



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Ciências Aplicadas



WILSON GASPAROTTO STOROLLI

**INDÚSTRIA 4.0 -
MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO GRAU DE MATURIDADE:
COM APLICAÇÃO NO SEGMENTO AUTOPEÇAS
BRASILEIRO**

**INDUSTRY 4.0 -
EVALUATION METHOD OF THE MATURITY DEGREE:
WITH APPLICATION IN THE BRAZILIAN AUTO PARTS
SEGMENT**

LIMEIRA
2020



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Ciências Aplicadas



WILSON GASPAROTTO STOROLLI

**INDÚSTRIA 4.0 -
MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO GRAU DE MATURIDADE:
COM APLICAÇÃO NO SEGMENTO AUTOPEÇAS
BRASILEIRO**

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

Orientador: Prof. Dr. Aníbal Tavares de Azevedo
Coorientadora: Prof^a. Dra. Ieda Kanashiro Makiya

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO WILSON GASPAROTTO STOROLLI, E ORIENTADO PELO PROF. DR. ANÍBAL TAVAREZ DE AZEVEDO

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Ciências Aplicadas
Renata Eleuterio da Silva - CRB 8/9281

St74i Storolli, Wilson Gasparotto, 1961-
Indústria 4.0 - método de avaliação do grau de maturidade : com aplicação no segmento autopeças brasileiro / Wilson Gasparotto Storolli. – Limeira, SP : [s.n.], 2020.

Orientador: Aníbal Tavares de Azevedo.

Coorientador: Ieda Kanashiro Makiya.

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

1. Indústria 4.0. 2. Automóveis - Peças. 3. Maturidade. I. Azevedo, Aníbal Tavares de, 1977-. II. Makiya, Ieda Kanashiro, 1966-. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Ciências Aplicadas. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Industry 4.0 - evaluation method of the maturity degree : with application in the brazilian auto parts segment

Palavras-chave em inglês:

Industry 4.0

Automobiles - Parts

Maturity

Área de concentração: Pesquisa Operacional e Gestão de Processos

Titulação: Mestre em Engenharia de Produção e de Manufatura

Banca examinadora:

Aníbal Tavares de Azevedo [Orientador]

Francisco Ignácio Giocondo César

Mischel Carmen Nevra Belderrain

Data de defesa: 08-04-2020

Programa de Pós-Graduação: Engenharia de Produção e de Manufatura

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: 0000-0002-0260-4452

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/5532643242057327>

Folha de Aprovação

Autor: Wilson Gasparotto Storoli

Título: INDÚSTRIA 4.0 - MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO GRAU DE MATURIDADE:
COM APLICAÇÃO NO SEGMENTO AUTOPEÇAS BRASILEIRO

Natureza: Dissertação

Área de Concentração: Pesquisa Operacional e Gestão de Processos

Instituição: Faculdade de Ciências Aplicadas – FCA/Unicamp

Data da Defesa: Limeira - SP, 08 de abril de 2020.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Aníbal Tavares de Azevedo
Faculdade de Ciências Aplicadas - FCA/Unicamp

Prof. Dr. Prof. Dr. Francisco Ignácio Giocondo César
Faculdade de Ciências Aplicadas - FCA/Unicamp
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo-IFSP

Profª. Dra. Mischel Carmen Neyra Belderrain
Instituto Tecnológico da Aeronáutica-ITA

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

DEDICATÓRIA

*Dedico esse trabalho aos meus ancestrais,
pois sem eles eu não teria chegado até aqui.*

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente ao meu orientador Prof. Dr. Aníbal Tavares de Azevedo pela paciência e sabedoria na orientação deste meu trabalho. Agradeço ainda à minha coorientadora Profa. Dra. Ieda Kanashiro Makiya e ao Prof. Dr. Francisco I. Giocondo César, pelo incentivo, ensinamentos e pelos primeiros passos desta trajetória. Agradeço também aos professores da FCA que sempre me acolheram com muito profissionalismo, conhecimento e paciência.

Agradeço ainda a muitos colegas que compartilharam momentos muito intensos nas aulas, trabalhos e projetos, principalmente aos colegas José Marcelo Palma e Ubiratã Silveira Bueno pelo suporte na coleta do questionário, às empresas consultadas e a todos que colaboraram na realização deste trabalho.

Aos meus pais Olinda e Olímpio pelo dom da vida. Eterna gratidão.

À minha esposa Ângela pela paciência e que, apesar dos momentos de privação que este percurso exigiu, sempre teve palavras de carinho, sabedoria e incentivo.

À minha filha Suzana, da mesma forma pelos momentos de privação, mas na certeza de deixar um legado de muita determinação em busca de meu objetivo.

Agradeço à Deus por todas as pessoas que colocou em meu caminho e por abençoar a realização deste projeto.

EPIGRAFE

“Se você acha que educação é cara, experimente a ignorância!”

Derek Bok

RESUMO

No mundo contemporâneo observa-se grandes mudanças conjunturais, ambientais, sociais e econômicas. Grande parte destas mudanças e impactos são derivadas do início da “4ª Revolução Industrial”, também conhecida como “Indústria 4.0” (I.4.0), que vem promovendo uma disrupção no mundo dos negócios, criando mercados e desestabilizando as formas tradicionais. Sendo a I.4.0 uma abordagem estratégica na integração de sistemas de controle avançados com tecnologia de internet, permitindo comunicação entre pessoas, máquinas, produtos e sistemas complexos, esta Dissertação tem por finalidade, de forma inédita, definir uma metodologia para avaliar o grau de maturidade das indústrias em relação a essa revolução, exercitando um estudo de caso no setor de autopeças brasileiro, o que pode contribuir na sensibilização das sociedades empresarial e governamental, para a iniciativa de ações de adequação, reação e sustentabilidade do setor e, posteriormente, ser avaliado como método a ser aplicado em outros segmentos industriais. No estudo utiliza-se e compara-se os Métodos Monocritério OPM3/Likert e o Multicritério Promethee, onde foram utilizados dados coletados da aplicação de um questionário autoaplicável, através de uma pesquisa do tipo *survey* exploratória-descritiva, submetidos à profissionais da área industrial. O questionário foi elaborado de forma a traduzir conceitos complexos da I.4.0 para uma avaliação prática de suas utilizações. Como principal contribuição deste estudo, foi possível identificar, na amostra realizada, que o setor se encontra em “nível inicial” em sua implementação e, complementarmente pelo método Promethee, foram identificadas ações para melhoria do grau de maturidade no setor, devido ao aumento na visibilidade dos resultados.

Palavras-chave: Indústria de Autopeças, Indústria 4.0, Grau de Maturidade, Estratégia.

ABSTRACT

Big changes in environment, social and economics is noted in the contemporary world. Much of these changes and impacts are from the “4° Industrial Revolution” movement, also known as “Industry 4.0” (I.4.0), which has been promoting a disruption in the business models, creating new markets and destabilizing traditional forms. Being I.4.0 a strategic approach in the integration of advanced control systems with internet technology, allowing communication among people, machines, products and complex systems, this thesis aims in an unprecedented way, to define a method to assess the maturity level industries in relation to I.4.0 implementation, making a case study with an assessment of Brazilian auto parts segment, which can contribute to the awareness of the business and governmental societies, to initiatives of actions of adaptation, reaction and sustainability of the sector and, later, to be evaluated as a method to be applied in other industries. The study uses and compares the Monocriteria OPM3 / Likert and Multicriteria Promethee methods whit data collected from the application of a self-applicable questionnaire, using an exploratory descriptive survey to professionals from the industries. The questionnaire was designed to translate complex I.4.0 concepts for a practical assessment of their uses. As a main contribution from this study, it was possible to identify, in the sample performed, that the sector is in the “initial level” in its implementation and, complementarily by Promethee method, due to the better visibility of the results and analyzes, actions were identified to improve the maturity figure.

Keywords: Auto parts industry, Industry 4.0, Maturity level, Strategy

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Fluxograma do Processo de Pesquisa | 26 |
| Figura 2 - Modelo de escala desenvolvido por Likert | 28 |
| Figura 3 - Relação de Preferência..... | 31 |
| Figura 4 - Fluxo de Saída ou Superação “ ϕ^+ ” | 31 |
| Figura 5 - Fluxo de Entrada (Saída ou Superação com “ ϕ^- ”)..... | 32 |
| Figura 6 - Perfil de uma alternativa | 33 |
| Figura 7 - Funções de Preferência do Promethee | 36 |
| Figura 8 - Matriz “M” dos critérios | 37 |
| Figura 9 - Projeção do GAIA no plano | 38 |
| Figura 10 - Alternativas e critérios no Plano GAIA..... | 39 |
| Figura 11- Ranking do Promethee II (eixos e projeções)..... | 40 |
| Figura 12 - Histórico das 4 Revoluções Industriais..... | 44 |
| Figura 13 - Impacto da I.4.0 no TBL da sustentabilidade | 45 |
| Figura 14 - Série Smart..... | 46 |
| Figura 15 - Sistemas de Integração Vertical e Horizontal..... | 47 |
| Figura 16 - Integração digital “end-to-end” da engenharia | 48 |
| Figura 17 - Proposta de conexão dos 9 princípios da I.4.0..... | 50 |
| Figura 18 - Áreas de aplicação de projetos IoT..... | 52 |
| Figura 19 - O que acontece em um minuto na internet (serviços) em 2018..... | 53 |
| Figura 20 - Integração da TI com TO..... | 54 |
| Figura 21- IoE por Cisco Systems..... | 54 |
| Figura 22 - CPS - Sistema Físico-Cibernético | 55 |
| Figura 23 - Smart Factory..... | 56 |
| Figura 24 - O conceito simulado de rastreabilidade por RFID | 57 |
| Figura 25 - Evolução da Confiabilidade na Manutenção | 58 |
| Figura 26 - Exemplo de uso de AGV na indústria | 59 |
| Figura 27 - Exemplo de uso de Realidade Aumentada na indústria..... | 59 |
| Figura 28 - Exemplo de aplicação da Realidade Virtual na indústria | 60 |
| Figura 29 - Estrutura do Big Data | 61 |
| Figura 30 - Exemplo do modelo do <i>Big Data Analytics</i> | 63 |

