado, forno de micro-ondas, entre outros (SUFRAMA, 2018).

Figura 26 - Participação dos Subsetores de Atividades no Faturamento do PIM



Fonte: COISE/CGPRO/SAP – SUFRAMA. Recuperado de Indicadores de Desempenho do Polo Industrial de Manaus.

Desde a sua criação o Polo Industrial de Manaus é administrado pelo órgão gestor Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA), que é uma autarquia vinculada ao Ministério da Economia, que administra a Zona Franca de Manaus (ZFM) com a responsabilidade de construir um modelo de desenvolvimento regional que utilize de forma sustentável os recursos naturais, assegurando viabilidade econômica e melhoria da qualidade de vida das populações locais.

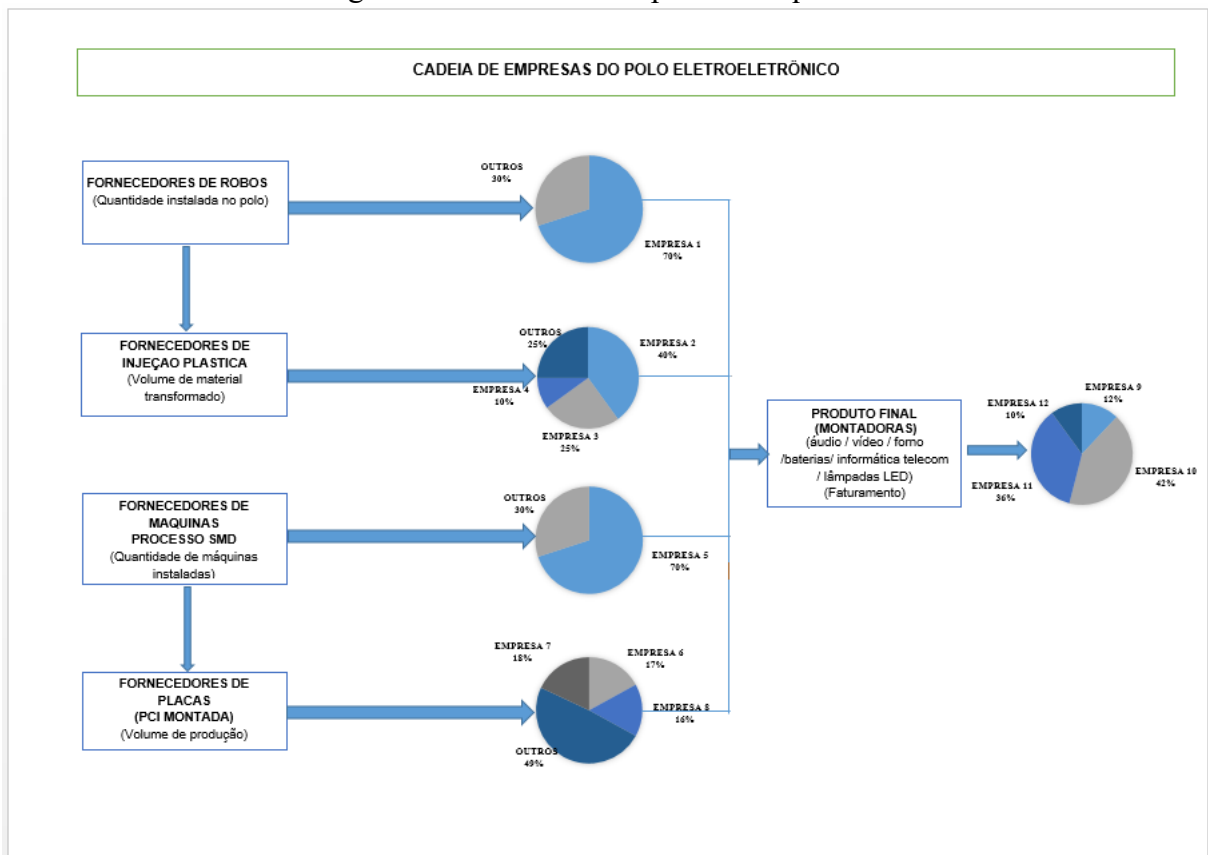
Com cinco décadas de existência, a SUFRAMA viabilizou a implantação dos três polos que compõem a ZFM – comercial, industrial e agropecuário –, e promove a interiorização do desenvolvimento por todos os estados da área de abrangência do modelo, identificando oportunidades de negócios e atraindo investimentos para a região, tanto para o Polo Industrial de Manaus quanto para os demais setores econômicos da sua área de atuação.

Com recursos arrecadados com a prestação de serviço das empresas beneficiadas com os incentivos fiscais do modelo ZFM, a SUFRAMA faz parcerias com governos estaduais e municipais e instituições de ensino e pesquisa e cooperativas, financia projetos de apoio à infraestrutura econômica, produção, turismo, pesquisa e desenvolvimento e de formação de capital intelectual. O objetivo é minimizar o custo amazônico, ampliar a produção de bens e serviços voltados à vocação regional e, ainda, capacitar, treinar e qualificar trabalhadores.

3.3 PESQUISA DE CAMPO / COLETA DE DADOS

A coleta dos dados foi realizada de forma intencional, observando a cadeia de fornecedores das empresas do setor eletroeletrônico do polo de Manaus (12 empresas) e sua representatividade em termos de importância pelo faturamento. Foram entrevistados gestores de áreas de produção ou tecnologia das empresas conforme sua representatividade na cadeia de fornecedores (Figura 27).

Figura 27 - Cadeia de Empresas Pesquisadas



Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da SUFRAMA.

As coletas dos dados foram realizadas utilizando um questionário de forma padronizada aberta conforme Apêndice 1, caracterizado pelo emprego de uma lista de perguntas ordenadas e redigidas por igual para todos os entrevistados, porém de resposta aberta, sendo esta uma das modalidades de entrevista qualitativa preconizada por Patton (1999).

Há na situação de entrevista uma espécie de acordo inicial, de “contrato”, em que o entrevistador deve comprometer-se, desde o primeiro contato com o entrevistado, com os seguintes pontos: os motivos e as intenções da investigação, o anonimato, a logística, a devolução da informação (Triviños, 1987 p. 134).

Após as entrevistas com os gestores foram realizadas visitas *in loco* nas áreas de produção da empresa, com os gestores dando destaque para as principais atividades relacionadas à Indústria 4.0, demonstrando assim o status em que a empresa se encontra e as futuras estratégias que estão sendo estudadas com ênfase nos avanços tecnológicos com impactos nas atividades operacionais. Devemos destacar nesse momento que o pesquisador que desenvolveu esta tese e que entrevistou os gestores das empresas tem uma sólida experiência gerencial em atividades de operações / produção em empresas da cadeia eletroeletrônica do polo, além de uma base teórica acadêmica por ministrar disciplinas em cursos de nível superior em áreas de produção.

A seguir são descritos o perfil empresarial das empresas visitadas, seu ramo de atuação, o cargo do entrevistado, sua formação, tempo em que trabalha na empresa, origem da empresa e o tempo da empresa no Polo de Manaus.

Empresa fornecedora de robôs:

Empresa 1:

- a) Número de robôs instalados: 250 em Manaus, 4.000 no Brasil;
- b) Entrevistado: Gerente técnico;
- c) Formação: Tecnólogo em Mecânica;
- d) Tempo de trabalho na empresa: 10 anos;
- e) Origem da empresa: Japão;
- f) Tempo da empresa no polo de Manaus: 20 anos;
- g) Número de empregados: 05 em Manaus / 30 em São Paulo / 800 no Japão;
- h) Produtos fabricados pela empresa: robôs, partes e peças para robôs para a indústria eletroeletrônica, automotiva (transformação de plástico).

Empresas fornecedoras de injeção plástica:

Empresa 2:

- a) Entrevistado: Gerente de manufatura;
- b) Formação: Administrador de empresas;
- c) Tempo de trabalho na empresa: 1 ano (20 anos de experiência na indústria de plástico);
- d) Origem da empresa: Manaus/Amazonas;
- e) Tempo da empresa no polo de Manaus: 26 anos;
- f) Número de empregados: 850;
- g) Produtos fabricados: peças plásticas para o polo industrial de Manaus, componentes e peças para o setor eletroeletrônico

Empresa 3:

- a) Entrevistado: Gerente de engenharia;
- b) Formação: Engenheira;
- c) Tempo de trabalho na empresa: 2 anos;
- d) Origem da empresa: São Paulo;
- e) Tempo da empresa no polo de Manaus: 37 anos;
- f) Número de empregados: 750;
- g) Produtos fabricados: *player* no segmento plástico para a indústria de eletroeletrônicos, eletrodoméstico e automobilístico.

Empresa 4:

- a) Entrevistado: Gerente de produção;
- b) Formação: Tecnólogo em mecânica;
- c) Tempo de trabalho na empresa: 1 ano;
- d) Origem da empresa: Coreia;
- e) Tempo da empresa no polo de Manaus: 30 anos;
- f) Número de empregados: 50;
- g) Produtos fabricados: gabinetes e tela para televisores da própria empresa.

Empresas fornecedoras de máquinas (processo SMT):

Empresa 5:

- a) Entrevistado: Coordenador técnico (*factory automation*);
- b) Formação: Tecnólogo em mecânica;
- c) Tempo de trabalho na empresa: 14 anos;
- d) Origem da empresa: Japão;
- e) Tempo da empresa no polo de Manaus: 50 anos;
- f) Número de empregados: 20;
- g) Produtos fabricados: máquinas SMT.

Empresas fornecedoras de Placas (PCI montadas):

Empresa 6:

- a) Entrevistado: Gerente de produção;
- b) Formação: Administrador;
- c) Tempo de trabalho na empresa: 06 anos;
- d) Origem da empresa: Taiwan / China;
- e) Tempo da empresa no polo de Manaus: 22 anos;
- f) Número de empregados: 600;
- g) Produtos fabricados: placas de circuito impresso, monitores da marca AOC e televisores Philips.

Empresa 7:

- a) Entrevistado: Gerente de produção;
- b) Formação: Engenheiro eletrônico;
- c) Tempo de trabalho na empresa: 8 anos
- d) Origem da empresa: Japão;
- e) Tempo da empresa no polo de Manaus: 50 anos;
- f) Número de empregados: 1.200;
- g) Produtos fabricados: placas para a indústria eletrônica e placas montadas para a indústria automobilística.

Empresa 8:

- a) Entrevistado: Gerente de engenharia;
- b) Formação: Tecnólogo em eletrônica;
- c) Tempo de trabalho na empresa: 20 anos;
- d) Origem da empresa: São Paulo / Brasil;
- e) Tempo da empresa no polo de Manaus: 25 anos;
- f) Número de empregados: 400;
- g) Produtos fabricados: placas *motherboard* para diversos clientes, HD para a empresa Wester Digital.

Empresas fabricantes de Produto Final (montadoras):

Empresa 9:

- a) Entrevistado: Gerente de engenharia;
- b) Formação: Engenheiro;
- c) Tempo de trabalho na empresa: 10 anos;
- d) Origem da empresa: Manaus / Amazonas;
- e) Tempo da empresa no polo de Manaus: 35 anos;
- f) Número de empregados: 1.200;
- g) Produtos fabricados: áudio, vídeo, informática, telecom, segurança eletrônica (monitoramento), placas (PCI) para linha branca.

Empresa 10:

- a) Entrevistado: Gerente de produção;
- b) Formação: Engenheiro eletrônico;
- c) Tempo de Trabalho na empresa: 5 anos;
- d) Origem da empresa: Coreia;
- e) Tempo da empresa no polo de Manaus: 25 anos;
- f) Número de empregados: 2.000;
- g) Produtos fabricados pela empresa: televisores, produtos diversos de áudio, ar condicionado, forno de micro-ondas.

Empresa 11:

- a) Entrevistado: Gerente de produção;
- b) Formação: Administrador de empresas;
- c) Tempo de Trabalho na empresa: 06 anos;
- d) Origem da empresa: Holanda;
- e) Tempo da empresa no polo de Manaus: 48 anos;
- f) Número de empregados: 600;
- g) Produtos fabricados pela empresa: TV Philips e monitores da marca AOC.

Empresa 12:

- a) Entrevistado: Gerente de engenharia;
- b) Formação: Engenheiro;
- c) Tempo de trabalho na empresa: 9 anos;
- d) Origem da empresa: Coreia;
- e) Tempo da empresa no polo de Manaus: 30 anos;
- f) Número de empregados: 400;
- g) Produtos fabricados: baterias para aparelhos móveis (celular) LG, Motorola/Semp TCL, adaptadores para notebooks e lâmpadas de LED.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados foram analisados a partir das entrevistas com os gestores de cada empresa (gestores de produção ou de áreas tecnológicas), as entrevistas foram transcritas e seus conteúdos tratados utilizando-se a técnica de Análise Temática de Bardin (1977), técnica esta que pressupõe três momentos: pré-análise, exploração do material e interpretação dos conteúdos. Segundo este autor esta técnica é definida como:

Um conjunto de técnicas de análise de comunicações visando obter por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores que permitam a inferência de conhecimento relativo das condições de produção / recepção destas mensagens (Bardin, 1977, p. 42).

As análises das entrevistas foram realizadas conforme o Quadro 9, separando as empresas por segmento da cadeia, visando identificar ações nas atividades de operações que estejam voltadas para os avanços tecnológicos relacionados às tecnologias da Indústria 4.0.