| | |
|---|-----|
| Figura 31 - Exemplo de Manufatura Aditiva (Impressão 3D)..... | 63 |
| Figura 32 - Comparativo de abordagem “Indústria 3.0 X Indústria 4.0” | 65 |
| Figura 33 - Economias Linear e Circular | 66 |
| Figura 34 - Interações do MRP & Scheduling | 68 |
| Figura 35 - Arquitetura e interações do MES..... | 69 |
| Figura 36 - Indicadores do MES em análise com dados informados diretamente das máquinas.. | 69 |
| Figura 37 - Arquitetura e interações do SCM | 70 |
| Figura 38 - Exemplo de Arquitetura e interações do PMS..... | 71 |
| Figura 39 - Arquitetura e interações do CRM | 71 |
| Figura 40 - Exemplo de produtos sendo identificados em portal de leitura por RFID..... | 73 |
| Figura 41 - Exemplo de Robô colaborativo interagindo | 74 |
| Figura 42 - Exemplos de sistemas digitais portáteis (celulares e tablets) na indústria..... | 74 |
| Figura 43 - Figura 43 - Impacto da I.4.0 na matriz energética | 76 |
| Figura 44 - ERP e interações com os processos da organização | 77 |
| Figura 45 - Exemplo de simulação de desenvolvimento de produto..... | 78 |
| Figura 46 - Exemplo de simulação de processos de manufatura..... | 79 |
| Figura 47 - Gerenciamento do Ciclo de Vida de Produto | 80 |
| Figura 48 - Balança comercial do segmento autopeças brasileiro | 84 |
| Figura 49 - Grau de Maturidade de cada empresa..... | 90 |
| Figura 50 - Grau de Maturidade por tecnologia de cada empresa..... | 91 |
| Figura 51 - Grau de Maturidade por área (depto.) de cada empresa | 92 |
| Figura 52 - Frequência acumulada por faixa de pontuação das empresas por área (depto.)..... | 95 |
| Figura 53 - Frequência acumulada por faixa de pontuação das empresas por tecnologia..... | 95 |
| Figura 54 - Localização das empresas..... | 96 |
| Figura 55 - Porte das empresas..... | 96 |
| Figura 56 - Cargos dos profissionais respondentes | 97 |
| Figura 57 - Formação educacional dos respondentes..... | 97 |
| Figura 58 - Área ou departamento dos respondentes | 98 |
| Figura 59 - Nível de conhecimento dos conceitos I.4.0 | 99 |
| Figura 60 - País de origem do capital financeiro das empresas..... | 99 |
| Figura 61 - I.4.0 no Planejamento estratégico | 100 |

| | |
|---|-----|
| Figura 62 - Percepção de competitividade | 100 |
| Figura 63 - Uso de incentivo governamental..... | 101 |
| Figura 64 - Representação gráfica dos grupos no Plano GAIA por área ou depto..... | 107 |
| Figura 65 - Representação gráfica dos grupos no Plano GAIA por tecnologia | 110 |
| Figura 66 - Índices Promethee x Índice OPM3/Likert (escala -1+1) por área (depto.)..... | 111 |
| Figura 67- Índices Promethee x Índice OPM3/Likert (escala -1+1) por tecnologia | 112 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 - Pesquisa Bibliométrica | 23 |
| Tabela 2- Estado de maturidade na adequação da Indústria 4.0..... | 29 |
| Tabela 3- Classificação das Empresas segundo o número de empregados | 67 |
| Tabela 4 - Pontuação estratificada por área ou depto. das empresas respondentes (A-S)..... | 87 |
| Tabela 5 - Pontuação estratificada por tecnologia das empresas respondentes (A-S)..... | 88 |
| Tabela 6 - Média das questões sobre Manufatura – pontuação original | 88 |
| Tabela 7 - Média das questões sobre Manufatura – pontuação convertida (normalizada)..... | 89 |
| Tabela 8 - Média das questões sobre IoT – pontuação original | 89 |
| Tabela 9 - Média das questões sobre IoT – pontuação convertida (normalizada) | 89 |
| Tabela 10 - Cálculo do coeficiente alfa (α) de Cronbach..... | 93 |
| Tabela 11 - Consistência do coeficiente alfa (α) de Cronbach..... | 94 |
| Tabela 12 - Índices de posicionamento por área ou departamentos | 103 |
| Tabela 13 - Índices de posicionamento por tecnologia | 104 |
| Tabela 14 - Resultados da avaliação por área ou depto. das empresas com o Promethee II..... | 106 |
| Tabela 15 - Resultados da avaliação por tecnologia e atividades das empresas com o Promethee II | 108 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
- ABIPÉÇAS - Associação Brasileira da Indústria de Autopeças
- ACATECH – *National Academy of Science and Engineering* / Academia Nacional de Ciências e Engenharia
- AGV - *Automatic Guided Vehicle* / Veículo Guiado Automaticamente ou Veículo Autônomo
- ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
- AR - *Augmented-Reality* / Realidade Aumentada
- BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
- Bi - Bilhões
- BI - *Business Intelligence* / Inteligência de Negócio ou Inteligência de Mercado
- CAD - *Computer-Aided Design* / Projeto Assistido por Computador
- CAE - *Computer Aided Engineering* / Engenharia Assistida por Computador
- CAM - *Computer-Aided Manufacturing* / Fabricação Assistida por Computador
- CAPP - *Computer Aided Process Planning* / Planejamento de Processo Assistido por Computador
- CD - Centro de Distribuição
- CEP - Comitê de Ética em Pesquisa
- CFD - *Computational Fluid Dynamics* / Dinâmica Computacional de Flúidos
- CNI - Confederação Nacional da Indústria
- COPIN - Conselho Temático Permanente de Política Industrial e Desenvolvimento Tecnológico
- CPS - *Cyber-Physical System* / Sistema Físico-Cibernético
- CRM - *Customer Relationship Management* / Gestão de Relacionamento com o Cliente
- Depto. – Departamento (organizacional)
- EDI - *Electronic Data Interchange* / Intercâmbio Eletrônico de Dados
- EDM - *Electronic Document Management* / Gerenciamento Eletrônico de Documentos
- Eixos 2D – Eixos 2 Dimensões
- ERP - *Enterprise Resource Planning* ou Sistema de Gestão Integrado
- FEA - *Finite Element Analysis* / Análise de Elemento Finito
- FMS - *Flexible Manufacturing System* ou Sistema Flexível de Manufatura

FOB - *Free On Board* / Livre no Embarque

GAIA - *Graphical Analysis for Interactive Aid* / Análise gráfica para ajuda interativa

GED - Gestão Eletrônica de Documentos

GHz – *Giga Hertz* (1.000.000.000 Hertz)

GM - *General Motors Corporation* / Empresa Automobilística dos Estados Unidos da América

HF - *High Frequency* / Alta Frequência

I.3.0 – Indústria 3.0

I.4.0 – *Industrie 4.0* / *Industry 4.0* / Indústria 4.0

IA - Inteligência Artificial

ICT - *Information and Communication Technology* / TIC - Tecnologia da Informação e Comunicação

IEEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineers* / Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos

Impressão 3D – Impressão em 3 Dimensões

IoD - *Internet of Data* / Internet de Dados

IoE – *Internet of Everything* / Internet de Todas as Coisas

IoP – *Internet of People* / Internet de Pessoas

IoS - *Internet of Services* / Internet de Serviços

IoT - *Internet of Things* / Internet das Coisas

Kbps – *Kilo bit* por segundo (1.000 bits por segundo)

KHz – *Kilo Hertz* (1.000 Hertz)

KPI's - *Key Performance Indicators* / Indicadores Chaves de Performance

LF - *Low Frequency* / Baixa Frequência

mA – Miliampere (0,001 Ampere)

MBA - *Master of Business Administration* / Mestre em Administração de Negócios

Mbps - *megabit* por segundo (1.000.000 bits por segundo)

MCDA - *MultiCriteria Decision Analysis* / Análise de Decisão Multicritério

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

MDB - *MultiBody Dynamic* / Dinâmica de Multicorpos

MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

MES - *Manufacturing Execution System* / Sistemas de Execução da Manufatura

MHz – *Mega Hertz* (1.000.000 Hertz)

MRP - *Materials Requirements Planning* / Planejamento de Necessidades de Materiais ou Planejamento dos Recursos de Manufatura

NFC - *Near Field Communication* / Comunicação de Campo Próximo

OEM - *Original Equipment Manufacturer* / Fabricante de Equipamento Original

OPM3 - *Organizational Project Management Maturity Model* / Modelo de Maturidade em Gerenciamento de Projetos Organizacionais

PCP - Planejamento e Controle de Produção

PDM - *Product Data Management* / Gerenciamento de Dados do Produto

P&D - Pesquisa e Desenvolvimento

PIB - Produto Interno Bruto

PLC - *Power Line Communication* / CLP - Controlador Lógico Programável

PLM - *Product Lifecycle Management* / Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto

PMMM - *Project Management Maturity Model* / Modelo de Maturidade em Gerenciamento de Projetos

PMI - *Project Management Institute* / Instituto de Gerenciamento de Projetos

PMS - *Pallet Management System* / Sistema de Gerenciamento de Paletes

PNE - Plano Nacional de Exportações

PROMETHEE - *Preference Ranking Organization METHod for the Enrichment of Evaluations* / Método de Organização de Classificação de Preferência para o Enriquecimento de Avaliações