Quadro 9 - Análise das entrevistas

Segmento da Cadeia	Empresas	Conteúdo das Entrevistas
Fornecedores de Robôs	1	<p>Empresa pioneira no desenvolvimento de tecnologias (robôs) para diversos segmentos industriais. No polo de Manaus a empresa é fornecedora para as empresas de injeção plástica e para empresas como Honda e Yamaha. A empresa está investindo em modernização de tecnologias, buscando tornar os robôs mais autônomos.</p> <p>Automação dos processos industriais através da aplicação dos robôs em máquinas injetoras para retirada das peças e corte dos canais. O uso dos robôs melhora a produtividade e reduz os custos operacionais entre 5 e 15%, além de um grande impacto na segurança dos operadores.</p>
Fornecedores de injeção plástica	2	<p>A empresa há anos utiliza em seus processos operacionais diversos robôs, que vêm evoluindo tecnologicamente e vêm também aumentando sua utilização nas máquinas injetoras. Em todas as máquinas injetoras os robôs são programados para a retirada das peças dos moldes; em algumas máquinas estes robôs também separam (através de corte) as peças (produtos) do canal de injeção, aumentando a produtividade, melhorando a qualidade e reduzindo custos. Toda a produção também é controlada por um programa computacional denominado "Injet". Este sistema capta informações das máquinas que são monitoradas pelas áreas de produção e planejamento, permitindo um melhor controle gerencial de todas as máquinas. O sistema Injet interliga, através de sensores, todas as máquinas injetoras das plantas matriz e filial da empresa, captando informações de produção, tempo de <i>set-up</i> e toda e qualquer parada de máquina, gerando diversos relatórios gerenciais, otimizando o processo produtivo, reduzindo perdas de tempo e custos. A empresa possui 120 robôs da marca Star Seiki e 05 da marca Dalmachio.</p> <p>O uso de robôs no processo de produção ger uma melhor produtividade (com aumento que varia de 5 a 20%) assim como em qualidade (redução do índice de rejeição entre 10 e 20%). Esses aspectos somados impactam a redução de custos. Quando não trabalham com robôs nas máquinas há a necessidade de acréscimo de mão de obra para manter a mesma produtividade, o que implica o aumento de custos e queda na qualidade. Os robôs causam também aumento da segurança tanto dos colaboradores quanto dos moldes e da máquina.</p>
	3	<p>Uso de robôs nas máquinas injetoras para retirada e corte do canal de injeção. Uso do sistema "Injet" de gerenciamento de máquinas para controle e gerenciamento do plano de produção. A empresa possui 55 máquinas injetoras que são operadas por 25 robôs da marca Negri Boss e 30 da marca Withman Battenfeld. Em função dos novos conceitos da Indústria 4.0 a empresa vem formando parcerias com fornecedores de tecnologias (locais e nacionais) em busca de inovações para o seu parque fabril.</p> <p>Aumento dos níveis de qualidade (5 a 10%) e redução dos custos (5 a 15%) por automação das máquinas (redução de operadores para corte do canal). Maior controle sobre o gerenciamento das máquinas em função do sistema Injet, que permite controlar todas as máquinas (paradas para manutenção, paradas não planejadas, paradas para <i>set-ups</i>) com geração de indicadores para tomada de decisão. Aumento da segurança de operadores, dos moldes e da própria máquina. Na unidade de injeção plástica a empresa possui seis máquinas injetoras e tem projeto para chegar a oito máquinas de 1.100 a 1.800 toneladas, trabalhando em três turnos.</p> <p>A empresa desenvolveu um sistema computadorizado de controle da produção, "sistema próprio". Este sistema capta todas as informações relacionadas ao processo produtivo (quantidade de produção x paradas de máquinas) e permite uma maior gestão sobre todo o planejamento x o realizado efetivamente. As máquinas injetoras são muito eficientes no que tange seu ciclo (refrigeração dos moldes por água e gás, controles computadorizados), o que reduz o ciclo de injeção.</p>

Quadro 9 - Análise das entrevistas (Continuação)

Segmento da Cadeia	Empresas	Conteúdo das Entrevistas
Fornecedores de injeção plástica	4	<p>A retirada das peças da máquina é feita por robôs e as peças são colocadas diretamente em esteiras que vão diretamente para o setor de montagem (sem estoque intermediário) – <i>lean manufacturing</i>.</p> <p>Há nas máquinas um sistema de fixação dos moldes todo automatizado, eliminando o trabalho manual.</p> <p>O uso dos robôs nas máquinas injetoras reduz os custos dos produtos (redução do ciclo e redução da mão de obra).</p> <p>O uso dos robôs também aumenta o nível de qualidade em função do ciclo da máquina permanecer mais constante.</p> <p>Os controles de produção captados de todas as máquinas simultaneamente (que foram desenvolvidos pela própria empresa) aumentam a eficiência do planejamento da produção.</p> <p>O tempo de <i>set-up</i> (troca de molde) foi reduzido em 10 a 15% em função de um sistema automatizado de fixação dos moldes e da computadorização dos ajustes de máquinas, com sensores em todos os parâmetros, reduzindo custos operacionais.</p>
Fornecedores de Máquinas/Processo SMT	5	<p>A empresa vem investindo em soluções para Automação <i>Shop Floor/Warehouse</i> para ERP. Equipamentos com controle de <i>placement</i> (individuais) com gestão de sistemas de materiais compartilhados (conexão com outras plataformas). O sistema de máquinas Panasonic analisa os tempos das soluções (auxilia na tomada de decisões com alternativa para o <i>target</i>). Os equipamentos atuais analisam os processos ao longo do dia, verificando mudanças (por exemplo, alteração de componentes) e vão corrigindo. Os equipamentos SMD/máquinas agora conversam M2M. A <i>printer</i> (máquina que aplica a pasta de solda), caso deposite a solda de forma deslocada, manda uma mensagem para que na refusão o componente vá para cima do PED, depois a <i>printer</i> também se corrige.</p> <p>Há redução de custos e aumento da qualidade através dos sistemas aperfeiçoados das máquinas Panasonic. Ex: os sistemas operacionais dessas máquinas conseguem identificar uma alimentação errada (antes só era visto após a montagem, após o erro). Os sistemas contidos nas máquinas de hoje permitem identificar a marca do componente (se é LG ou Samsung, por exemplo) se ocorre um erro a máquina trava (<i>interlock</i>).</p>
Fornecedores de placas PCI montadas	6	<p>A empresa tem patrocinado palestras e cursos para o corpo técnico e gerencial sobre o tema Indústria 4.0. As palestras são parcerias com empresas de consultoria técnica e fornecedores de equipamentos (máquinas SMT). Como tecnologias da Indústria 4.0 há um desenvolvimento das máquinas com controle computacional como na aplicação da pasta de solda (sistemas controlam a qualidade da aplicação da pasta de solda nas placas). Há também controle automatizado nos testes dos componentes, que substitui os testes que antes eram feitos por "<i>jigs de teste</i>". O aperfeiçoamento dos testes por sistemas computacionais tem exigido uma melhor qualificação dos operadores e do corpo de programadores técnicos que controlam estes equipamentos.</p> <p>O uso de tecnologias no processo produtivo feito por sistemas computacionais, como o teste das placas que hoje é todo automatizado, realizado por sensores (eliminando a revisão visual), faz com que a empresa obtenha um maior nível de qualidade em seus produtos. Há uma sensível melhora na produtividade das placas e redução dos custos em torno de 5%.</p>

Quadro 9 - Análise das entrevistas (Continuação)

Segmento da Cadeia	Empresas	Conteúdo das Entrevistas
Fornecedores de placas PCI montadas	7	<p>A empresa, além de fabricar placas para seus produtos, também fornece placas para a indústria automotiva. O nível de exigência da qualidade da indústria automotiva é muito alto e as placas não podem ser rejeitadas, pois se forem vão para o lixo (devido ao alto risco para o carro). As placas para computador de bordo e para ar condicionado de carro são muito caras. Com tecnologias voltadas para a Indústria 4.0 a empresa criou novos sistemas. Por exemplo, antes o operador ajustava máquina a máquina; agora o operador controla uma série de máquinas que estão em diversas linhas. Os equipamentos atuais exigem uma melhor qualificação da mão de obra, que agora controla várias máquinas em várias linhas (<i>machine keeper</i>).</p> <p>A empresa vem reduzindo custos operacionais, proporcionando também menos custos para os clientes, uma vez que os custos das placas automotivas são muito altos. Há uma significativa redução de custos da mão de obra (o mesmo operador controla várias linhas a distância).</p>
	8	<p>A empresa teve contato com as tecnologias da Indústria 4.0 através dos fornecedores das máquinas SMT. A empresa utiliza sistemas M2M <i>machine-to-machine</i>. As máquinas <i>printer</i> aplicam a solda nas placas e um sistema computacional com sensores verifica o alinhamento e avalia se tem curto e se há deslocamento do componente no PED. Ao fazer esta verificação, o sistema manda uma mensagem de correção para a <i>printer</i> quando a solda está fora do padrão. A inspeção das placas na montagem é feita também por um sistema computacional denominado AOI - <i>Automatic Optical Inspection</i>. A empresa, em função da automação de seus processos, faz constantes treinamentos para seu corpo técnico.</p> <p>O uso de tecnologias M2M, onde as máquinas fazem inspeções e informam os ajustes que devem ser feitos quando há desvios, melhora a qualidade em até 25% em relação a quando a inspeção é feita de forma visual. Por este aspecto há uma redução nos custos desses processos nas diversas linhas de produção SMT.</p>
Produto final (montadoras)	9 Produtos: áudio / vídeo, informática, telecom, segurança (monitoramento), linha branca	<p>A empresa já vem fazendo avanços tecnológicos em suas operações ao longo dos anos, no entanto planejou uma adequação a novas tecnologias da Indústria 4.0 para os próximos 5 anos. Um dos sistemas que mais evoluiu na empresa nos últimos anos, foi o sistema de planejamento de produção (toda a cadeia produtiva logística de compras, produção, entrega). Houve uma sensível melhora do sistema de controle de produção ERP (os processos foram integrados). Outra área que evoluiu foi a área de TI: antes o pessoal dessa área era só manutenção (havia apenas 3 funcionários); hoje são 17, que além da manutenção, programam e controlam todos os equipamentos de produção (máquinas SMT). A gestão da empresa destaca uma percepção de falta de infraestrutura (velocidade dos sinais) de rede que deveriam estar sendo providenciada por empresas/governo. Há também uma preocupação da empresa em relação a mão de obra (qualificação): a cada dia os equipamentos exigem operadores mais qualificados.</p> <p>Há uma melhoria contínua sendo buscada pela empresa, através de novas tecnologias como os sistemas interligados CPS, com grande impacto na qualidade de seus produtos. As trocas de produtos estão mais flexibilizadas em função da automação de diversos processos, como por exemplo a inspeção das placas que antes era feita de forma visual, e hoje está sendo feita de forma computacional.</p>

Quadro 9 - Análise das entrevistas (Continuação)

Segmento da Cadeia	Empresas	Conteúdo das Entrevistas
Produto final (montadoras)	<p style="text-align: center;">10</p> <p>Produtos: televisores, áudio, condicionadores de ar (split) forno de micro ondas</p>	<p>A empresa, em parceria com a matriz coreana, vem desenvolvendo sistemas próprios computacionais para gerenciamento e controle da produção. Grande investimento em qualificação da mão de obra (treinamento na unidade no Brasil e funcionários sendo retreinados na empresa matriz). Aplicação nas linhas de produção de controles (com sensores inteligentes) para detecção de falhas em operações de montagem e nas operações de teste.</p> <p>Nos processos de produção de produto final a empresa vem substituindo a mão de obra manual por operações automatizadas (robôs) especialmente em operações que envolvem colas (com quantidades específicas), assim como em operações que envolvem um maior esforço do operador.</p> <p>A automação em diversas etapas da produção melhorando a produtividade e reduzindo as falhas por falta de qualidade. Com a automação de alguns processos manuais por robôs a empresa vem reduzindo a mão de obra manual, reduzindo custos e melhorando os seus níveis de qualidade.</p>
	<p style="text-align: center;">11</p> <p>Produtos: televisores, áudio, monitores para informática</p>	<p>A empresa já tem uma arquitetura de <i>software</i> usando princípios e conceitos da RAMI 4.0. A empresa já tem equipamentos com Internet das Coisas, e vem fazendo armazenamento em bancos de dados não estruturados e em nuvem. A empresa vem desenvolvendo projetos tecnológicos que visam a segurança e saúde dos funcionários, assim como o gerenciamento dos riscos operacionais. Outros projetos estão focados em qualificar mão de obra para discutir conceitos da Indústria 4.0. A empresa está aplicando a Inteligência Artificial para detecção de padrões em tecnologias operacionais, assim como está trabalhando nesse tema para <i>Big Data</i> com o objetivo de retroalimentar o sistema de forma mais inteligente. Uma das motivações da empresa em evoluir tecnologicamente para a Indústria 4.0 é atingir o grau de maturidade com sistema ACATECH.</p> <p>A empresa vem implantando e já está colhendo resultados operacionais nas atividades de operações / produção. Através de sua divisão de P&D, Engenharia e Produção, vem implantando diversas tecnologias que buscam resultados em qualidade, flexibilidade e redução de custos.</p>
	<p style="text-align: center;">12</p> <p>Produtos: baterias para aparelhos móveis (celular) LG/motorola/ Semp, adaptadores para notebooks, lâmpadas LED</p>	<p>A empresa vem desenvolvendo um programa "próprio" voltado para a Indústria 4.0. O programa consiste em um processo evolutivo de melhorias do processo com avanços tecnológicos. Para isso, dividiu o programa em etapas. Já implantou diversas melhorias na etapa 1 (reorganização do <i>lay out</i> de toda empresa), etapa 2 (re-análise dos processos e busca por automação), etapa 3 (Sistema inteligente de produção - SIP, que permite um total controle na produção dos produtos "sistema <i>shop floor</i>" e controla todos os produtos e sua rastreabilidade da entrada à embalagem). Há também na empresa um sistema computacional de controle do processo de soldagem (<i>printer/refusão</i>) que é feitos pelas máquinas Fuji e DEK (pasta de solda). As máquinas têm um controle integrado com ajuste da aplicação da pasta de solda <i>lead free</i> e o posicionamento dos chips.</p> <p>Com o programa próprio da empresa que está dividido em 10 etapas, a empresa vem transformando seus processos com tecnologias voltadas para a Indústria 4.0. A empresa já percebe uma significativa melhoria nos índices de rejeição de produtos e na qualidade (em torno de 2 a 5%) em 2018, variando por produtos.</p>

4 RESULTADOS

Como forma de apresentação dos resultados foram elaborados quadros com um Relatório Síntese do Conteúdo das Entrevistas. Neles, a partir da análise das entrevistas, são identificadas quais as tecnologias habilitadoras que as empresas estão adotando em suas atividades operacionais; verificam-se os impactos nos fatores competitivos e; finalmente, qual o objetivo de desempenho afetado para a partir desta análise verificar as hipóteses:

Hipótese 1 - O uso de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 permite um foco em qualidade (medido como o aumento na satisfação do cliente ou redução de desperdício) com redução de custos simultaneamente.