R&D - *Research and Development* / P&D - Pesquisa e Desenvolvimento

RFID - *Radio-Frequency Identification* / Identificação por Radio Frequência

RH - Recursos Humanos

SB Lab - *Sustainable Business Laboratory* (FCA – UNICAMP) / Laboratório de Negócios Sustentáveis

SCM - *Supply Chain Management* / Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SINDIPEÇAS - Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores

TBL - *Triple Bottom Line*

TI - Tecnologia da Informação

TIC - Tecnologia da Informação e Comunicação

TO - Tecnologia de Operações

TPS - *Toyota Production System* / Sistema Toyota de Produção

UHF - *Ultra-High Frequency* / Frequência Ultra Alta

VR - *Virtual-Reality* / Realidade Virtual

WCM - *World Class Manufacturing* / Manufatura de Classe Mundial

WIFI - *Wireless Fidelity* / Fidelidade Sem Fio ou Rede de Comunicação Sem Fio

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. Introdução..... | 20 |
| 1.1. Justificativa | 21 |
| 1.2. Objetivo | 22 |
| 2. Metodologia | 23 |
| 2.1. Revisão Bibliográfica | 23 |
| 2.2. Fluxo do Processo de Pesquisa | 25 |
| 3. Referencial Teórico | 27 |
| 3.1. OPM3 (<i>Organizational Project Management Maturity Model</i>)..... | 27 |
| 3.2. Escala Likert | 28 |
| 3.3. Promethee / GAIA | 29 |
| 3.3.1. Índice de Preferência Multicritério | 30 |
| 3.3.1.1. Fluxo de saída (superação)..... | 31 |
| 3.3.1.2. Fluxo de entrada (ou saída ou superação com “ φ ” negativo)..... | 32 |
| 3.3.1.3. Os Perfis das Alternativas | 32 |
| 3.3.2. Método Promethee | 33 |
| 3.3.3. Plano GAIA..... | 37 |
| 3.4. Índice Alfa de Cronbach (α) | 40 |
| 3.5. Indústria 4.0 | 43 |
| 3.5.1. Revoluções Industriais | 43 |
| 3.5.2. Definições de Princípio, Técnica e Ferramenta | 48 |
| 3.5.3. Princípios da I.4.0 (<i>Design Principles</i>) | 48 |
| 3.5.4. Técnicas da I.4.0..... | 51 |
| 3.5.5. Ferramentas da I.4.0..... | 58 |
| 3.6. Fundamentação da Proposta de Aplicação | 64 |
| 3.7. Fundamentação do Questionário..... | 66 |
| 3.8. Limitações do estudo | 82 |
| 4. Estudo de Caso | 83 |
| 4.1. Indústria Automotiva Brasileira..... | 83 |
| 4.2. Segmento de Autopeças Brasileiro | 83 |
| 4.3. Proposta de Aplicação do Questionário..... | 85 |

| | | |
|------|---|-----|
| 5. | Resultados e Discussões..... | 86 |
| 5.1. | Análise método OPM3/Likert..... | 86 |
| 5.2. | Cálculo do Alfa de Cronbach (α)..... | 93 |
| 5.3. | Principais Observações..... | 94 |
| 5.4. | Análise pelo Método Promethee..... | 101 |
| 5.5. | Comparações da Análise OPM3/Likert e o Promethee..... | 110 |
| 6. | Considerações Finais..... | 113 |
| 6.1. | Recomendações de Trabalhos Futuros..... | 115 |
| 7. | Referências Bibliográficas..... | 116 |
| 8. | Apêndices..... | 126 |
| 8.1. | Questionário - 1ª parte..... | 126 |
| 8.2. | Questionário - 2ª parte..... | 133 |

1. Introdução

Para avaliar o “grau de maturidade das indústrias” em relação ao conceito da I.4.0, ou 4ª Revolução Industrial, é necessário entender suas definições, evoluções e conjunturas no Brasil e no mundo, bem como entender as conjunturas do avanço da Indústria Automotiva, do segmento de Autopeças e da Sociedade no Brasil e no mundo, já que neste trabalho foi considerado um estudo de caso no setor de autopeças brasileiro.

Revolução Industrial é um movimento de natureza evolutiva da humanidade (GERLITZ, 2015), portanto, ela acontece como um movimento natural de desenvolvimento e não previamente definida através de estratégias específicas para tal.

A 1ª Revolução Industrial aconteceu por volta do ano de 1750 e foi caracterizada pela introdução da mecanização na sociedade agrícola, substituindo a utilização das forças animais e das energias do vento e da água, por motores a vapor movendo teares, locomotivas e navios. A 2ª Revolução Industrial transcorreu a partir de 1870 e foi caracterizada pelo uso da energia elétrica e do petróleo, que propiciaram a introdução da produção em massa, com o pioneirismo de Henri Ford criando a produção em série de automóveis. A 3ª Revolução Industrial iniciou aproximadamente no ano de 1970, com a introdução da informática ou Tecnologia da Informação (TI), a qual teve um crescimento exponencial com o desenvolvimento do microchip em 1971, que por sua vez foi a base do crescimento tecnológico que conhecemos hoje, tais como a robótica, nanotecnologia, telecomunicações, entre outros. Na indústria, o modelo “Taylorista / Fordista” evoluiu para o modelo “Toyotista”, onde a produção em massa torna-se flexível de acordo com a demanda do mercado, mais automatizada e descentralizada (KAGERMANN et al., 2013; CUSTODIO, 2016).

No ano de 2011 iniciou-se na Alemanha um estudo para desenvolvimento de uma estratégia governamental em conjunto com a sociedade industrial e acadêmica local para recuperação de sua liderança tecnológica mundial. O estudo foi cunhado originalmente com o nome de “*Industrie 4.0*”, na língua alemã. Neste contexto, foi então identificado que a sociedade mundial estava iniciando uma nova Revolução Industrial, a 4ª, que no Brasil está sendo chamada de Indústria 4.0 (I.4.0), e tem como base a completa interconexão de informações do mundo físico com o mundo digital, em tempo real, utilizando-se ao longo de toda cadeia de valor, dos conceitos de *Internet of Things* (IoT), *Internet of Services* (IoS), *Internet of Data* (IoD), *Big Data*, *Smart Factory*, etc. (KAGERMANN et al., 2013), onde temos “o mundo físico conversando com o mundo cibernético através do *Cyber-Physical System* (CPS)” e, no caso das indústrias, transformando-as em *Smart Factories*, ou Fábricas Inteligentes.

A I.4.0, como toda revolução industrial, impacta na forma de produção nas empresas, na economia e na sociedade, possuindo caráter disruptivo, ou seja, produz novos mercados desestabilizando a forma tradicional de realizar negócios. Consigo ela traz desafios e oportunidades, sejam eles científicos, tecnológicos, econômico, social ou político (ZHOU et al., 2015).

A Alemanha está liderando essa nova revolução e definindo padrões, incluindo sistemas de banda larga de internet com grande capacidade, que é uma das bases do conceito I.4.0 (KAGERMANN et al., 2013). Conforme o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior - MDIC (2016), que promove debates com a sociedade brasileira, os Estados Unidos negociam com a Alemanha para intercâmbio sobre o tema e a China se movimenta rapidamente, porém, o Brasil ainda está em fase embrionária se comparada com os países líderes.

Esse contexto nos indica a necessidade de entendimento sobre a temática das Revoluções Industriais e como a I.4.0 poderá impactar nas mencionadas mudanças conjunturais, ambientais, sociais e econômicas, portanto, o método para a definição do grau de maturidade testado no ambiente de autopeças brasileiro através dos modelos *Organizational Project Management Maturity Model - OPM3* (PMI-OPM3, 2013) e pelo método *Preference Ranking Organization Method for the Enrichment of Evaluations – Promethee* (BRANS E MARESCHAL, 1988; 2005) é, de forma inédita, a principal contribuição deste estudo.

1.1. Justificativa

Este tema foi escolhido por ser de grande importância para o cenário industrial brasileiro e, mais especificamente para o setor de autopeças, escolhido para teste neste trabalho, o qual poderá ser largamente afetado, levando-se em conta que este conceito de I.4.0 traz uma expectativa do aumento da competitividade da indústria dos países desenvolvidos. Isso deve ocorrer porque a rentabilidade do negócio vai depender mais do modelo (intensidade e duração) do que do impacto da mão de obra direta, a qual deverá ser cada vez menor no custo final do produto pelo aumento do nível de automação e conectividade (GÄNSSLEN et al., 2015).

Neste trabalho agrega-se o fato de o setor automotivo ser um segmento significativo para a economia brasileira e que vem se retraindo nos últimos anos, conforme análise no referencial teórico. O setor sofre ainda ameaças de novos entrantes com novos modelos de negócios, trazendo soluções de mobilidade diferentes, o que pode impactar também na diminuição do crescimento do segmento. Outro fator que pode frear o desenvolvimento do setor é o grande investimento necessário para o desenvolvimento de veículos autônomos e híbridos. As inerentes incertezas quanto a segurança, também vêm diminuindo a atração de novos compradores de veículos. Outra ameaça é a mudança comportamental das novas gerações Y e Z, gerações estas nascidas a partir das décadas de 1980 e 1990, que buscam esses novos modelos de mobilidade mais inteligentes e sustentáveis, portanto, isso representará uma pressão adicional para a queda nas vendas, o que pode despertar uma necessidade de mudança também no próprio modelo de negócios, focando em alternativas de novos estímulos e novos nichos de mercado para aumentar ou manter a venda de veículos.

Esse contexto nos indica a necessidade de entendimento sobre a situação e tendências do mercado automotivo, foco principal do mercado de autopeças, e como a I.4.0 poderá impactar na competitividade brasileira.