Hipótese 2 - O uso de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 permite um foco em flexibilidade (medido em velocidade de mudanças e customização) com redução de custos simultaneamente.

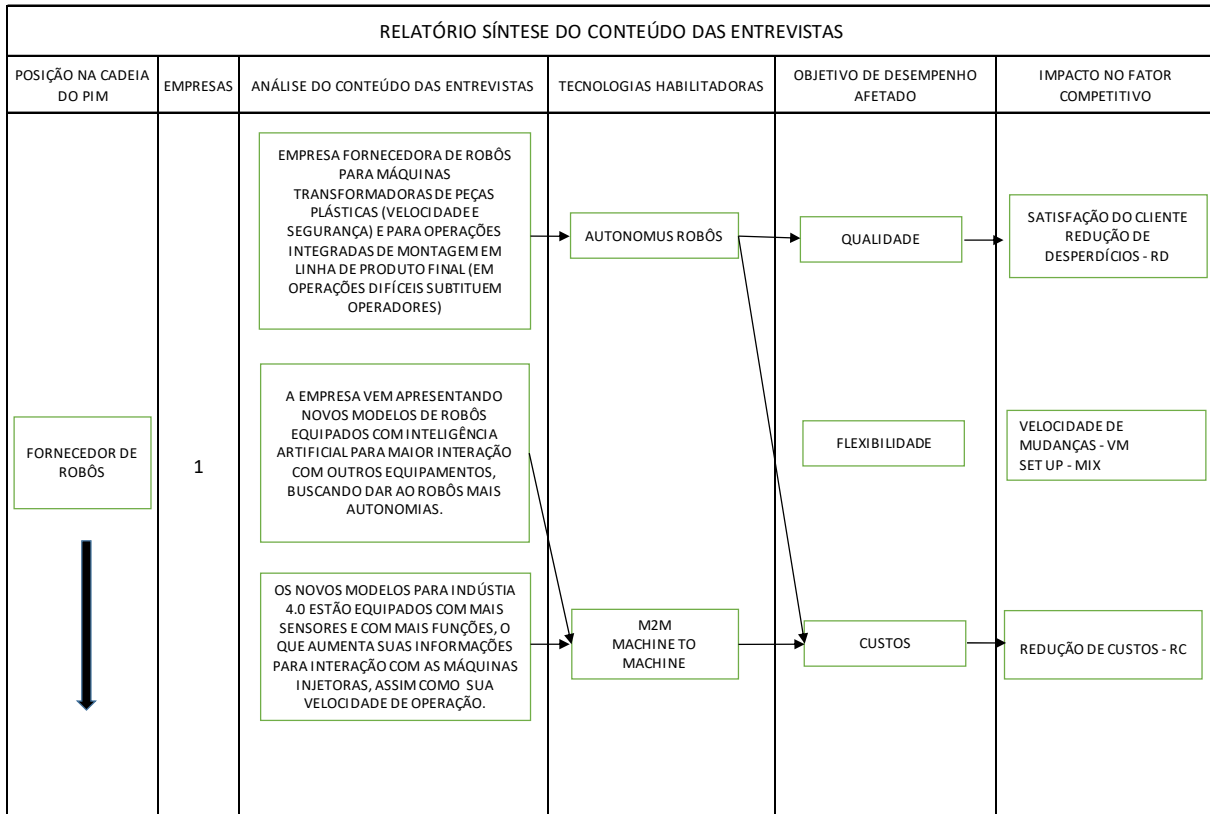
4.1 FORNECEDORES DE ROBÔS

Empresa 1

Em entrevista com o gestor da empresa fornecedora de robôs, extraiu-se que tem havido uma crescente demanda pelo uso desta tecnologia nos últimos anos pela cadeia de empresas do polo eletroeletrônico (tanto empresas transformadoras de plástico quanto empresas montadoras do produto final). Este crescimento deve-se ao fato de as empresas estarem em busca de uma adequação às tecnologias da Indústria 4.0. Ainda da entrevista com visita *in loco* na empresa verificou-se que algumas já possuíam em suas plantas robôs que faziam algumas operações. No entanto, os robôs atuais da geração 4.0 trazem sistemas computacionais mais avançados com o uso de inteligência artificial.

Do Relatório Síntese das Entrevistas (Figura 28), observa-se o uso de robôs autônomos com impactos simultâneos em qualidade, flexibilidade e custos, com reflexos na satisfação do cliente/redução de desperdícios, velocidade de mudanças (*set-up*) e redução de custos.

Figura 28 - Empresa 1: Relatório síntese do conteúdo das entrevistas



Fonte: o autor.

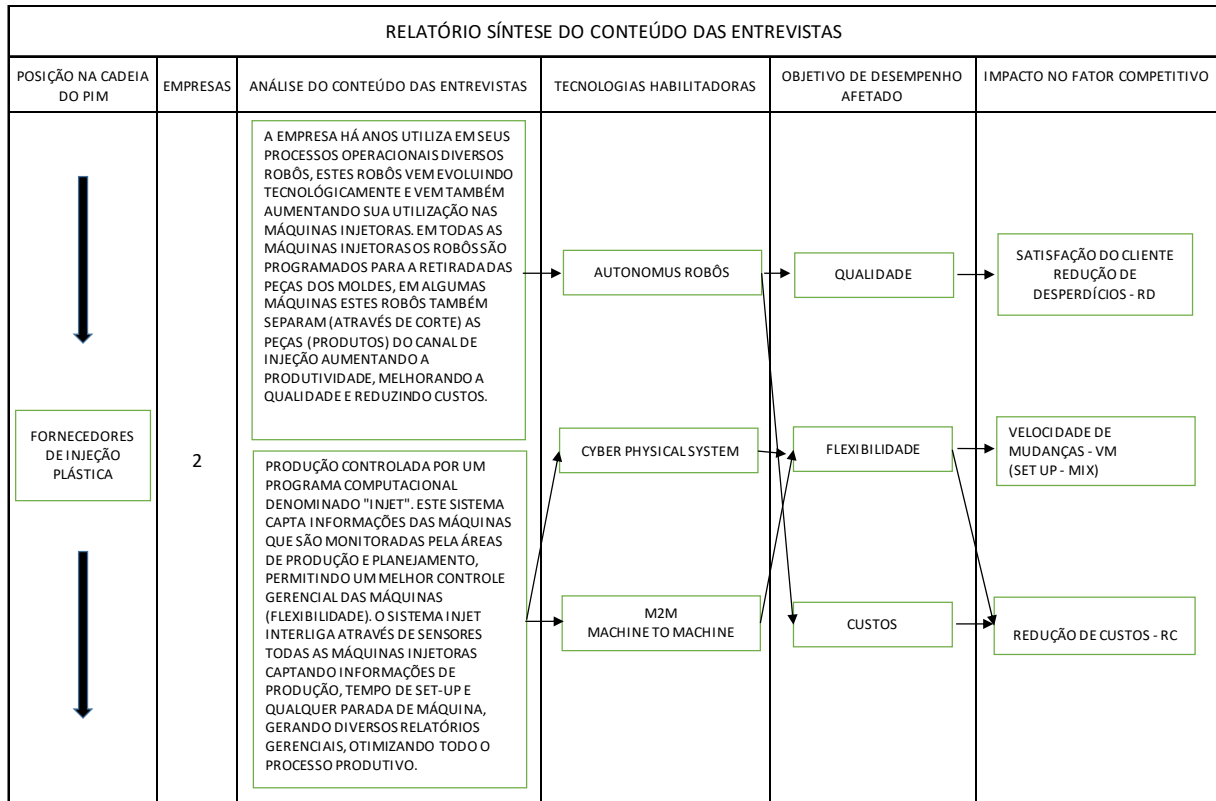
4.2 FORNECEDORES DE INJEÇÃO PLÁSTICA

Empresa 2

Do Relatório Síntese do Conteúdo das Entrevistas (Figura 29), observa-se o uso de robôs autônomos com a finalidade de fazer a retirada de peças das máquinas injetoras e o corte de canal, dando uma grande segurança para os operadores que antes faziam esta operação de forma manual. O uso desta tecnologia afeta os objetivos de desempenho qualidade e custos simultaneamente, impactando a satisfação dos clientes (com redução de desperdício) e também os custos (redução).

As tecnologias *Cyber Physical System* e M2M permitem conexões entre as diversas máquinas com um sistema gerencial de planejamento controlado pela planta local com conexões com a empresa matriz (sistema Injet), afetando o desempenho flexibilidade (impactando a velocidade de mudança de produtos (*set-up*), bem como afetando o desempenho custos (redução) simultaneamente.

Figura 29 - Empresa 2: Relatório síntese do conteúdo das entrevistas



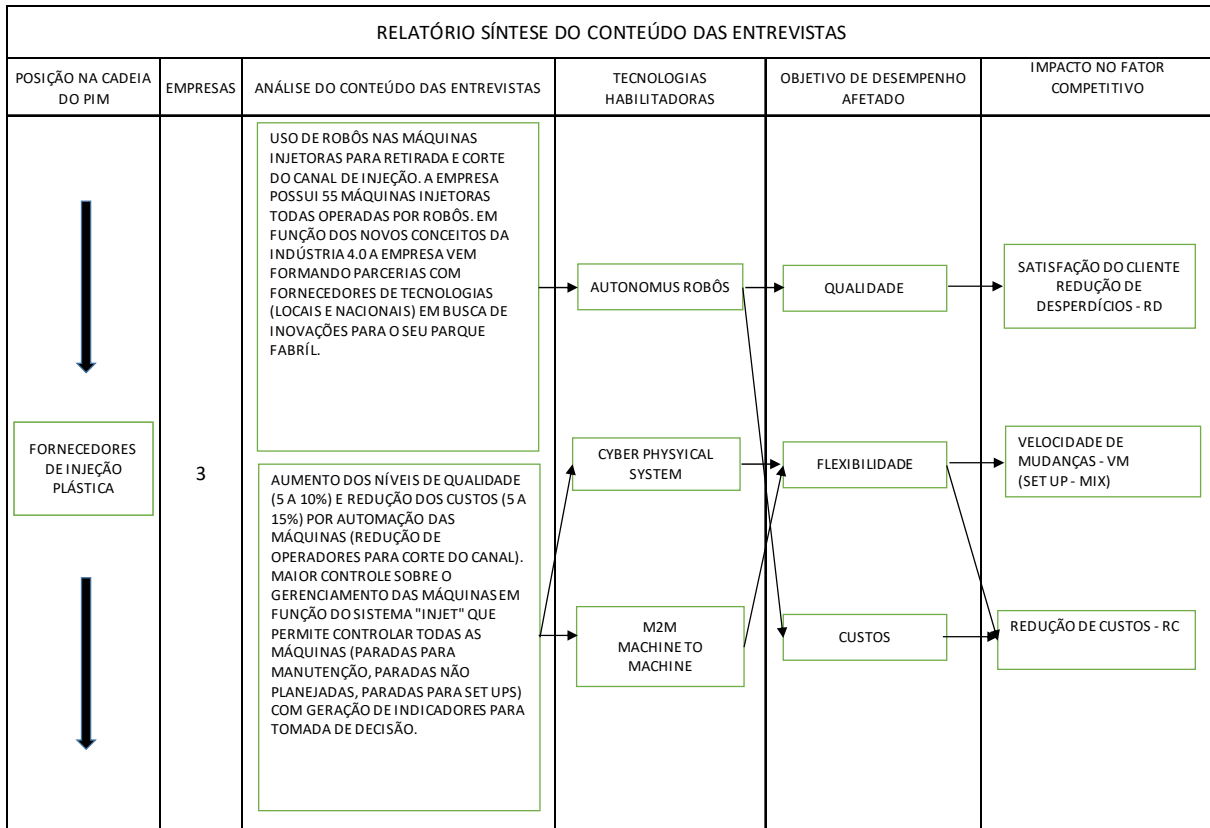
Fonte: o Autor.

Empresa 3

Do Relatório Síntese do Conteúdo das Entrevistas (Figura 30), observa-se que, como forma de adaptação à Indústria 4.0 a empresa vem fazendo parcerias com empresas fornecedoras de tecnologias para implantação de inovações em seu parque fabril. A empresa também utiliza robôs para a retirada de peças das máquinas injetoras e o corte de canal, dando uma grande segurança para os operadores que antes faziam esta operação de forma manual. O uso desta tecnologia afeta os objetivos de desempenho qualidade e custos simultaneamente, impactando a satisfação dos clientes (com redução de desperdício) e também os custos (redução).

As tecnologias *Cyber Physical System* e M2M permitem conexões entre as diversas máquinas com um sistema gerencial de planejamento (sistema Injet) afetando o desempenho flexibilidade (impactando a velocidade de mudança de produtos - *set-up*) assim como o desempenho custos (redução) simultaneamente.