O segmento de autopeças no Brasil por sua vez, teve um crescimento em seu volume de exportações entre 2003 e 2008, depois retraiu em 2009 e 2010, voltando a crescer em 2011, mas desde então, vem decrescendo ano após ano, conforme detalhado no referencial teórico.

Em paralelo à diminuição da competitividade brasileira, os países que estão liderando a introdução da I.4.0 são os maiores importadores do setor de autopeças brasileiro, portanto, aumentando as possibilidades de diminuição destas importações.

Essa rápida análise demonstra que o setor de autopeças brasileiro vem perdendo, significativamente, a competitividade mundial e, como vimos anteriormente, a introdução dos conceitos da I.4.0 deve aumentar a competitividade dos países mais desenvolvidos, portanto, com maiores possibilidades de diminuir o poder de exportação brasileiro, aumentando assim o desafio do setor.

Do exposto, entendemos que definir uma metodologia que possa ajudar a entender o grau de maturidade da I. 4.0 na indústria, quando aplicado no segmento de autopeças brasileiro,

pode contribuir na sensibilização das sociedades empresarial e governamental, para a iniciativa de ações de adequação, reação e sustentabilidade do mesmo e, posteriormente, ser avaliado como método a ser aplicado em outros segmentos industriais.

1.2. Objetivo

Esta Dissertação tem por objetivo avaliar um método para identificar o Grau de Maturidade das indústrias em relação aos conceitos da I.4.0, por meio do método monocritério OPM3/Likert e pelo Método Multicritério Promethee, demonstrando a complementaridade e um contexto mais apropriado na aplicação dos dois métodos, gerando uma contribuição inédita. Uma vez que o setor industrial brasileiro vem sofrendo consequências pelas graves instabilidades políticas, sociais e econômicas atuais, mas que existe uma expectativa de retomada de desenvolvimento, atraindo assim, novos investimentos (STRACHMAN, 2016), esse trabalho visa criar uma metodologia para dar melhor suporte à orientação desses investimentos em áreas da I.4.0 para o setor industrial e, para tal, o método é testado em um estudo de caso com uma amostragem do setor de Autopeças Brasileiro.

Neste contexto, este estudo busca ainda responder as seguintes questões:

1. Pode-se identificar o grau de maturidade da indústria em relação ao conceito I.4.0, através de um indicador?
2. É possível identificar um diagnóstico com direções de ações para implementar os conceitos da I.4.0?
3. É possível identificar a partir do questionário, se a I.4.0 faz parte do planejamento estratégico das empresas do setor Autopeças Brasileiro e se impactam no indicador proposto?
4. A partir deste estudo é possível as empresas identificarem a existência de política governamental clara em relação a I.4.0?
5. Existe uma percepção de que se utilizando os conceitos da I.4.0, a competitividade da empresa irá melhorar dentro do segmento de Autopeças?

2. Metodologia

2.1. Revisão Bibliográfica

Foi realizada uma revisão bibliográfica exploratória utilizando as bases Capes, *Google Scholar*, *Science Direct*, *Web of Science* e *Scopus*, para identificar os fatores necessários e as tendências para a implementação dos conceitos da I.4.0. Inicialmente foram selecionados 313 artigos, partindo inicialmente com a busca das palavras chaves (Indústria de Autopeças, Indústria 4.0, Grau de Maturidade e Estratégia) e, posteriormente a busca se ampliou também para identificação de temas como “Decisão”, “Técnicas e Ferramentas”, “Pesquisa tipo *Survey*”, sendo que ao final apenas 112 (35,8%) artigos foram mencionados diretamente, conforme indicado na tabela 1, muito embora, cada um deles tenha contribuído de alguma forma para formação de conceitos e ideias deste trabalho.

Desses 313 artigos iniciais, 159 (50,8%) relacionavam-se diretamente ao tema Indústria 4.0, 22 (7,0%) ao tema Grau de Maturidade, 19 (6,1%) ao tema Estratégia, 10 (3,2%) ao tema “Autopeças ou Automobilística”, 7 (2,2%) ao tema “Análise de Decisão (mono ou multicritério)”, 64 (20,4%) ao tema “Técnicas e Ferramentas”, 2 (0,6%) ao tema “Pesquisa-*Survey*” e 30 (9,6%) a outros temas de apoio, tais como “Escala Likert”, “Alfa de Cronbach”, figuras, etc, conforme mostrado na tabela 01.

Tabela 1 - Pesquisa Bibliométrica

| Palavras-chave => | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | X | X | X | X | - |
|-------------------|--|---------------------------------|--|-----------------------|---|---|--|-------------------|--------|--------------------------------|
| Item | Pesquisa Bibliométrica Projeto Dissertação Indústria 4.0 | Indústria 4.0 / Industry 4.0 | Grau de Maturidade / Maturity level | Estratégia / Strategy | Indústria de Auto peças - Automobilística / Auto parts - Automotive | Análise de Decisão / Decision (mono ou multicritério) | Técnica ou Ferramenta / Technics or Tooling | Pesquisa / Survey | Outros | Referenciado na dissertação |
| 313 | <= quantidade total | 159 | 22 | 19 | 10 | 7 | 64 | 2 | 30 | 112 |
| 100% | participação em % => | 50,8% | 7,0% | 6,1% | 3,2% | 2,2% | 20,4% | 0,6% | 9,6% | 35,8% |

Fonte: Próprio autor

Na sequência foi definido um questionário autoaplicável contendo 3 perguntas do tipo aberta e 36 perguntas do tipo de múltipla escolha com resposta única, completando um total de 39 perguntas, para realizar uma pesquisa do tipo *survey* exploratória-descritiva. De acordo com Forza (2002), uma *survey* exploratória-descritiva é aplicada nos estágios iniciais de pesquisa de um fenômeno, para se obter *insights* preliminares e prover base para pesquisas mais profundas, auxiliando na determinação dos conceitos a serem medidos em relação ao fenômeno e como descobrir novas facetas do mesmo, como neste caso, devido a contemporaneidade e modernidade dos conceitos da I.4.0.

Por questões didáticas, foram definidos 5 grupos de questões para a *survey*:

1. No grupo 1 busca-se a identificação do respondente, a formação do profissional, cargo, função, conhecimento do tema, etc, bem como da empresa, seu porte por quantidade de empregados, conforme definição do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas-SEBRAE (SEBRAE – NA / DIEESE, 2013) e por receita operacional bruta, conforme definição do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social-BNDES (BNDES, 2016), considerado mais adequado ao segmento em estudo, sua localização, origem do capital investido, etc.
2. No grupo 2 busca-se identificar uso das principais técnicas e ferramentas da I. 4.0 / *Smart Factory*.
3. No grupo 3 procura-se identificar as principais Estratégias de Negócio no ambiente I.4.0.
4. No grupo 4 procura-se identificar a percepção de mercado quanto ao efeito do conceito da I.4.0 no processo de competitividade mundial.
5. No grupo 5 busca-se identificar o conhecimento e uso de Políticas Governamentais brasileiras de incentivo à aplicação dos conceitos da I.4.0.

O questionário foi submetido à avaliação de um pequeno grupo amostral dentro da academia e de alguns profissionais da indústria, com a finalidade de teste piloto e sua consolidação. O piloto do projeto foi realizado com pessoas de estreito relacionamento acadêmico e pessoal, envolvendo também orientador e coorientadores que são professores, responsáveis pelo “SB Lab¹” da FCA UNICAMP e que também possuem experiência industrial.

Após a consolidação do questionário, ele foi submetido a 150 profissionais de 45 indústrias do setor de autopeças. A submissão do questionário foi realizada através de meio eletrônico, com convite por e-mail e preenchimento pela internet utilizando-se a ferramenta Google-Formulário para a realização da pesquisa.

Em seguida foi estabelecido o critério para avaliar o grau de maturidade da indústria em relação a uma estratégia ou modelo de gestão, onde optou-se conjuntamente pelo modelo monocritério OPM3 e uma escala Likert de 5 pontos (VIEIRA E DALMORO, 2008), bem como o cálculo do “coeficiente alfa (α) de Cronbach” para avaliar a confiabilidade das respostas (GLIEM E GLIEM, 2003; ALMEIDA et al., 2010), identificando-se um índice que seja compatível com a cultura corporativa de *Key Performance Indicators*-KPI’s, ou indicadores de performance, comumente utilizada no segmento, e pelo método Promethee para dar uma interpretação multicritério nos resultados, gerando uma maior visibilidade, principalmente no direcionamento de ações para priorizar investimentos em direção ao aumento do grau de maturidade da I.4.0 no setor.

O questionário foi elaborado de forma a traduzir conceitos complexos da I.4.0 para uma avaliação prática de suas utilizações. Foram utilizados os dois fatores chaves do modelo OPM3, o “domínio” e o “estágio” da I.4.0 no setor de autopeças em estudo, onde verificou-se a abrangência do mesmo, no caso o modelo chamado “*Design Principles*” da I. 4.0 (HERMANN et al., 2015), que ajuda as empresas identificarem pilotos do conceito, quando aplicadas as principais técnicas, ferramentas e estratégias da I.4.0.

Para a quantidade de opções de respostas foi definida a escala Likert de 5 pontos, considerada a mais adequada para a aplicação neste estudo, de caráter múltipla opções de

¹ *Sustainable Business Laboratory* / Laboratório de Negócios Sustentáveis

escolha, onde a pontuação zero (0) corresponde a pontuação mínima definida para uma situação inicial de implementação da I.4.0, ou não existente, ou ainda incapacidade de responder (não sei). Para a definição do índice, a pontuação máxima é de quatro (4), onde considera-se a avaliação de “implementado” para a introdução da I.4.0. As exceções ficaram por conta de duas perguntas relacionadas a Política Governamental e Competitividade da Empresa, cujas opções de respostas para a pontuação zero (0) é “discordo totalmente” e para a pontuação quatro (4) é “concordo totalmente”, todas passando intermediariamente por “discordo”, “índiferente” e “concordo”, além de questões específicas dissertativas, mas sem caráter de influência no índice. Posteriormente a escala “0-4” foi normalizada para “0-1” para melhor compreensão do índice final. Além de questões técnicas foram abordadas também questões sobre estratégias de negócios, incluindo a visão de uso de energia renovável, dimensão de grande importância e impacto da I.4.0, e inclusão do conceito no Plano Estratégico de Negócios e Operacional da empresa entrevistada. Também foi considerada a formação e treinamento dos funcionários das organizações.