Figura 30 - Empresa 3: Relatório síntese do conteúdo das entrevistas



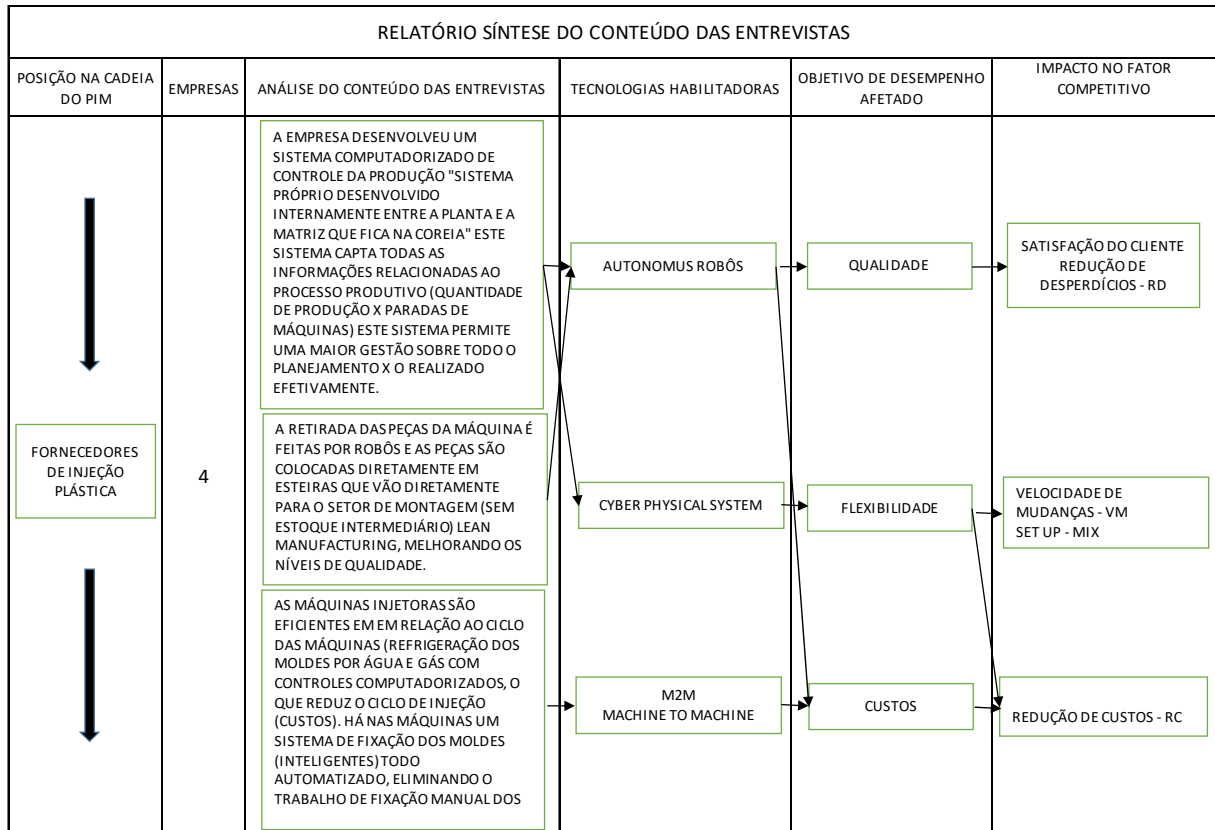
Fonte: o autor.

Empresa 4

Do Relatório Síntese do Conteúdo das Entrevistas (Figura 31), observa-se que a empresa desenvolveu um sistema próprio de gerenciamento da produção e planejamento da planta com o sistema CPS, atingindo o objetivo de desempenho flexibilidade impactando velocidade de mudança e redução de custos simultaneamente. A empresa também utiliza robôs para a retirada de peças das máquinas injetoras, sendo que estes robôs estão integrados diretamente com esteiras (sistema M2M) que levam as peças para o setor de montagem sem estoque intermediário. O uso destas tecnologias afeta os objetivos de desempenho qualidade e custos simultaneamente, impactando a satisfação dos clientes (com redução de desperdício) e também os custos (redução).

A empresa também se utiliza de sistemas computacionais inteligentes integrados com partes componentes das máquinas M2M (sistemas de refrigeração e fixação dos moldes). Estes sistemas permitem uma redução dos ciclos das máquinas, afetando o objetivo de desempenho custos, gerando sua redução.

Figura 31 - Empresa 4: Relatório síntese do conteúdo das entrevistas



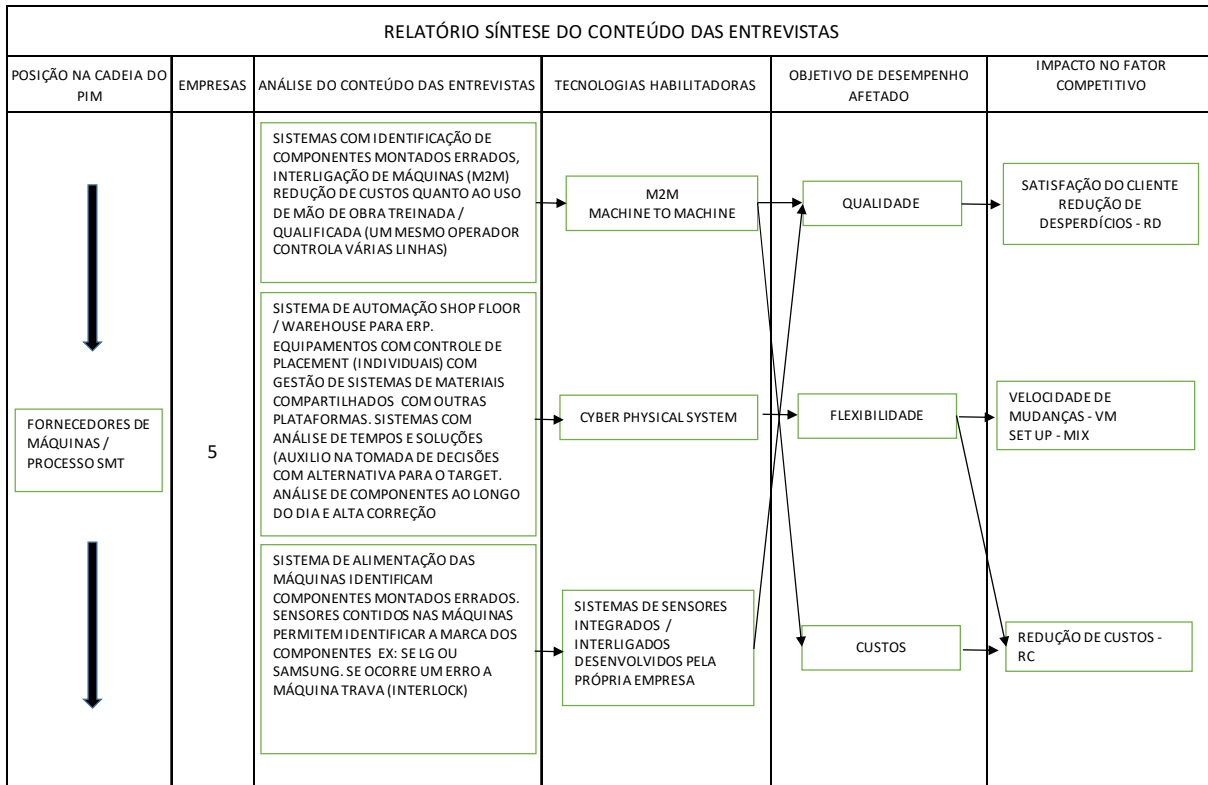
Fonte: o Autor.

4.3 FORNECEDORES DE MÁQUINAS / PROCESSO SMT

Empresa 5

As máquinas desta empresa carregam tecnologias habilitadoras como retratado na Figura 32. Uma dessas tecnologias é o sistema M2M, que identifica e corrige erros de montagem, afetando o objetivo de desempenho qualidade e impactando a redução de desperdícios, além de reduzir custos. As máquinas são carregadas com sistemas CPS (*cyber physical system*) com sistemas de gestão de materiais compartilhados com outras plataformas, afetando o objetivo de desempenho flexibilidade, impactando a velocidade de mudança (*set-up*) e impactando custos simultaneamente. A empresa também fabrica suas máquinas com Sistemas de Sensores Integrados (desenvolvidos pela própria empresa), que permitem a identificação de componentes montados incorretamente, afetando o desempenho de qualidade com impacto na satisfação dos clientes.

Figura 32 - Empresa 5: Relatório síntese do conteúdo das entrevistas



Fonte: o autor.

4.4 FORNECEDORES DE PLACAS / PCI MONTADAS

Empresa 6

Na Figura 33 podemos observar que a empresa tem desenvolvido diversas ações (independentes do uso de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0). Para isso, tem feito parcerias com empresas especialistas a fim de desenvolver novos sistemas computacionais. A empresa tem também desenvolvido diversos treinamentos para qualificação de sua mão de obra, em busca de aprimorar a qualidade de seus produtos com impacto na satisfação do cliente.

Testes automatizados com auxílio de sensores vêm sendo desenvolvidos e usados na empresa para eliminação de inspeção visual, afetando simultaneamente a qualidade e custos dos produtos.

Sistemas computacionais da ferramenta *machine-to-machine* (M2M) vêm sendo desenvolvidos na empresa através da interação de máquinas que identificam falhas na montagem de componentes e fazem sua autocorreção, como nos casos de aplicação da pasta de

solda nas placas. O uso desta tecnologia habilitadora impacta a qualidade (redução de desperdícios) e os custos.

Figura 33 - Empresa 6: Relatório síntese do conteúdo das entrevistas

RELATÓRIO SÍNTESE DO CONTEÚDO DAS ENTREVISTAS					
POSIÇÃO NA CADEIA DO PIM	EMPRESAS	ANÁLISE DO CONTEÚDO DAS ENTREVISTAS	TECNOLOGIAS HABILITADORAS	OBJETIVO DE DESEMPENHO AFETADO	IMPACTO NO FATOR COMPETITIVO
<p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">FORNECEDORES DE PLACAS / PCI MONTADAS</p> <p style="text-align: center;">↓</p>	6	<p>A EMPRESA TEM PATROCINADO PALESTRAS E CURSOS PARA O CORPO TÉCNICO E GERENCIAL SOBRE O TEMA INDÚSTRIA 4.0. AS PALESTRAS SÃO PARCERIAS COM EMPRESAS DE CONSULTORIA TÉCNICA E FORNECEDORES DE EQUIPAMENTOS (MÁQUINAS SMT) QUALIFICAÇÃO DA MÃO DE OBRA</p> <p>PARA TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 HÁ UM DESENVOLVIMENTO DAS MÁQUINAS COM CONTROLE COMPUTACIONAL (INTERAÇÃO ENTRE AS MÁQUINAS, AUTO CORREÇÃO) COMO NA APLICAÇÃO DA PASTA DE SOLDA (SISTEMAS CONTROLAM A QUALIDADE DA APLICAÇÃO DA PASTA DE SOLDA NAS PLACAS) HÁ TAMBÉM CONTROLE NOS TESTES DOS COMPONENTES TODO AUTOMATIZADO, QUE SUBSTITUI OS TESTES QUE ANTES ERAM FEITOS POR "JIGS DE TESTE". HÁ REDUÇÃO DE CUSTOS NESTA ETAPA.</p> <p>SISTEMAS COMPUTACIONAIS COM TESTES AUTOMATIZADOS (FEITOS COM AUXÍLIO DE SENSORES, ELIMINAÇÃO DA INSPEÇÃO VISUAL) MAIOR NÍVEL DE QUALIDADE, SENSÍVEL MELHORA NA PRODUTIVIDADE, REDUÇÃO DE CUSTOS MÉDIO DE 5%.</p>	M2M MACHINE TO MACHINE	<p style="text-align: center;">QUALIDADE</p> <p style="text-align: center;">FLEXIBILIDADE</p> <p style="text-align: center;">CUSTOS</p>	<p style="text-align: center;">SATISFAÇÃO DO CLIENTE REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS - RD</p> <p style="text-align: center;">REDUÇÃO DE CUSTOS - RC</p>

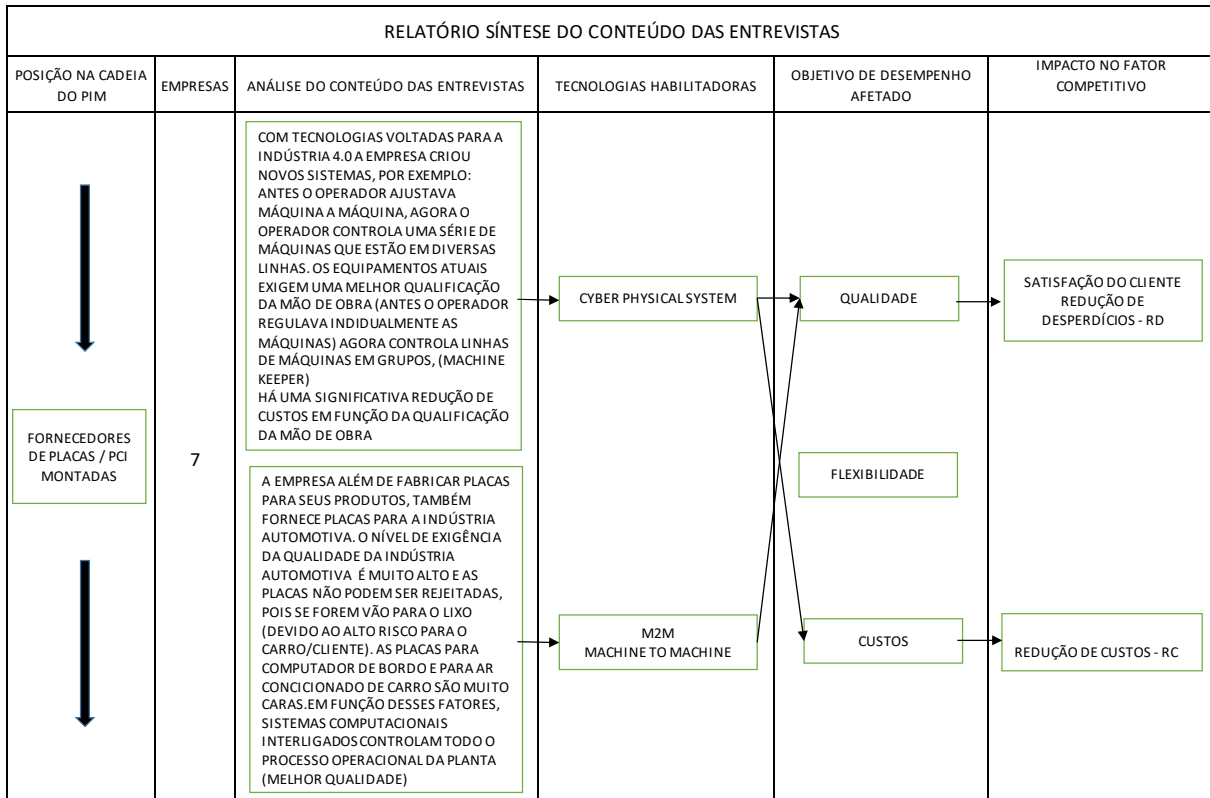
Fonte: o autor.

Empresa 7

Com o uso de sistemas como o CPS (*Cyber Physical System*) a empresa otimizou o controle de ajustes das máquinas, que antes era feito de forma individual. Agora o mesmo operador controla uma linha de máquinas (operadores mais qualificados). Este sistema permite obter melhores níveis de qualidade e de custos afetando simultaneamente a satisfação dos clientes e os custos (Figura 34).