Posteriormente o questionário foi subdividido em 2 partes, sendo a primeira um questionário “resumido” contendo um total de 26 questões obrigatórias para os respondentes, e um questionário de “complemento” ao resumido, contendo adicionais 13 perguntas opcionais, que juntas perfazem o total de 39 questões. Neste estudo foram considerados apenas os questionários respondidos por completo (obrigatórias e complemento).

Em seguida realizou-se o cálculo do coeficiente alfa de Cronbach e respectiva análise das respostas. Esta pesquisa transcorreu no ano de 2017.

2.2. Fluxo do Processo de Pesquisa

Na figura 1, é mostrado o fluxo resumido do método de avaliação utilizado na pesquisa.

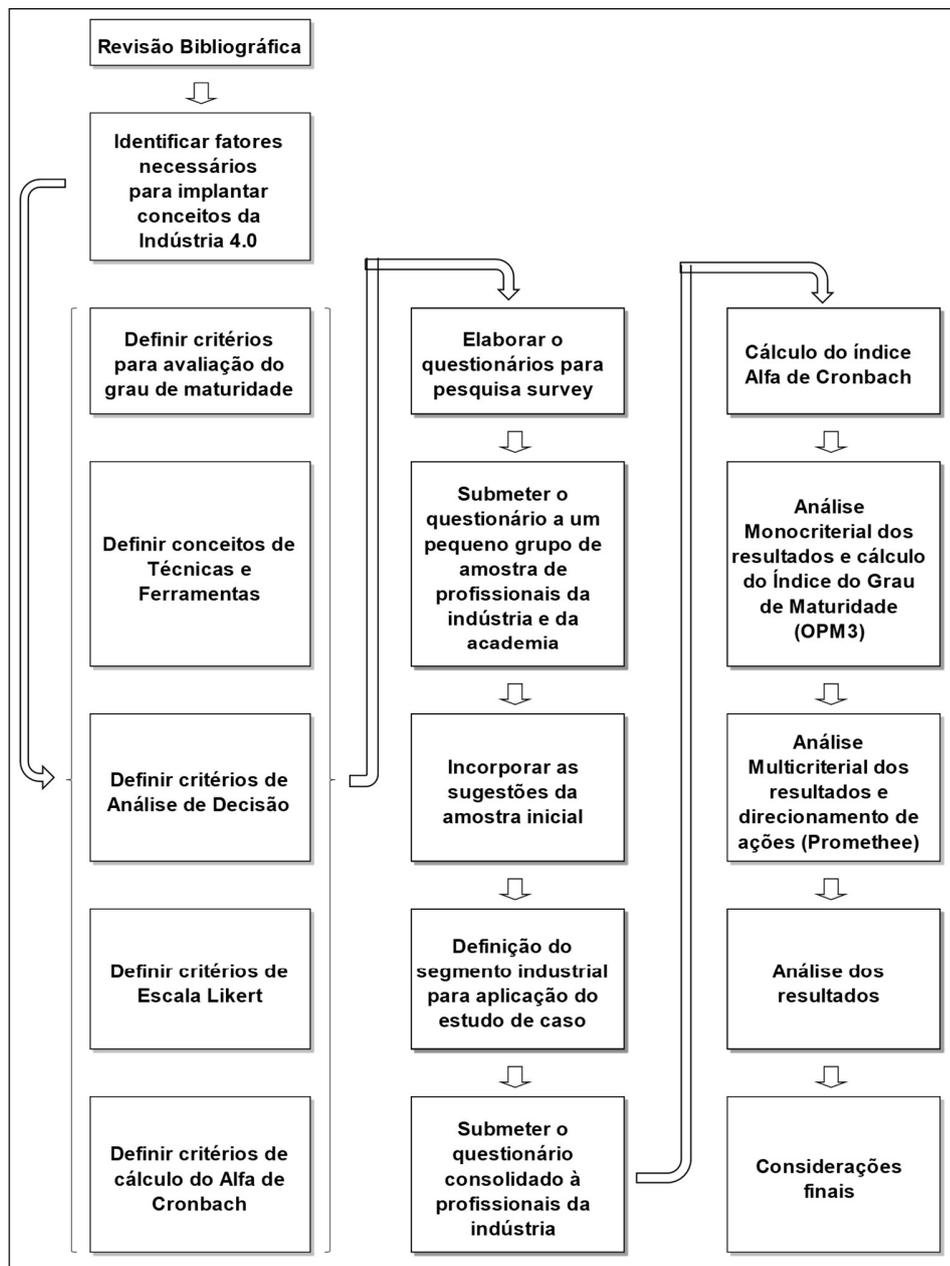
A pesquisa da Revisão Bibliográfica utilizada foi uma *survey* exploratória, quantitativa e descritiva, para identificar os fatores necessários e as tendências para a implementação dos conceitos da I.4.0. Com base na pesquisa foram identificados os fatores necessários para implantar os conceitos da I.4.0 nas organizações e, como subgrupo, definindo conceitos e critérios claros e assertivos para avaliar algumas variáveis adicionais, sendo:

- Critérios para Grau de Maturidade: faixas de medição e pontuação (o que e como medir).
- Conceitos de Técnicas e Ferramentas: definição para facilitar a compreensão e individualização das dimensões utilizadas.
- Critérios de Análise de Decisão: para auxiliar na definição dos critérios do Grau de Maturidade.
- Critérios de Escala Likert: para auxiliar na definição das faixas de medição do Grau de Maturidade.
- Critérios de cálculo do índice do Alfa de Cronbach: para verificação da confiabilidade das respostas.

Definidos os critérios e conceitos, foi elaborado um questionário para poder identificar o nível de aplicação dos conceitos da I.4.0 nas empresas e, para testá-lo, foi submetido a um pequeno grupo amostral de profissionais da indústria e da academia. As experiências, sugestões e recomendações foram analisadas e incorporadas, transformando o questionário inicial na versão final a ser aplicada. Posteriormente foi definido o semento industrial a ser aplicado e realizada a submissão.

Após a coleta dos dados dos respondentes, eles foram então compilados, normalizados, estratificados e foi executado o cálculo de confiabilidade pelo índice de Alfa de Cronbach. Uma vez certificada a confiabilidade dos resultados, foram iniciadas as análises individuais monocriterial (OPM3) e multicriterial (Promethee) e, posteriormente, a análise de congruência dos dois métodos para a definição do índice do grau de maturidade da I.4.0 no setor estudado. Finalmente, na conclusão do estudo foram realizadas as considerações finais, incluindo recomendações para trabalhos futuros.

Figura 1 – Fluxograma do Processo de Pesquisa



Fonte: Próprio autor

3. Referencial Teórico

3.1. OPM3 (*Organizational Project Management Maturity Model*)

De acordo com César (2015), o conceito de “modelo de maturidade” constitui parte da definição de maturidade na área de interesse, que neste projeto utilizamos como base na determinação de critérios no uso das técnicas e ferramentas da I.4.0. O modelo OPM3 de maturidade possibilita que se descreva o processo da organização que pode ser desenvolvido ou melhorado conforme desejável, tais como sua capacidade ou suas práticas. Esse processo pode resultar em um maior envolvimento e maturidade organizacional (PMI, 2013).

Objetivo do OPM3 é fornecer uma maneira para que as organizações compreendam a gerência de projeto organizacional e meçam sua maturidade de encontro a um jogo detalhado e amplamente baseado de melhores práticas organizacionais da gerência de projetos. Também ajuda as organizações que desejam aumentar sua maturidade de gerenciamento de projetos e para planejar o seu desenvolvimento (PMI, 2013).

A aplicação dos modelos de maturidade em gestão de projeto teve início na década de 1990 (FINCHER E GINGER, 1997) e desde então eles vêm sendo utilizados no desenvolvimento do *Project Management Maturity Model* (PMMM). O PMMM tem sido estabelecido como parte formal do corpo de conhecimento em gestão de projetos e tem feito parte da rotina das práticas da gestão de projetos (BROOKES et al., 2014). Nos Estados Unidos, o *Project Management Institute* (PMI) desenvolveu o *Organizational Project Management Maturity Model - OPM3*, onde definiu as melhores práticas e competências e que são mapeadas por dois fatores chave:

- 1- Domínio - refere-se a três áreas a serem abordadas:
 - 1.1. Gerenciamento de projeto,
 - 1.2. Gerenciamento de programa e
 - 1.3. Gerenciamento de portfólio.

2. Estágio - refere-se ao período de desenvolvimento da melhoria do processo. Esse conceito de melhoria tem sido utilizado para tornar processos mais “capazes”, portanto, tornou-se amplamente adotado pelas indústrias e governos como resultado do Movimento pela Qualidade, que fez parte da base dos trabalhos de W. Edwards Deming e Walter Shewart, em 1920. Seus trabalhos se iniciaram com a padronização para a otimização do processo, estabelecendo estágios que deram continuidade ao processo de melhoria, sendo:
 - 2.1. Inicial,
 - 2.2. Padronizado,
 - 2.3. Medido,
 - 2.4. Controlado e
 - 2.5. Melhoria Contínua.

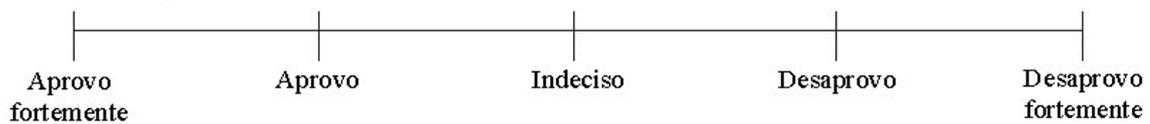
Cada uma das fases subsequentes depende das anteriores (PMI, 2013). No caso deste trabalho, a etapa melhoria contínua fica como possibilidade futura de revisão.

3.2. Escala Likert

Buscando avaliar qual a escala seria mais adequada para executar o questionário do projeto, foi realizada uma pesquisa buscando obter dados sobre a eficiência de sua aplicação no tocante a facilidade, velocidade e precisão de resposta.

Conforme Vieira e Dalmoro (2008), o trabalho pioneiro na construção de escalas de mensuração foi de Rensis Likert publicado em 1932. Posteriormente muitos estudos foram realizados e o próprio Likert aprimorou seu trabalho inicial quando realizou uma redução no número de pontos de escolha, uma vez que inicialmente o sistema de medida era contínuo. Nesta nova proposta de Likert, aos respondentes eram solicitados escolher somente um dos pontos fixos estipulados na escala, a qual continha cinco opções de resposta, desde “aprovo totalmente” até “desaprovo totalmente”, incluindo a opção neutra no ponto médio, dando uma conotação de bidimensionalidade, conforme verificado na figura 2.

Figura 2 - Modelo de escala desenvolvido por Likert



Fonte: Likert (1932), apud Vieira e Dalmoro (2008)

O estudo de Cummins e Gullone (2000), apud Vieira e Dalmoro (2008), corrobora que as propriedades básicas de uma escala tipo Likert contemplam confiabilidade, validade e sensibilidade, o que também foi abordado por Masters (1974), apud Vieira e Dalmoro (2008), cujo trabalho mostra que o aumento do número de categorias utilizadas no questionário aumenta sua consistência interna, e o contrário resulta em uma baixa variabilidade e confiabilidade.

Ainda conforme o estudo de Vieira e Dalmoro (2008), Miller (1956) e posteriormente Wiswanathan, Sudman e Johnson (2004), concluíram que o uso de sete categorias de respostas é o limite para a habilidade humana distinguir e fazer julgamento preciso. Por outro lado, o autor coloca que escalas com poucas categorias de respostas podem distorcer a opinião dos respondentes.

Infelizmente nas pesquisas são encontradas constatações conflitantes, o que reflete a dificuldade em elaborar uma escala confiável com uma métrica que forneça informações mais próximas à realidade. Miller (1956), em seus estudos de ciência cognitiva moderna, considera que há uma limitação em nossa capacidade de processar informação e de memória, e define que a memória de curto prazo é limitada ao “número mágico sete, mais ou menos dois”, ou seja, intervalo de 5 a 9, que ficou conhecido como Lei de Miller. Wiswanathan, Sudman e Johnson (2004), apud Vieira e Dalmoro (2008), colocam como regra geral que o número de categorias de respostas utilizadas em uma escala deve ser entre dois e sete pontos. Já Jenkins e Taber (1977) e Lissitz e Green (1975), ambos apud Vieira e Dalmoro (2008), concluíram por meio de simulações, que escalas de cinco pontos são suficientes, visto que não foi observado um ganho de confiabilidade em escalas com mais pontos.

O estudo menciona ao final que Halpin, Halpin e Arbet (1994), apud Vieira e Dalmoro (2008), sugerem que a melhor opção de escolha para o número de itens na escala depende do conteúdo que a escala pretende mensurar, portanto, pelos motivos expostos

anteriormente, neste projeto fizemos a opção pela escala de 5 pontos, que culminou na elaboração da tabela 2.

Tabela 2- Estado de maturidade na adequação da Indústria 4.0

| Nível | Pontuação (mínima) | Significado |
|--------------------------------|--------------------|---|
| Inicial | 0,00 | Quando não se utiliza ou se utiliza menos de 25% ($X < 25\%$) das ferramentas ligadas ao conceito I.4.0, ou discordo totalmente |
| Em implementação | 0,25 | Quando se utiliza de 25% a menos de 50% ($25\% \leq X < 50\%$) das ferramentas ligadas ao conceito I.4.0, ou discordo |
| Intermediário | 0,50 | Quando se utiliza de 50% a menos de 75% ($50\% \leq X < 75\%$) das ferramentas ligadas ao conceito I.4.0, ou indiferente |
| Em fase final de implementação | 0,75 | Quando se utiliza de 75% a menos de 100% ($75\% \leq X < 100\%$) das ferramentas ligadas ao conceito I.4.0, ou concordo |
| Implementado | 1,00 | Quando se utiliza 100% ($X = 100\%$) das ferramentas ligadas ao conceito I.4.0, ou concordo totalmente |

Fonte: Adaptado de PMI (2013); César (2015); Vieira e Dalmoro (2008) e Hartman (2014)

3.3. Promethee / GAIA

De acordo com Brans e Mareschal (2005), um problema de multicritérios (MCDA²) não pode ser tratado sem informações adicionais relacionadas com as preferências e as prioridades dos tomadores de decisão. As informações solicitadas pelo Promethee e GAIA³ são claras e relativamente fáceis de definir, pois consiste na função de preferência associada a cada critério, bem como pesos que descrevem sua importância relativa.

O Promethee é uma família de métodos, sendo que o Promethee I, que faz um *ranking* (ordenamento) parcial e o Promethee II que faz um *ranking* completo, foram desenvolvidos por J.P. Brans e apresentados pela primeira vez em 1982 em uma conferência organizada por R. Nadeau e M. Landry na Université Laval, Québec, Canadá (*L'Ingénierie de la Décision. Elaboration d'instruments d'Aide à la Décision*). Alguns anos mais tarde, J.P. Brans e B. Mareschal desenvolveram o Promethee III, que faz um *ranking* baseado em intervalos, e o Promethee IV (caso contínuo). Os mesmos autores propuseram em 1988 o módulo interativo

² Multi Criteria Decision Analysis.

³ Graphical Analysis for Interactive Aid

visual do Plano GAIA, que fornece uma excelente representação gráfica apoiando a metodologia Promethee. Posteriormente, em 1992 e 1994, Brans e Mareschal sugeriram duas novas extensões, o Promethee V, que utiliza o MCDA incluindo restrições de segmentação, e o Promethee VI, que simula a representação do cérebro humano.

Segundo os autores, a solução de um problema de multicritérios depende não só dos dados básicos incluídos na tabela de avaliação, mas também do próprio tomador de decisões. Indivíduos interpretam de formas diferentes e nem sempre há consenso e tomam as mesmas decisões. Normalmente não há uma única e melhor solução absoluta, pois ela também depende das preferências individuais de cada um. Conseqüentemente, são necessárias informações adicionais que representem estas preferências para fornecer ajuda de decisão útil ao tomador.

Existem muitos métodos de ajuda à decisão multicritérios, as quais começam a partir da mesma tabela de avaliação, mas variam de acordo com informações adicionais que se associam.

Neste estudo foi escolhido o uso do software Promethee como complemento ao indicador OPM3, pois percebeu-se que seus resultados de ordenamento poderiam dar uma visibilidade diferenciada de diagnóstico e prognóstico de ações, identificando qual área (departamento ou depto.) ou qual tecnologia a empresa analisada deve priorizar na implementação da I.4.0, permitindo também contribuir na identificação das forças, fraquezas e possíveis associações de cada uma das empresas, que por sua vez pode contribuir para as decisões estratégicas das organizações, uma vez que tal implementação pode exigir altos esforços e/ou investimentos que necessitem ser realizados de forma gradativa, equilibrada, consistente e sustentável.

3.3.1. Índice de Preferência Multicritério

Conforme Brans et al. (1986), para uma função de preferência P_i , com peso w_i para cada critério $f_i(i = 1, \dots; k)$, o peso w_i é a medição da importância relativa do critério f_i . Se todos os critérios têm o mesmo grau de importância para o tomador de decisão, então todos os pesos devem ser iguais. O índice de preferência multicritério π é então definido na equação 1, como a média ponderada das funções de preferência P_i .

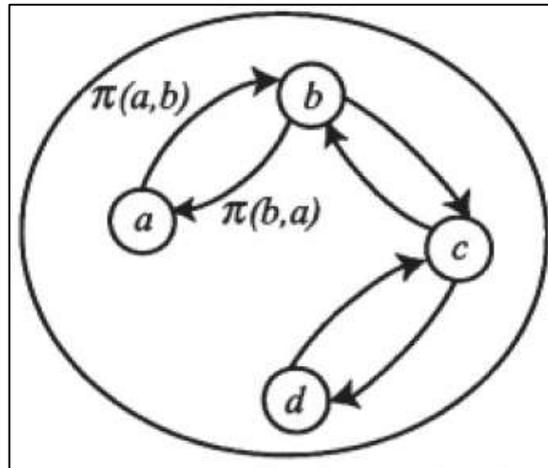
$$\pi(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^k P_i(a, b) w_i}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad (1)$$

onde, $\pi(a, b)$ representa a intensidade de preferência do tomador de decisão da alternativa "a" sobre a alternativa "b", quando considerados simultaneamente todos os critérios, representando o grau de preferência com uma pontuação entre 0 e 1, onde:

- $\pi(a, b) \approx 0$ denota uma preferência global fraca de "a" sobre "b" para todos os critérios, e
- $\pi(a, b) \approx 1$ denota uma preferência global forte de "a" sobre "b" para todos os critérios.