Sistemas computacionais interligados M2M controlam todo o processo operacional de planta (a empresa produz produtos de alto risco e muito caros para a indústria automotiva – estes produtos não podem ter falhas). Estes sistemas de controle afetam o objetivo de desempenho qualidade refletindo em impacto na satisfação do cliente.

Figura 34 - Empresa 7: Relatório síntese do conteúdo das entrevistas



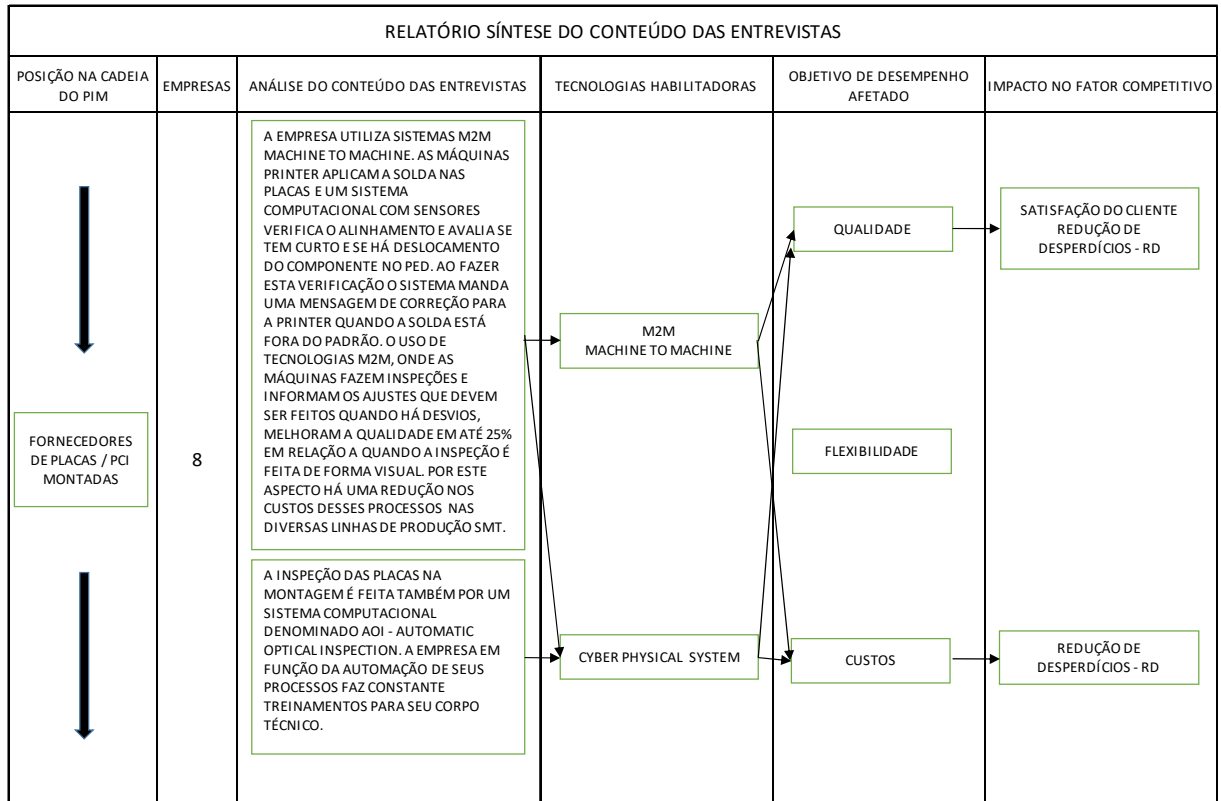
Fonte: o Autor.

Empresa 8

A empresa utiliza sistema M2M interligando a máquina *printer* de aplicação de solda com as máquinas de posicionamento dos componentes. Estes sistemas permitem verificar se o componente está bem posicionado e, se não estiver, faz a autocorreção. O uso desta tecnologia habilitadora faz com que as placas tenham um melhor nível de qualidade (impactando a redução de desperdícios) e também reduz custos operacionais simultaneamente.

Sistemas *Cyber Physical System*, como o sistema *Automatic Optical Inspection* (AOI), que faz a inspeção de placas, são utilizados e aprimoram os resultados, pois substituem a inspeção que antes era visual. Há uma melhora nos níveis de qualidade (satisfação do cliente/redução de desperdícios) e redução nos custos operacionais.

Figura 35 - Empresa 8: Relatório síntese do conteúdo das entrevistas



Fonte: o Autor.

4.5 PRODUTO FINAL (MONTADORAS)

Como resultado das entrevistas e das visitas às empresas montadoras, observou-se uma grande preocupação dos gestores com a necessidade de desenvolver estratégias para atender a nova ordem mundial voltada para as tecnologias 4.0. Extraiu-se, no entanto, que as indústrias do polo eletroeletrônico já buscam o desenvolvimento tecnológico desde os tempos da indústria 3.0. Esta característica dá-se em função de que os próprios produtos eletroeletrônicos são produtos tecnológicos, carregados de inovações, sendo a competitividade por este aspecto uma constante estratégia.

De outra forma os processos operacionais de montagem desses produtos sempre exigiram um elevado nível de qualidade, dada a concorrência entre empresas de grande porte multinacionais que operam nesse setor, e que nos últimos tempos investem em diversos tipos de inovações (produtos e processos), customização (*mix* de produtos) e uma busca constante por redução de custos.



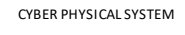
Por outro lado, as montadoras hoje têm suas operações bastante horizontalizadas, o que faz com que muitos processos tecnológicos estejam fora das plantas de montagem, mas com

fornecedores (de robôs, de injeção plástica, de máquinas SMT, de fornecedores de placas). Algumas empresas do polo já estão mudando sua estratégia e verticalizando, trazendo, por exemplo, para a planta de montagem, o processo de injeção plástica, como a empresa 10.

Empresa 9

Esta empresa (conforme a Figura 36) fez planejamento para a introdução de novas tecnologias da Indústria 4.0 para os próximos 5 anos. A empresa vem investindo em sistemas de planejamento e controle da produção através de sistemas ciberfísicos, que permitem um controle de toda a cadeia logística da empresa, com melhorias na flexibilização do planejamento (*mix* de produtos/customização) e modernização do sistema ERP (integração de setores que antes não estavam integrados). Nota-se na Figura 36 que por este aspecto, os objetivos de desempenho qualidade e flexibilidade são afetados, com impactos na satisfação do cliente e em custos simultaneamente. Observam-se ainda nesta empresa algumas ações independentes, fora das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, como evolução nos sistemas internos de TI com reflexos na qualidade e com redução de custos.

Figura 36 - Empresa 9: Relatório síntese do conteúdo das entrevistas

RELATÓRIO SÍNTESE DO CONTEÚDO DAS ENTREVISTAS					
POSIÇÃO NA CADEIA DO PIM	EMPRESAS	ANÁLISE DO CONTEÚDO DAS ENTREVISTAS	TECNOLOGIAS HABILITADORAS	OBJETIVO DE DESEMPENHO AFETADO	IMPACTO NO FATOR COMPETITIVO
 PRODUTO FINAL (MONTADORAS) 	9	<p>A EMPRESA PLANEJOU EM 2019 UMA ADEQUAÇÃO A NOVAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0, PARA OS PRÓXIMOS 5 ANOS.</p> <p>A EMPRESA VEM INVESTINDO NOS SISTEMAS DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (TODA A CADEIA PRODUTIVA DA LOGÍSTICA DE COMPRAS A ENTREGA). SENSÍVEL MELHORA NA FLEXIBILIZAÇÃO DO PLANEJAMENTO (MIX) COM A MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA ERP (INTEGRAÇÃO DOS DIVERSOS SETORES)</p> <p>EVOLUÇÃO DAS ATIVIDADES DA ÁREA DE T.I., ANTES SÓ MANUTENÇÃO, AGORA OS TÉCNICOS PROGRAMAM E CONTROLAM TODOS OS EQUIPAMENTOS DE PRODUÇÃO (SMT) MELHOR QUALIDADE DOS PRODUTOS COM REDUÇÃO DE CUSTOS.</p> <p>MELHORIA CONTINUA ATRAVÉS DE NOVAS TECNOLOGIAS COMO OS SISTEMAS CPS COM GRANDE IMPACTO NA QUALIDADE DOS PRODUTO E UMA MAIOR FLEXIBILIZAÇÃO</p> <p>INSPEÇÃO DE PLACAS ANTES FEITA DE FORMA APENAS VISUAL POR OPERADORES, AGORA 70% POR SISTEMAS COMPUTACIONAIS (SENSORES) AUMENTO DOS NÍVEIS DE QUALIDADE.</p>		<p>QUALIDADE</p> <p>FLEXIBILIDADE</p> <p>CUSTOS</p>	<p>SATISFAÇÃO DO CLIENTE REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS - RD</p> <p>VELOCIDADE DE MUDANÇAS - VM (SET-UP MIX CUSTOMIZAÇÃO)</p> <p>REDUÇÃO DE CUSTOS - RC</p>

Fonte: o Autor.

Empresa 10

A empresa vem adotando novas estratégias de produção, como a verticalização das atividades de injeção plástica (comprou novas máquinas injetoras com alta tecnologia e instalou em sua própria planta). Os fornecedores de peças plásticas não estavam acompanhando o desenvolvimento das tecnologias da Indústria 4.0, o que levou a empresa a esta decisão.

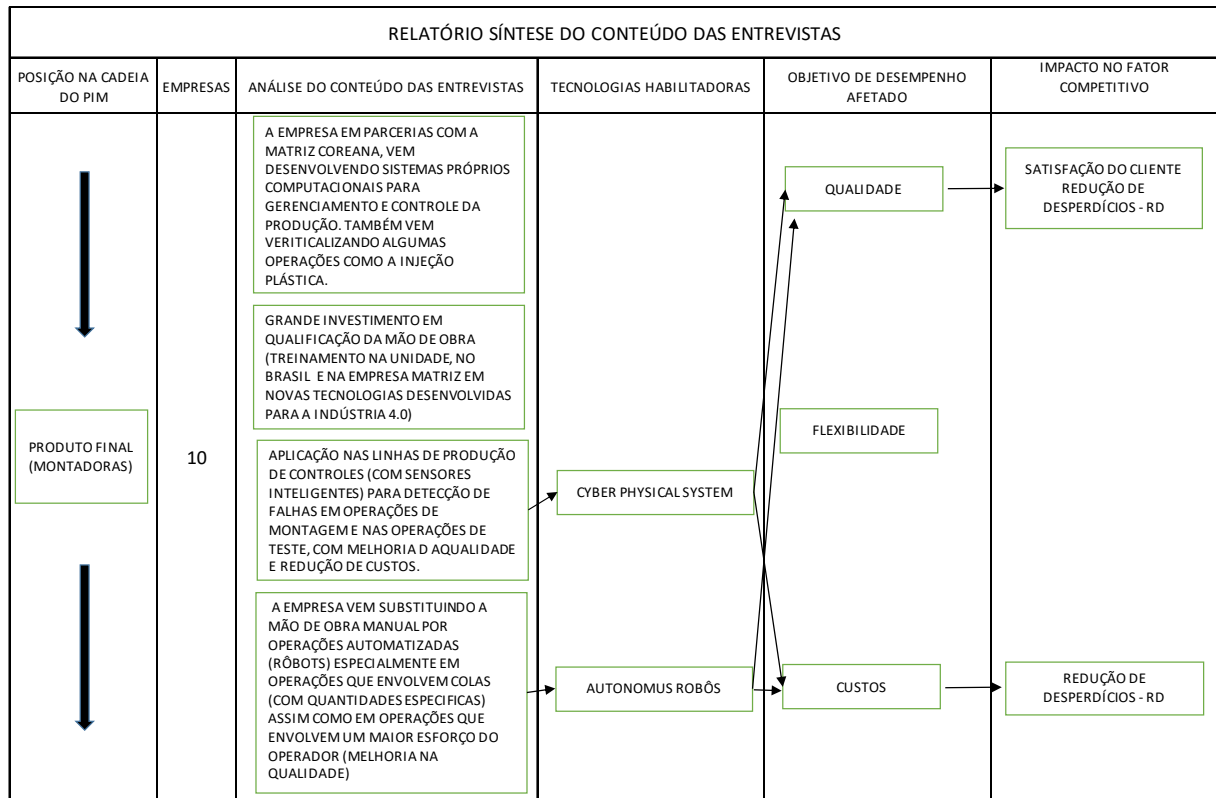
A empresa desenvolve também sistemas próprios computacionais, como o sistema de gerenciamento e controle de produção das máquinas injetoras, feitas em sua empresa matriz que fica na Coreia.

A empresa também vem investindo em qualificação de mão de obra tanto em sua planta local quanto na empresa matriz.

Foram aplicados controles com sensores inteligentes nas linhas de produção para detecção de falhas em operações de montagem e de teste (*Cyber Physical System*) conforme a Figura 37, com melhorias nos objetivos de desempenho qualidade e custos simultaneamente.

A empresa, em sua operação de montagem final, vem substituindo as operações de montagem manual por robôs, com reflexos no desempenho de qualidade e redução de custos simultaneamente.

Figura 37 - Empresa 10: Relatório síntese do conteúdo das entrevistas



Fonte: o Autor.

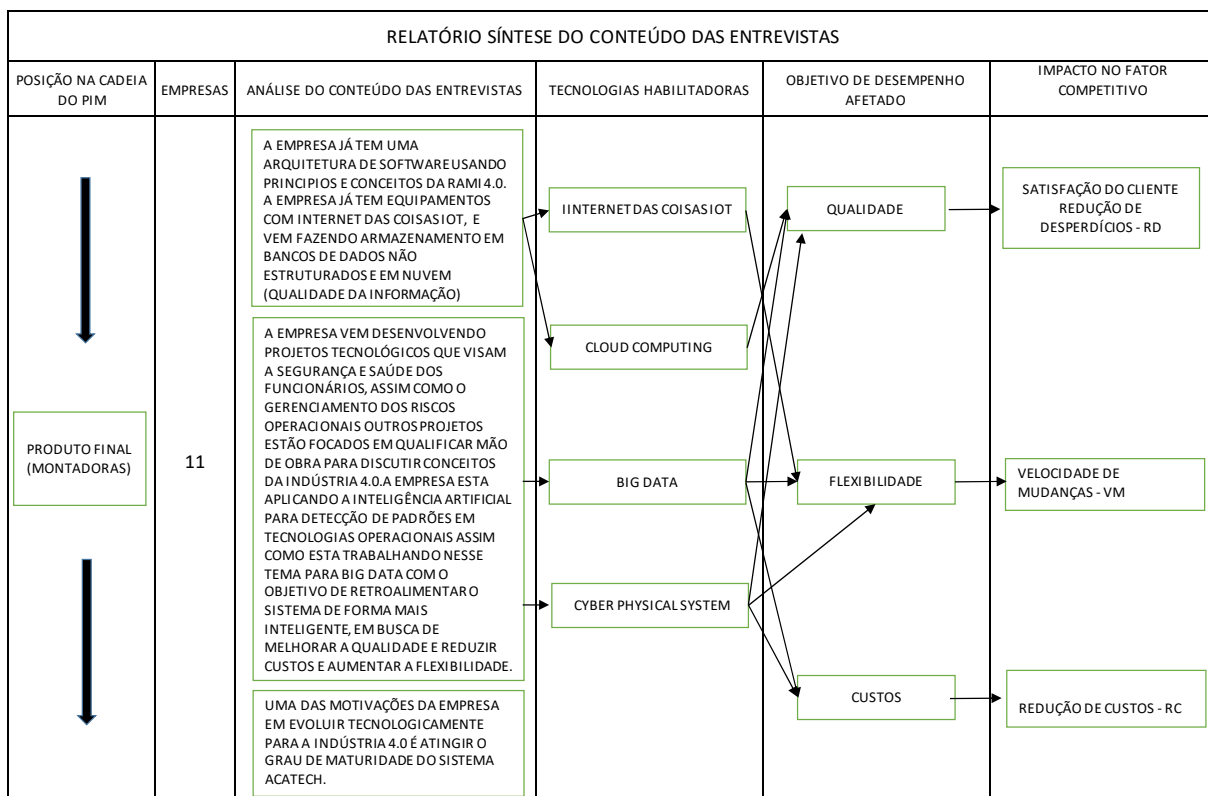
Empresa 11

A empresa possui uma arquitetura de *software* com conceitos da RAMI 4.0. Utiliza tecnologia habilitadora IoT em atividades operacionais (Figura 38) com reflexos em flexibilidade e na redução de custos. Também utiliza armazenamento de bancos de dados (*cloud*) não estruturados, com resultados na qualidade das informações para tomada de decisão.

A empresa está aplicando a inteligência artificial para detecção de padrões em tecnologias operacionais, e também trabalhando nesse tema (*Big Data*) com o objetivo de retroalimentar o sistema de forma mais inteligente, em busca de melhorar a qualidade, reduzir custos e aumentar a flexibilidade. Também se utiliza de inteligência artificial através de sistemas ciberfísicos em busca de aprimoramento de seus processos e otimização de qualidade, flexibilidade e custos.

Uma das motivações da empresa em evoluir tecnologicamente para a Indústria 4.0 é atingir o grau de maturidade do sistema ACATECH.

Figura 38 - Empresa 11: Relatório síntese do conteúdo das entrevistas




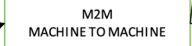
Fonte: o Autor.

Empresa 12

Esta empresa vem desenvolvendo um sistema próprio voltado para o que eles chamam de Indústria 4.0. São ações diversas divididas em etapas evolutivas, que começaram com a reorganização do *lay out* na primeira etapa e agora, na segunda etapa, envolve uma reavaliação de seus processos em busca de melhorias. Na etapa 3 estão implantando um sistema inteligente de produção - SIP, que permite um total controle na produção dos produtos que estão atravessando o processo (rastreamento).

A empresa utiliza ainda um sistema computacional de controle do processo de soldagem (*printer/refusão*) que é feito pelas máquinas Fuji e DEK (pasta de solda). As máquinas têm um controle integrado M2M com ajuste (autocorreção) da aplicação da pasta de solda *lead free* e o posicionamento dos chips melhorando o desempenho da qualidade e reduzindo custos operacionais simultaneamente.

Figura 39 - Empresa 12: Relatório síntese do conteúdo das entrevistas

RELATÓRIO SÍNTESE DO CONTEÚDO DAS ENTREVISTAS					
POSIÇÃO NA CADEIA DO PIM	EMPRESAS	ANÁLISE DO CONTEÚDO DAS ENTREVISTAS	TECNOLOGIAS HABILITADORAS	OBJETIVO DE DESEMPENHO AFETADO	IMPACTO NO FATOR COMPETITIVO
 PRODUTO FINAL (MONTADORAS)	12	<p>A EMPRESA VEM DESENVOLVENDO UM PROGRAMA "PRÓPRIO" VOLTADO PARA A INDÚSTRIA 4.0. O PROGRAMA CONSISTE EM UM PROCESSO EVOLUTIVO DE MELHORIAS DO PROCESSO COM AVANÇOS TECNOLÓGICOS, PARA ISSO DIVIDIU O PROGRAMA EM ETAPAS. JÁ IMPLANTOU DIVERSAS MELHORIAS, NA ETAPA 1 (REORGANIZAÇÃO DO LAY OUT DE TODA EMPRESA) ETAPA 2 (RE-ANÁLISE DOS PROCESSOS E BUSCA POR AUTOMAÇÃO) ETAPA 3 (SISTEMA INTELIGENTE DE PRODUÇÃO - SIP), SISTEMA QUE PERMITE UM TOTAL CONTROLE NA PRODUÇÃO DOS PRODUTOS "SISTEMA SHOP FLOOR" CONTROLA TODOS OS PRODUTOS E SUA RASTREABILIDADE DA ENTRADA A EMBALAGEM.</p> <p>HÁ TAMBÉM NA EMPRESA UM SISTEMA COMPUTACIONAL DE CONTROLE DO PROCESSO DE SOLDAGEM (PRINTER / REFUSÃO) QUE SÃO FEITOS PELAS MÁQUINAS FUJI E DEK (PASTA DE SOLDA). AS MÁQUINAS TEM UM CONTROLE INTEGRADO COM AJUSTE (ALTO CORREÇÃO) DA APLICAÇÃO DA PASTA DE SOLDA LEAD FREE E O POSICIONAMENTO DOS CHIPS REDUZINDO CUSTOS OPERACIONAIS E MELHORANDO OS NÍVEIS DE QUALIDADE.</p>		<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">QUALIDADE</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">FLEXIBILIDADE</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">CUSTOS</div> </div>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">SATISFAÇÃO DO CLIENTE REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS - RD</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">VELOCIDADE DE MUDANÇAS - VM</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">REDUÇÃO DE CUSTOS - RC</div> </div>

Fonte: o Autor.

4.6 RESUMO DAS TECNOLOGIAS POR EMPRESAS E SEUS IMPACTOS

O Quadro 10 a seguir traz um resumo de todas as tecnologias habilitadoras e suas respectivas empresas, mostrando ainda os tipos de impactos em cada empresa de acordo com os códigos Q= qualidade, F= flexibilidade e C= custos.

Quadro 10 - Resumo das tecnologias por empresas e seus impactos

RESUMO DAS TECNOLOGIAS POR EMPRESAS E SEUS IMPACTOS													
CADEIA DE EMPRESAS													
	FORNECEDOR DE ROBÔS	FORNECEDOR DE INJEÇÃO PLÁSTICA				FORNECEDOR DE MÁQUINAS SMT	FORNECEDOR DE PLACAS / PCI MONTADAS			PRODUTO FINAL MONTADORAS			
TECNOLOGIAS HABILITADORAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
AUTONOMUS RÔBOT	X	X	X	X						X			
	Q	C	Q	C	Q	C	Q	C		Q	C		
MACHINE TO MACHINE M2M	X	X	X	X	X	X	X	X				X	
		C	F	F	C	Q		C	Q	C	Q	C	
CYBER PHYSICAL SYSTEM		X	X	X	X		X	X	X	X	X		
		F	F	F	F		Q	C	Q	C	Q	F	
BIG DATA											X		
											Q	F	
CLOUD											X		
											Q		
IoT											X		
											F		
CÓDIGOS DOS IMPACTOS: Q= QUALIDADE F= FLEXIBILIDADE C= CUSTOS													

Fonte: o Autor.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Este capítulo pretende discutir os dados levantados em campo, observando a cadeia de fornecedores, além de fazer comparações entre estas empresas.

A empresa fornecedora de robôs pesquisada é a responsável pelo fornecimento da maioria desses equipamentos ora utilizados no polo eletroeletrônico. Robôs são máquinas mecânicas, eletromecânicas ou virtuais, que possuem Inteligência Artificial (inteligência similar à humana, executada por *software* ou mecanismo). Eles podem realizar tarefas que dependem ou não da intervenção humana (Santos, 2014). Uma das mais importantes tecnologias habilitadoras para a Indústria 4.0 no polo eletroeletrônico de Manaus, são os Robôs Autônomos, que compreendem robôs físicos e com Inteligência Artificial. Tal situação faz com que as demais empresas da cadeia (injeção plástica e as montadoras) recorram a esta empresa, para que apresente soluções tecnológicas relacionadas a Indústria 4.0, dada a especificidade das tecnologias embarcadas nesses robôs e a necessidade de integração deles a outras máquinas e outros sistemas computacionais.

A cadeia de fornecedores de injeção plástica é uma cadeia importante em termos de volume de peças e complexidade para a o setor eletroeletrônico. O processo de fabricação dessas peças, que são feitas por máquinas injetoras (máquinas carregadas de tecnologias eletrônica, mecânica pneumática e química) tem uma grande complexidade computacional. Uma constatação importante observada ao longo das entrevistas é que está havendo um processo de verticalização na estratégia de operações, ou seja, no passado as montadoras acreditavam que obteriam mais qualidade e eficiência se suas peças fossem produzidas por empresas especialistas no ramo de injeção (horizontalização); neste momento está havendo uma reversão nessa estratégia em função das exigências tecnológicas da Indústria 4.0 (as empresas estão incluindo em suas próprias plantas um parque de máquinas, especialmente máquinas de grande porte), e as próprias montadoras voltaram a produzir suas peças plásticas (verticalização). Alguns outros fatores, segundo os gestores entrevistados, contribuíram para a decisão das empresas de verticalizar diversos itens, como os relatados a seguir:

As máquinas injetoras ficaram mais caras em função de mais tecnologias computacionais (tecnologias habilitadoras) embarcadas, e os fornecedores anteriores não tinham aportes financeiros para a compra dessas máquinas.

Os fornecedores de injeção plástica normalmente utilizam suas máquinas para a produção de diversos clientes (mesma máquina com diferentes moldes e diversos materiais), usando materiais nem sempre destinados a peças técnicas como as utilizadas pela indústria

eletroeletrônica. Esta situação provoca baixa produtividade quando do *set-up* dos moldes, perda de materiais e diversos problemas de qualidade.

As máquinas atuais carregadas de tecnologias exigem uma mão de obra mais qualificada e mais bem remunerada, limitando as empresas fornecedoras por este aspecto, pois elas não têm porte financeiro que suporte esta condição. As empresas montadoras pesquisadas e que estão com estas práticas são empresas multinacionais, e alguns dos atuais fornecedores da cadeia são empresas nacionais ou locais.

Por fim, as tecnologias dos produtos eletroeletrônicos, especialmente televisores, foram impactadas pela substituição das tecnologias de imagem através de tubos (cinescópios), que exigiam uma estrutura maior, mais pesada, e que gerava a necessidade de um grande volume de transformação de materiais plásticos, viabilizando sua terceirização. As novas tecnologias de imagem (tela plana) e com *design* diferenciado (uso de materiais especiais e bem mais leves, exigindo menor volume de transformação de material plástico) permitiram a viabilização desta operação na própria planta, revertendo sua terceirização.

A empresa pesquisada fornecedora de máquinas para processo SMT é uma empresa detentora de grande experiência tecnológica neste ramo, sendo esta operação uma das mais importantes para a cadeia, dada sua complexidade e necessidade para as demais empresas do polo. Esta categoria de máquina na cadeia está presente em cerca de 70% das montadoras do polo eletroeletrônico. Além de fornecer estes equipamentos, esta empresa é responsável pela sua manutenção, prestando assistência técnica, e pela qualificação e treinamento de técnicos e operadores para os clientes usuários destas máquinas. Seus equipamentos são carregados de diversas tecnologias para acompanhar o avanço das tecnologias das placas para fabricação de produtos de informática e eletrodomésticos, que a cada dia oferecem mais funções e maior grau de complexidade, seja por seu processo de fabricação, seja em razão da evolução dos chips e da necessidade de posicionamento deles nas placas, ou por sua velocidade, ou mesmo pela necessidade constante de redução de erros de montagem. Por sua vez, as empresas montadoras (produto final) dependem sobremaneira das inovações das tecnologias habilitadoras dessas máquinas. Desta forma, as empresas montadoras vêm renovando seu parque de máquinas em busca de uma maior eficiência operacional, obtendo assim melhores resultados, seja em qualidade, flexibilidade e redução de custos.

A cadeia de empresas fornecedoras de placas de circuito impresso (PCI) é um importante e vital segmento para o polo eletroeletrônico. Este produto tem ao menos duas características representativas para as empresas montadoras: primeiramente, representa grande parte do custo final do produto, seja pelo número de componentes eletrônicos, seja pelo valor

de alguns de seus componentes como os processadores, normalmente de alto custo; o segundo aspecto é que as PCIs são o item que concentra toda a tecnologia de funcionamento dos produtos eletrônicos, e sua falha incorre em grandes prejuízos, seja durante a sua passagem pelas linhas de produção (se não forem bem produzidos passam a agregar custos de não-qualidade) ou quando já montados no produto final. Desta forma, os clientes destas placas poderão ficar com índices negativos de qualidade, podendo até cancelar contratos com estes fornecedores.

No fim da cadeia temos a montagem do produto final que é o resultado do sucesso de dois importantes aspectos. De um lado, a aquisição de partes e peças da cadeia produtiva com qualidade (como as peças injetadas ou as placas de circuito impresso) como já descrito nas discussões acima. De outro, o processo de montagem dos diversos componentes que compõem o produto final, assim como seus testes.