Este índice de preferência determina uma relação de classificação no valor no conjunto K de alternativas. Entre dois nós "a" e "b" (alternativas), há dois arcos com valores para $\pi(a, b)$ e $\pi(b, a)$, sendo que não há relação particular entre eles (figura 3).

Figura 3 - Relação de Preferência



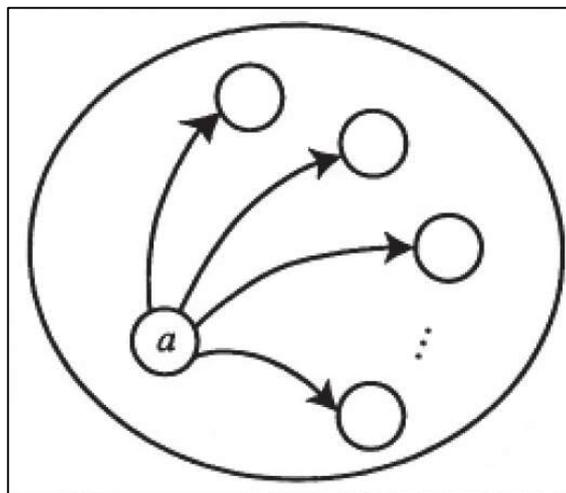
Fonte: Brans e Mareschal (2005)

Para cada nó "a" do gráfico de sobreclassificação, é apresentado um fluxo de saída, um fluxo de entrada e uma medição final do fluxo das alternativas, sendo:

3.3.1.1. Fluxo de saída (superação)

A equação 2 de fluxo de saída, é representado pela soma dos valores dos arcos de saída do nó "a", fornecendo a medição de característica de superação de "a" e na figura 4, verifica-se a representação do fluxo de saída do nó "a".

$$\varphi^+(a) = \sum_{b \in K} \pi(a, b) \quad (2)$$

Figura 4 - Fluxo de Saída ou Superação "φ⁺"

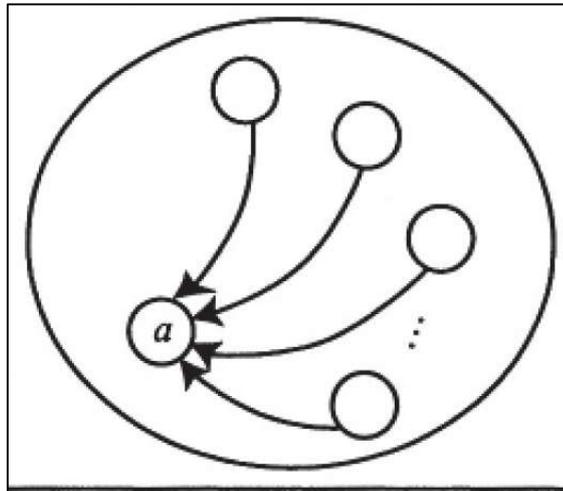
Fonte: Brans e Mareschal (2005)

3.3.1.2. Fluxo de entrada (ou saída ou superação com “ φ ” negativo)

Simetricamente, o fluxo de entrada é representado na equação 3, fornecendo a medição de característica de derrota na comparação do nó "a" com os demais e, na figura 5, verifica-se a representação do fluxo de entrada do nó "a".

$$\varphi^-(a) = \sum_{b \in K} \pi(b, a) \quad (3)$$

Figura 5 - Fluxo de Entrada (Saída ou Superação com “ φ^- ”)



Fonte: Brans e Mareschal (2005)

Então considere a medição do fluxo líquido final, conforme representado na equação nº 4:

$$\varphi(a) = \varphi^+(a) - \varphi^-(a) \quad (4)$$

O fluxo positivo de saída ou superação expressa como uma alternativa "a" supera todas as demais. Quanto maior for o $\varphi^+(a)$, melhor será a alternativa (figura 4). Ao contrário, o fluxo de entrada ou superação negativa expressa como uma alternativa "a" é superada por todas as demais. Quanto menor o $\varphi^-(a)$, melhor a alternativa (figura 5).

3.3.1.3. Os Perfis das Alternativas

Conforme Brans e Mareschal (2005), de acordo com a definição dos fluxos positivos e negativos de saída ou superação (figuras 4 e 5) e da equação 1, temos:

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^k \sum_{x \in A} [P_j(a, x) - P_j(x, a)] w_j. \quad (5)$$

Consequentemente,

$$\phi(a) = \sum_{j=1}^k \phi_j(a) w_j \quad (6)$$

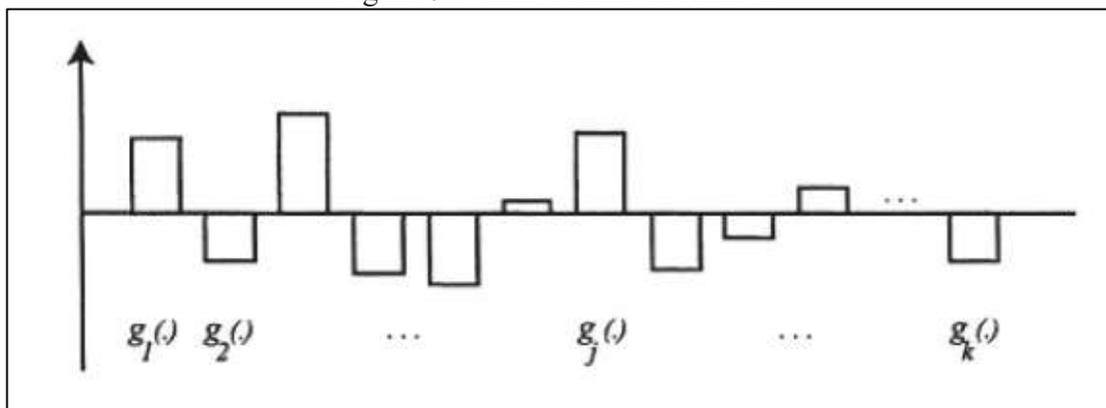
Se

$$\phi_j(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} [P_j(a, x) - P_j(x, a)]. \quad (7)$$

onde, $\phi_j(a)$ é o fluxo líquido de critério único obtido quando apenas o critério “ $g_j(\cdot)$ ” é considerado, ou seja, quando 100% do peso é alocado para esse critério. Expressa como uma alternativa “a” supera ($\phi_j(a) > 0$) ou é superada ($\phi_j(a) < 0$) por todas as demais alternativas no critério “ $g_j(\cdot)$ ”, conforme figura 6.

O perfil de uma alternativa consiste no conjunto de todos os fluxos líquidos de critério, onde: $\phi_j(a), j = 1, 2, \dots, k$.

Figura 6 - Perfil de uma alternativa



Fonte: Brans e Mareschal (2005)

3.3.2. Método Promethee

No método Promethee a estrutura de preferência baseia-se em comparações par-a-par, assim considera-se o desvio entre as avaliações de duas alternativas a um determinado critério e, conforme vimos, variando de 0 a 1, representado matematicamente considerando a função definida por Brans e Mareschal (2005):

$$P_j(a, b) = F_j [d_j(a, b)] \quad \forall a, b \in A, \quad (8)$$

onde,

$$d_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b) \quad (9)$$

e:

$$0 \leq P_j(a, b) \leq 1. \quad (10)$$

E onde também se observa a preferência “ P ” de “ a ” em relação a “ b ” para um dado critério “ g_j ”, e ambos $\in K$, sendo que “ d ” é a amplitude dos desvios dentro de cada critério.

A comparação do critério “ a ” em relação ao critério “ b ” pode ser entendida como:

- Se $P(a, b) = 0$, significa que não há preferência de escolha entre os critérios “ a ” e “ b ”.
- Se $P(a, b) \sim 0$, significa que há fraca preferência do critério “ a ” em relação ao critério “ b ”.
- Se $P(a, b) \sim 1$, significa que há forte preferência do critério “ a ” em relação ao critério “ b ”.
- Se $P(a, b) = 1$, significa que há estrita preferência do critério “ a ” em relação ao critério “ b ”.

Brans e Mareschal (2005) destacam ainda seis formas de classificação conforme representados graficamente na figura 7:

- Formato Usual: ocorre quando não há preferência de escolha entre os critérios “ a ” e “ b ” e ocorrerá somente se $f(a) = f(b)$:

$$P(d) = \begin{cases} 0 & \text{se } d \leq 0 \\ 1 & \text{se } d > 0 \end{cases} \quad (11)$$

- Formato “ U ”: ocorre quando os critérios “ a ” e “ b ” são indiferentes ao decisor desde que não exceda o limite de indiferença “ q ”, mas se exceder haverá preferência estrita de “ a ” em relação à “ b ”:

$$P(d) = \begin{cases} 0 & \text{se } d \leq q \\ 1 & \text{se } d > q \end{cases} \quad (12)$$

- Formato “ V ”: ocorre quando a amplitude do desvio “ d ” é menor que “ p ” e a preferência do tomador de decisão aumenta linearmente com “ d ”, até o ponto em que “ d ” torna-se maior que “ p ”, quando há uma situação de estrita preferência. Teremos então:

$$P(d) = \begin{cases} 0 & \text{se } d \leq 0 \\ d/p & \text{se } 0 \leq d \leq p \\ 1 & \text{se } d > p \end{cases} \quad (13)$$

- Formato em “Níveis”: ocorre quando um limite de indiferença "q" e um limite de preferência "p" são simultaneamente definidos. Se a amplitude do desvio "d" representa um valor entre "q" e "p", então haverá uma situação de preferência fraca [$P(d) = 1/2$]:

$$H(d) = \begin{cases} 0 & \text{se } d \leq q \\ 1/2 & \text{se } q < d \leq p \\ 1 & \text{se } d > p \end{cases} \quad (14)$$