Em análise do conteúdo das entrevistas com os gestores das empresas que fazem a montagem final dos produtos, observa-se que estes estão preocupados com as novas exigências tecnológicas agregadas à Indústria 4.0 e estão revendo estratégias e praticando algumas das seguintes ações em suas plantas:

Boa parte das soluções para a redução de custos e para a melhoria da qualidade de seus produtos depende de fornecedores de placas e de componentes plásticos. Estas operações envolvem mais máquinas e mais tecnologias até mesmo que a montagem final. Desta forma, há uma constante exigência e parcerias com fornecedores para que estes, por suas especialidades, busquem inovações que tragam benefícios a seus clientes (as empresas montadoras).

Uma constante reavaliação de estratégias de operações vem sendo praticada, com destaque para a Empresa 4, que resolveu recentemente verticalizar a operação de injeção plástica, instalando em sua própria planta um parque de máquinas (com as razões descritas no início do item 5).

Investimentos em robôs no processo de montagem final, em operações que antes eram feitas por pessoas. Este aspecto tem reduzido essa mão de obra operacional, no entanto tem aumentado a mão de obra mais técnica, o que faz com que os gestores venham investindo em qualificação da mão de obra, em um perfil com um conteúdo mais tecnológico.

Destaca-se aqui um aspecto peculiar observado nas entrevistas mas com especial atenção para o que foi descrito pela empresa 12. A empresa elaborou um programa de melhoria continua dividido em etapas, estas melhorias são identificadas como diversas ações como por exemplo a otimização do lay out da empresa e outras atividades gerenciais que não envolvem as tecnologias da Indústria 4.0 No entanto a empresa que é de médio porte, considera esta ação

como parte de uma atividade da Indústria 4.0, pois entende que se esta em busca de maior eficiência organizacional, então está em alinhamento com as exigências da Indústria 4.0.

Finalmente observa-se que tem havido bastante investimento nos testes dos produtos na montagem final por sistemas computadorizados, ora desenvolvidos pela própria empresa, ora em parcerias com empresas fornecedoras de testes com alta tecnologia, tecnologias estas voltadas para a Indústria 4.0. Os resultados destas operações geram um melhor índice nos níveis de qualidade.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto ao longo deste trabalho, com base nas discussões dos resultados demonstrados no capítulo 5, assim como na confrontação com o Modelo Teórico Conceitual apresentado na seção 3.2.1, a seguir serão apresentadas as conclusões desta tese. Também serão feitas considerações a partir de uma análise crítica da pesquisa realizada e dispostas as contribuições deste trabalho para a literatura sobre as tecnologias da Indústria 4.0, para a prática da gestão de empresas e, finalmente, as indicações para futuros trabalhos nesta área.

Os desafios de empreender uma pesquisa, com as dimensões que resultam das peculiaridades que permeiam os processos operacionais inseridos em uma cadeia de empresas com suas complexidades no contexto tecnológico e organizacional, adquirem proporções ainda maiores. No entanto, considera-se que o método de Estudo de Caso possibilitou o alcance do objetivo geral de “analisar o impacto causado nas empresas do Polo Industrial de Manaus pela adoção de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0”.

O percurso metodológico possibilitou, por meio de entrevistas com os diferentes gestores e por realizar a pesquisa em uma cadeia de empresas com diferentes tecnologias em suas atividades operacionais, identificar as ações relacionadas às tecnologias da Indústria 4.0 que as empresas vêm empreendendo, respondendo à questão: como as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 vêm impactando os objetivos estratégicos de desempenho?

Diante desta questão e pelo exposto na discussão do capítulo anterior, pode-se atestar que as diversas empresas da cadeia do polo eletroeletrônico vêm se utilizando de algumas tecnologias habilitadoras em seus diferentes processos operacionais. O uso destas tecnologias vem afetando os objetivos de desempenho – qualidade, flexibilidade e custos – e impactando os fatores competitivos – satisfação dos clientes (redução de desperdícios), velocidade de mudanças (*mix* de produtos, *set-up*, customização) e redução de custos.

Nos últimos anos a cadeia de empresas do polo tem buscado alternativas para desenvolver-se em suas atividades operacionais por dois motivos.

O primeiro consiste nos aspectos do mercado mundial relacionados ao avanço de tecnologias da nova revolução industrial denominada 4.0: neste aspecto, podemos destacar o exemplo identificado dentro da pesquisa de que as empresas da cadeia fornecedora de peças plásticas, diante das suas necessidades de inovação tecnológica em atividades operacionais (melhoria da qualidade, redução de custos, flexibilidade), vêm revertendo a sua estratégia de terceirização de suas peças plásticas, passando elas mesmas a produzir em suas plantas os seus componentes plásticos (pelos diversos motivos expostos no capítulo 5). Diante deste novo

cenário, surgem novas hipóteses e proposições, como por exemplo: Esta nova estratégia de operações (verticalização) que algumas empresas estão praticando pode se traduzir em uma concentração de negócios para algumas empresas da cadeia do polo? Quais as vantagens e desvantagens para estas empresas ou para a cadeia?

O segundo motivo é que o polo de Manaus tem uma governança pública (legislação própria), conforme apresentado na subseção 3.2.3.1. As empresas estão atualmente em fase de adaptação e implantação de novas tecnologias relacionadas às atividades da Indústria 4.0 também para atender a um sistema de avaliação da sua maturidade tecnológica, conforme a seção 2.4, que está sendo criado pelo órgão gestor SUFRAMA. Esta avaliação definirá a liberação de verbas para investimentos em P&D e inovação voltadas para a Indústria 4.0. As ações das empresas devem evidenciar que as tecnologias adotadas resultam em impactos nas estratégias de operações / produção. Está neste momento em desenvolvimento pelo órgão gestor um indicador denominado “Selo Indústria 4.0”, como forma de destacar os níveis de maturidade tecnológica praticados nas empresas da cadeia. Esta é uma estratégia para incentivar as empresas a se adaptarem ao mundo tecnológico 4.0.

Na forma de contribuições, este trabalho traz dois aspectos relevantes. O primeiro é uma contribuição literária e a segunda relaciona-se a prática gerencial. A contribuição literária inicia-se com a revisão da evolução histórica industrial desde a sua primeira revolução, tendo sido desenvolvida ainda uma revisão sobre as tecnologias habilitadoras atuais, além de uma revisão sobre as estratégias de produção / operações. Parte importante na revisão da literatura foi também a realização de uma análise bibliométrica com o estudo do estado da arte do termo Indústria 4.0 no Brasil e no mundo.

Quanto à segunda contribuição, para a prática gerencial, tem-se como principal aspecto os relatos descritos sobre as diferentes tecnologias atualmente utilizadas nas plantas das organizações estudadas (as análises estão relatadas em forma de síntese no capítulo 4), com destaque para as mais relevantes declaradas pelos gestores das empresas pesquisadas, e que estão relacionadas as tecnologias habilitadoras. Algumas ações no entanto, foram identificadas ao longo das entrevistas como práticas de gestão que não estão relacionadas diretamente ao uso de tecnologias habilitadoras, mas as ações gerenciais de melhorias nos processos ou mudanças de *lay out*, e algumas dessas empresas entendem estas ações como medidas voltadas para a Indústria 4.0.

Finalmente os resultados desta pesquisa servirão ainda como apoio a futuras decisões estratégicas e gerenciais, conforme demonstrado também no capítulo 4.

Este trabalho, por outro lado, tem limitações, pela impossibilidade de generalização dos seus resultados, por diferentes motivos: as empresas pesquisadas, apesar de pertencerem a um mesmo setor, têm diferentes portes, tamanhos, produtos, assim como origem – algumas são nacionais e outras, multinacionais. Entretanto, esta é uma limitação que não impede os resultados de diversas evidências de originarem novas hipóteses e futuras pesquisas em setores similares, ou mesmo diferentes, para verificar a validade dos resultados em outros cenários.

Ao fim desta pesquisa concluo que, embora tenha avançado, ainda há muito a ser pesquisado, dada a complexidade do processo de avanço tecnológico em atividades operacionais, e também pelo contexto de mudanças velozes em que o mundo se encontra. Desta forma, estudar mais casos em diferentes organizações de diferentes regiões permitiria ampliar as conclusões aqui destacadas.

REFERÊNCIAS

- Alves, C. (2018). *Robótica industrial - fundamentos, tecnologias, programação e simulação*, São Paulo, SP: Saraiva.
- Andrews, K. R. (1971). *The concept of corporate strategy*. New York: Dow-Jones Irwin.
- Ansoff, H. I. (1977). The State of practice in planning System. *Sloan Management Review*.
- Ansoff, H. I. (1990). *A nova estratégia empresarial*. São Paulo, SP: Atlas.
- Archambault, E., Campbell, D., Gingras, Y., & Laurivière, V. (2009). Comparing bibliometric statistics obtained from the web of and Scopus. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 60(7), 1320–1326.
- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2017). *Produtos: relatório do Plano de Ação*, nov de 2017.
- Bardin, L. (1977). *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 70.
- Barros, A. J. P., & Lehfeld, N. A. S. (2010). *Projeto de Pesquisa: propostas metodológicas* (19a ed.). Petrópolis, RJ: Vozes.
- Besanko, D. (2012). *A Economia da Estratégia*. Porto Alegre: Bookman.
- Bosch. Recuperado de www.google.com/search?q=Bosch+robôs+2018. Acesso em: 22 ago. 2018.
- Bryman, A. (1989). *Research Methods and Organization Studies*. London: Routledge.
- Bryman, A., & Bell, E. (2007). *Business Research Methods* (2a ed.). New York, Oxford University Press.
- Campbell, I., Bourell, D., & Gibson, I. (2012). Additive Manufacturing: Rapid Prototyping Comes of Age. *Rapid Prototyping Journal*, 18(4), 255-258.
- CGIB. (2012). Insurance products. Recuperado de <https://www.cgib.com.au/> Acesso em: 10 set. 2018
- Chandler Jr., A. D. (1962). *Strategy and structure: charts in the history of industrial enterprise*. Cambridge: The MIT Press.
- CISCO. (2015). *Computação em Nuvem: mudança da função e da importância das equipes de TI*. Recuperado de https://www.cisco.com/c/pt_br/solutions/internet-of-things/overview.html. Acesso em: 10 set. 2018.
- Comitê Gestor da Internet no Brasil. (2012). *Cartilha de Segurança para Internet Versão 4.0*.

- Confederação Nacional Indústria. (2016). *Indústria 4.0*. Novo desafio para indústria Brasileira. Indicadores CNI (2), abr. 2016. Recuperado de <http://www.cnidigital.org/materias>. Acesso em: 10 set. 2018.
- Cooper, D. R., & Schindler, P. (2016). *Método de Pesquisa em Administração* (12a ed.). Porto Alegre: Bookman.
- Corbett, C. (1993). Trade-offs? What trade-offs? Competence and Competitiveness. In: *Manufacturing Strategy, California Management Review* (pp. 107–122).
- Department of Industry, Innovation, Science, Research and Tertiary Education. (2012). *Enabling technology futures: a survey of the Australian technology landscape - Executive Report*, Canberra. Australia.
- Drucker, P. (1990). The Emerging Theory of Manufacturing. *Harvard Business Review*, 98, may – june 1990.
- Eisenhardt, K. (1989). Building theories from case study research. *The Academy of Management Review*, 14(4), 532–550.
- Elias, S. J. B., & Magalhães, L. C. (2003). Contribuições da produção enxuta para obtenção da produção mais limpa. In: *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 23 (pp. 1-8). Ouro Preto. Anais. Rio de Janeiro, RJ: Abepro.
- EMBRAPII. *Quem Somos*. (n.d.). Recuperado de <http://embrapii.org.br/categoria/institucional/quem-somos/> Acesso em: 9 abr. 2018.
- Faccioni Filho, M. (2016). *Internet das coisas: livro digital*. Palhoça: Unisul Virtual. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/319881659>. Acesso em: 10 set. 2018.
- Ferreira, A. A., Reis, A. C. F., & Pereira, M. I. (2011). *Gestão empresarial: de Taylor aos nossos dias: evolução e tendências da moderna administração de empresas*, São Paulo, SP: Cengage Learning.
- Gartner, G. (2018). *Conferência Gartner Infraestrutura de TI*. Recuperado de <https://www.gartner.com/pt-br/conferences/la/infrastructure-operations-cloud-brazil/why-attend>, 12 ago. 2018.
- Gemalto. (2018). *Líder Mundial em Segurança Digital*. Recuperado de <https://www.gemalto.com/brasil>. Acesso em: 10 set. 2018.
- Gil, A. C. (2016). *Como elaborar projetos de pesquisa* (4a ed.). São Paulo, SP: Atlas.
- Gomes, G., Martinho, J., Bernardo, M., Matos, F., & Abrantes, P. (2012). Dificuldades na aprendizagem da programação no ensino profissional–perspectiva dos alunos. In: *Lisboa: Atas do II Congresso Internacional TIC e Educação* [S.l.: s.n.].

- Gordon, S. (1990). From slaughterhouse to soap-boiler. Cincinnati's Meat Packing Industry, changing technologies, and the rise of mass production, 1825 – 1870. IA. *The Journal of the Society for Industrial Archeology*, 16(1), 55-67.
- Grudtner, L. D. (2017). *Segurança no contexto de IoT e Fog Computing*. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Guedes, V. L. S., & Borschivier, S. (2007). Bibliometria: uma ferramenta estatística para a Gestão da Informação e do Conhecimento, em Sistemas de Informação, de Comunicação e de Avaliação Científica e Tecnológica. In: *CINFORM, Encontro Nacional de Sistema de Informação, Salvador*. Recuperado de <http://doi.org/BIBLIOMETRIA>. Acesso em: 10 set. 2018.
- Hardy, C., & Clegg, S. R. (2001). Alguns ousam chamá-lo de poder. In: *Clegg, S. R., Hardy, C., Nord, W. R. Handbook de estudos organizacionais* (Vol. 2, pp. 260-289). São Paulo, SP: Atlas.
- Hayes, R. H., & Wheelwright, S. C. (1979). Link Manufacturing Process and Product Life Cycles. *Harvard Business Review*, 57(1), 133-140.
- Hayes, R. H., & Wheelwright, S. C. (1994). Beyond world class: the new manufacturing strategy. Harvard: *Harvard Business Review*, 1(3), 4-10.
- Hellinger, A., & Seeger, H. (2011). *Cyber-Physical Systems. Driving Force for Innovation in Mobility, Health, Energy and Production*. Acatech Position Paper, National Academy of Science and Engineering, 3(5), 25-26.
- Huang, Y., & Leu, M. C. (2015). *Frontiers of Additive Manufacturing Research and Education*. Recuperado de http://plaza.ufl.edu/yongh/2013NSFAM_WorkshopReport.pdf. Acesso em: 20 dez. 2015.
- IDA. (2012). *Emerging Global Trends in Advanced Manufacturing*. Alexandria, VA.: IDA.
- INTEL. (2018). Big Data-Visão Geral. Recuperado de <https://www.software.intel.com/pt-br/bigdata>> Acesso em: 10 set. 2018.
- International Business Machines. (2015). *Sistemas cyber-físicos e cidades inteligentes*. Recuperado de <https://www.ibm.com/developerworks/br/library/ba-cyber-physical-systems-and-smart-cities-iot/index.html>. 2015. Acesso em: 12 ago. 2018.
- Kang, H. S., Lee, Y. J., Choi, S., Hyun, K., & Pink, H. J. (2016). Smart manufacturing: past research, present findings, and future directions. *International Journal of Precision engineering and manufacturing green technology*, 3(1), 111-128.
- Kirner, C. (2006). *Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual Aumentada*. Recuperado de http://www.ckirner.com/download/capitulos/Fundamentos_e_Tecnologia_de_Realidade_Virtual_e_Aumentada-v22-11-06.pdf. Acesso em: 12 ago. 2018.

- Koren, Y. (2010). *The global manufacturing revolution: product-process- business integration and reconfigurable system*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). *Industry 4.0. Business & Information Systems Engineering*, 6(4), 239. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>. Acesso em: 10 set. 2018.
- Lee, J., Kao, H. A., & Yang, S. (2014). *Service Innovation and Smart Analytics for Industry 4.0 and Big Data Environment* (Vol. 16, pp. 3-8). Procedia CIRP. University of Cincinnati.
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. A. (2014). *Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing Systems*. Science Direct, Manufacturing (pp. 18-23). Published by Elsevier Ltd.
- Lee, J. Y. (2016). Smart Manufacturing: Past research, present findings, and future directions. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology*, 3(1), 111-128.
- Mascarenhas, L. N., & Pilan, R. (2016). Utilização do Big Data Analytics na educação. In: *Jornada Científica e Tecnológica*, 5. São Paulo: Fatec.
- Microsoft. (2018). *O que é computação em nuvem*. Recuperado de <https://azure.microsoft.com/pt-br/overview/iot/>. Acesso em: 10 set. 2018.
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook* (2a ed.). Thousand Oaks: Sage.
- Ministério da Economia. (2018). Portaria nº 2.091/SEI de 17 de dezembro de 2018. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, ano 244, p. 144, 20 dez.
- Mintzberg, H. (2006). *Safari de Estratégia: um roteiro pela selva do planejamento* (2a ed.) Porto Alegre: [s.n].
- Moraes, M. (2017). *SXSW 2017: para a Ford, future do transporte pode- ou não – incluir os carros*. Estadão, Link, 16 mar. 2017. Recuperado de <http://link.estadão.com.br/noticias/inovação,sxsw-2017-para-a-ford-futuro-do-transporte-pode-ou-nao-incluir-os-carros,70001702403>. Acesso em: 8 nov. 2018.
- Moran, M. R., Souza, F. F. D. A., Boaventura, J. M. G., Marinho, B. D. L., & Fischmann, A. A. (2010). Alianças estratégicas: uma análise bibliométrica da produção científica entre 1989 e 2008. *Revista de Ciência da Administração*, 12(27), 63-85. Recuperado de <http://doi.org/10.5007/2175-8077.2010v12n27p63>.
- Mourtzis, D. (2015). Cloud-based integrated shop-floor planning and control of manufacturing Operations for mass customization. In *9th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering*. Procedia CIRP 33, 9-16.
- Noldin Jr., J. H. (2002). *Contribuição ao estudo da cinética de redução de briquetes auto-redutores* (Dissertação de Mestrado em Engenharia Metalúrgica, Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de

Janeiro).

Oliveira, D. (2009). *Administração Estratégica na prática: a competitividade para administrar o futuro das empresas* (6a ed.). São Paulo, SP: Atlas.

Oliveira, L., Martinez, M., Kuehme, B., & Batista, B. (2017). *Arquitetura Baseado em Computação Nevoa para Sistemas de Gerenciamento Inteligente de Água*. Bahia: Universidade Federal da Bahia.

Opus Software. (2015). *Computação em nuvem*. São Paulo: [s.n].

Oracle. (2013). *Big Data Analytics: Advanced Analytics in Oracle Database*. An Oracle White Paper (pp. 1-13), mar. 2013. Recuperado de <<https://www.oracle.com/br/big-data/index.html>> Acesso em: 10 set. 2018.

Patton, M. Q. (1999). *Qualitative Evaluation and Research Methods*. London: Sage.

Pfeifer, S. (2017). *The Vision of Industry 4.0 in the Making – a Case of Future Told, Tamed and Traded*. *NanoEthics*, 11(1), 107-121. jan. 2017. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5383681/>. Acesso em: 8 nov. 2018.

Pine, B. J. (1993). Mass Customization. *Harvard Business School*, 1(1), 111-116.

Porter, M. (1980). *Competitive Strategy*. New York: Free Press.

Porter, M. (1989). *Vantagem competitiva: criando e sustentando um desempenho superior*. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier.

Posada, J., Toro, C., Barandiaran, I., Oyarzun, D., Stricker, D., Amicis, Pinto, E. B., Eisert, P., Dollner, J., & Vallarino, I. (2015). *Visual computing as a key enabling technology for industrie 4.0 and industrial internet*. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 35(2), 26-40. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1109/MCG.2015.45> Acesso em: 10 set. 2018.

PROOF. (2018). *Business Driven Security*. Recuperado de https://www.proof.com.br/#av_section_2. Acesso em 20 de set de 2018.

QR CODE. (2018). Recuperado de <https://stockphotos.com.br>. Acesso em: 10 ago. 2018.

Revolução Industrial Inglesa. (1999). Recuperado de <https://www.todamateria.com.br/revolucao-industrial-inglesa/> acesso em: 25 jun2019.

Salerno, M. S., & Zancul, E. (2017). *O Brasil e a nova onda de manufatura avançada*. *CEBRAP*, 36(3), nov. 2017.

Santos, S. (2018). *Introdução a IoT: desvendando a Internet das coisas*. [S.l.]: Editora SS Trader Editor.

Santos, W. E., (2014). *Robótica Industrial: Fundamentos, tecnologias, programação e simulação*. São Paulo, SP: Erika.

- SAP. (2018). *Estratégia e solução de SAP para internet das coisas*. Recuperado de <https://www.sap.com/brazil/products/supply-chain-iot/iot.html> Acesso em: 10 set. 2018.
- SAS. (2018). *Big Data Analytics: O que é e qual sua importância?* pp. 1-12. Set. 2018. Recuperado de https://www.sas.com/pt_br/insights/analytics/big-data-analytics.html; Acesso em: 10 set. 2018.
- SCOPUS. (2018). *Base de Pesquisa*. Recuperado de <https://www-scopus.ez67.periodicos.capes.gov.br/home.uri>. Acesso em: 10 out. 2018.
- Sergi, B. S. (2015). Strategic Factor Analysis for Industry 4.0. *Journal of Security and Sustainability Issues*, 8(2), 159–169.
- Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. (2018). *Indústria 4.0. Desvendando a Indústria 4.0*. Recuperado de <https://portalead.sp.senai.br/noticia/3614/13288/desvendando-a-industria-40>. Acesso em: 15 set. 2018.
- Severiano Filho, C. (1999). *Produtividade & manufatura avançada*. João Pessoa: Edições PPGEF.
- Serra, F., R., Ferreira, M., Torres, A., & Torres, M. (2014). *Gestão estratégica: conceitos e casos*. São Paulo, SP: [s.n].
- Simon, H. A. (1971). *Comportamento administrativo* (2a ed.). Rio de Janeiro: FGV.
- Skinner, W. (1969). Manufacturing – Missing Link in Corporate Strategy. *Harvard Business Review* (pp. 136-145), may-june.
- Skinner, W. (1974). The Focused Factory. *Harvard Business Review*.
- Skinner, W. (1986). The Productivity Paradox. *Harvard Business Review* (pp. 55-59). jul./ ago.
- Slack, N., Jones, A. B., & Johnston, R. (2009). *Administração da Produção* (3a ed.). São Paulo: Atlas.
- Sousa, F., Machado, J., & Moreira, L. (2010). *Computação em Nuvem: conceitos, Tecnologias, Aplicações e Desafios*. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará (UFC).
- Stevan, J. Leme, & M. Santos, M. (2018). *Indústria 4.0: fundamentos, perspectivas e aplicações*. São Paulo, SP: Érica.
- Superintendência da Zona Franca de Manaus. (2018). Recuperado de <http://site.suframa.gov.br/assuntos/modelo-zona-franca-de-manaus/apresentacao-indicadores-do-pim-ago-2018.pdf>. Acesso em: 3 jan. 2018.
- Teixeira, R., Lacerda, D., Antunes, J., & Veit, D. (2014). *Estratégia de produção. 20 artigos clássicos para aumentar a competitividade*. Porto Alegre: Bookman.

- 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. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.143>. Acesso em: 10 set. 2018.
- Trivinos, A. N. S. (1987). *Introdução à Pesquisa em Ciências Sociais: a pesquisa qualitativa em Educação*. São Paulo, SP: Atlas.
- Valdez, A. C., Brauner, P., Schaar, A. K., Holzinger, A., & Zieflea, M. (2015). Reducing Complexity with simplicity-Usability Methods for Industry 4.0. *In Proceedings 19th Triennial Congress of the IEA. Melbourne, Australia*, RWTH Publications, Germany.
- Vergara, S. C. (2011). *Projetos e relatórios de pesquisa em administração* (13a ed.). São Paulo, SP: Atlas.
- Vogel-Heuser, B., & Hess, D. (2016). CNI. Guest Editorial Industry 4.0 - Prerequisites and Visions. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 13(2), 411–413.
- Von Neumann, J. V., & Morgenstern, O. (1974). *Theory of games and economic behavior*. São Paulo, SP: University Press.
- Voss, C., Tsikriktsis, N., & Frohlich, M. (2002). Case Research In Operations Management. *International Journal of Operations and Production Management*, 22(2), 195-219.
- Wong, K. V., & Hernandez, A. (2012). A Review of Additive Manufacturing. *ISRN Mechanical Engineering*. Article ID: 208760.
- Wu, D., Greer, M. J., Rosen, D. W., & Schaefer, D. (2015). Cloud Manufacturing: Drivers, Current Status, and Future Trends. Proc. of ASME 2013 *International Manufacturing Science and Engineering Conference Collocated with the 41st North American Manufacturing Research Conference*, Paper n°. V002T002A003, 2013.
- Yin, R. K. (2015). *Estudo de Caso: planejamento e métodos* (C. M. Herrera, trad.) (5a ed.). Porto Alegre: Bookman.
- Zezuka, F., Marcon, P., Vesely, I., & Sadjl, O., (2016). *Industry 4.0: an introduction in then phenomenon*. IFAC-Papers, 49(35), 8-12.

APÊNDICE

Apêndice 1: Instrumento de pesquisa



INSTRUMENTO DE PESQUISA

Este questionário é o instrumento da pesquisa de campo sobre **Indústria 4.0** e enquadra-se em uma investigação de tese doutoral na linha de pesquisa em Produção e Operações. O doutorado está sendo realizado pela Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade (FEA) da Universidade de São Paulo (USP) em parceria com a Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e tem como objetivo investigar quais os impactos das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 nas estratégias de operações em empresas do setor eletroeletrônico do Polo Industrial de Manaus. Os resultados obtidos serão utilizados apenas para fins acadêmicos. Ressaltamos que os dados serão mantidos de forma confidencial. Não existem respostas certas ou erradas. Por isso solicitamos que responda de forma espontânea e sincera a todas as questões.

A sua participação é fundamental para o sucesso desta pesquisa.

Obrigado por sua colaboração.

1. Dados do Entrevistado:

Nome.....
 Função.....
 Departamento.....
 Escolaridade.....
 Profissão.....
 Tempo de Trabalho na Empresa.....

2. Dados Sócio Econômico da Empresa:

Nome da Empresa.....
 Origem.....
 Tempo de existência da empresa no Polo de Manaus.....
 Número de Empregados.....
 Produtos Fabricados pela Empresa.....

QUESTIONÁRIO

1) No mundo organizacional tem-se falado no tema “Indústria 4.0” termo este que representa o avanço das empresas industriais através de diversas tecnologias com grande interconectividade. Como gestor em sua empresa, o senhor tem conhecimento sobre o tema Indústria 4.0? Como conheceu?

2) A sua empresa utiliza em suas atividades operacionais algumas das tecnologias habilitadoras relacionadas a Indústria 4.0? como por exemplo:

- Internet of things - IoT
- Big Data
- Cloud
- Autonomus Robot
- Augemented Reality
- Simulation
- Cyber Security
- Cyber Physical System
- Machine to Machine M2M
- Additive Manufacturing
- Outros

Comentários sobre as tecnologias nas atividades da empresa:

3) Em sua empresa o uso de tecnologias habilitadoras relacionadas a Indústria 4.0 refletem em impactos nas atividades de operações / produção como por exemplo impactos em: **Qualidade, Flexibilidade dos processos ou Custos?**

4) Existem impactos relacionados a Indústria 4.0 em relação a **outros aspectos operacionais** em sua organização? Como por exemplo: absenteísmo, segurança, qualificação da mão de obra ou algum outro aspecto?

5) Em relação a tecnologias relacionadas a Indústria 4.0 sua organização observa **oportunidades de melhorias futuras nas atividades de operações / produção** relacionadas a melhorias da **qualidade, flexibilidade, redução dos custos** ou outros aspectos?

Comentários gerais sobre a entrevista:

Entrevista realizada em: ____ / ____ / ____

Horário: _____

Assinatura: _____

Pesquisador: Prof. Me Gilson de Lima Lira

Doutorando USP Universidade de São Paulo / Universidade do Estado do Amazonas – UEA / USP