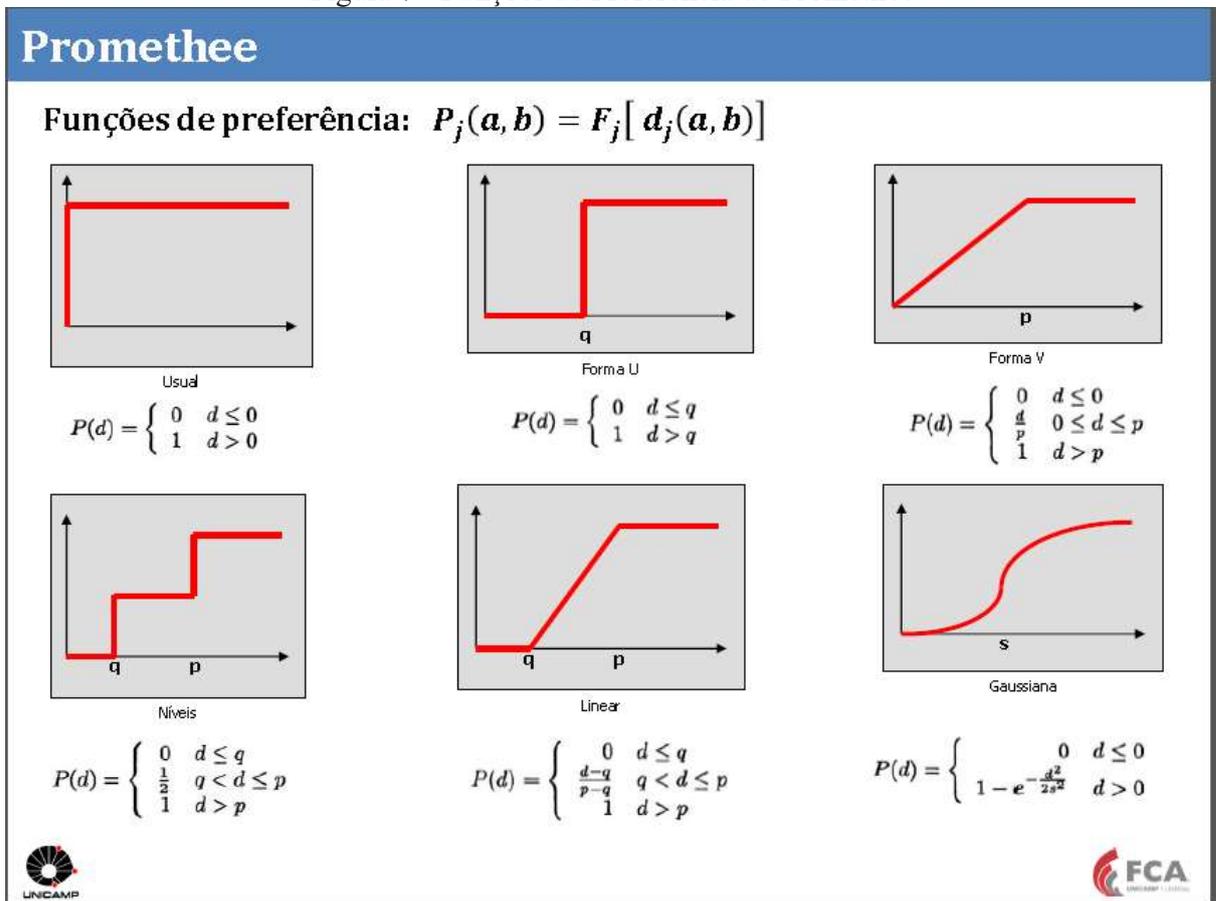
- Formato “Linear”: ocorre quando há um aumento linear passando de indiferença para estrita preferência na área entre os dois limites "q" e "p":

$$P(d) = \begin{cases} 0 & \text{se } d \leq q \\ (d - q) / (p - q) & \text{se } q < d \leq p \\ 1 & \text{se } d > p \end{cases} \quad (15)$$

- Formato “Gaussiano”: ocorre quando somente é necessário determinar o valor de " σ ", que é definido estatisticamente através da distribuição normal, conforme equação 16:

$$P(d) = \begin{cases} 0 & \text{se } d \leq 0 \\ 1 - e^{\left\{-\frac{d^2}{2\sigma^2}\right\}} & \text{se } d > 0 \end{cases} \quad (16)$$

Figura 7 - Funções de Preferência do Promethee



Fonte: Adaptado de Brans e Mareschal (2005)

onde:

“q” é um limiar de não preferência ou indiferença;

“p” é um limiar de preferência rigorosa;

“s” ou “σ” é um valor intermediário entre “q” e “p”;

O limite de indiferença "q" é o maior desvio que é considerado insignificante pelo tomador de decisão, enquanto o limite de preferência "p" é o menor desvio que é considerado suficiente para gerar uma preferência completa.

No software Promethee, o usuário pode introduzir números arbitrários para os pesos, de acordo com a importância relativa dada aos critérios. Estes números são divididos então por sua soma de modo que os pesos sejam normalizados automaticamente.

Avaliar pesos dos critérios não é uma tarefa simples. Envolve as prioridades e percepções do tomador de decisão e quanto maior o peso, mais importante é o critério.

O Promethee não aloca uma utilidade absoluta intrínseca a cada alternativa ou critério, pois os tomadores de decisão não avaliam dessa forma. A estrutura de preferência do Promethee baseia-se em comparações par-a-par, assim considera-se o desvio entre as avaliações de duas alternativas a um determinado critério. Para pequenos desvios, o tomador de decisão vai alocar uma pequena preferência para a melhor alternativa e até mesmo possivelmente nenhuma preferência se ele considerar que este desvio é insignificante. Quanto maior o desvio, maior a

preferência, as quais são definidas com números reais que variam entre “0 e 1” (menor e maior preferência).

3.3.3. Plano GAIA

O módulo interativo visual do Plano GAIA é o conjunto de “n” alternativas representadas como uma nuvem de pontos em um espaço de dimensão “k” e são definidas com base em uma matriz “M” da figura 8, onde os graus de preferência dados pelos critérios generalizados são considerados dentro da matriz. Além disso, os critérios " $g_j(a_i)$ " são expressos em sua própria escala, enquanto o " $\phi(a_i)$ " são adimensionais. Além disso, observemos, que “M” não depende dos pesos dos critérios.

Figura 8 - Matriz “M” dos critérios

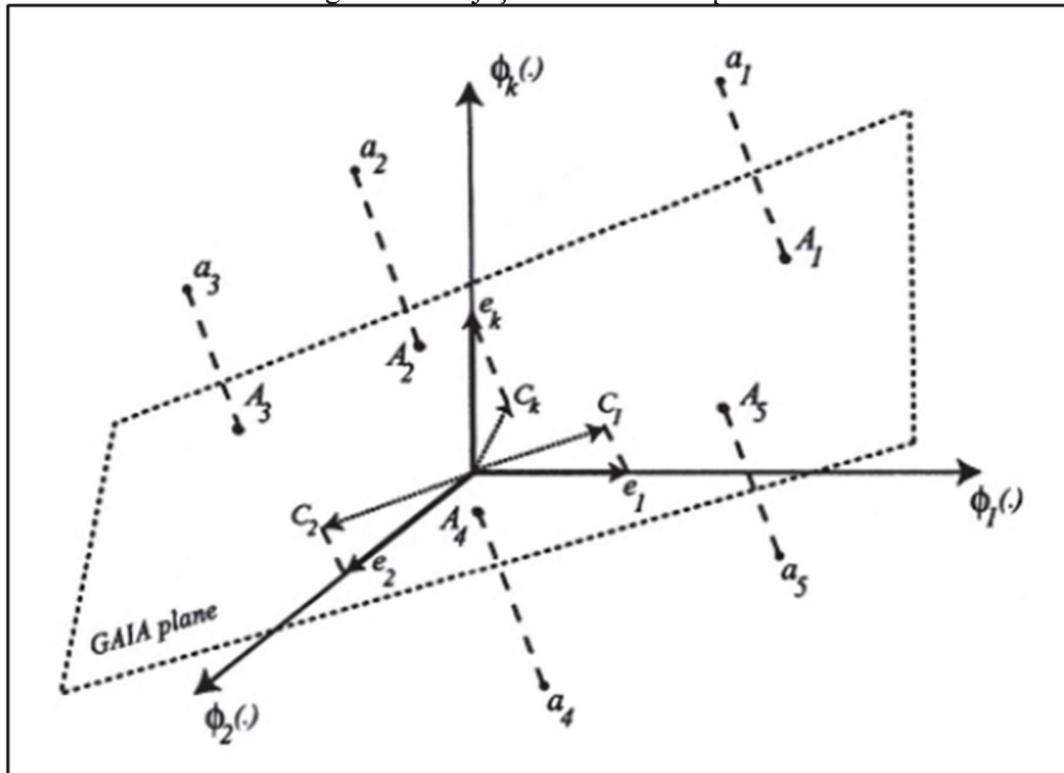
| | $\phi_1(\cdot)$ | $\phi_2(\cdot)$ | ... | $\phi_j(\cdot)$ | ... | $\phi_k(\cdot)$ |
|----------|-----------------|-----------------|----------|-----------------|----------|-----------------|
| a_1 | $\phi_1(a_1)$ | $\phi_2(a_1)$ | ... | $\phi_j(a_1)$ | ... | $\phi_k(a_1)$ |
| a_2 | $\phi_1(a_2)$ | $\phi_2(a_2)$ | ... | $\phi_j(a_2)$ | ... | $\phi_k(a_2)$ |
| \vdots | \vdots | \vdots | \ddots | \vdots | \ddots | \vdots |
| a_i | $\phi_1(a_i)$ | $\phi_2(a_i)$ | ... | $\phi_j(a_i)$ | ... | $\phi_k(a_i)$ |
| \vdots | \vdots | \vdots | \ddots | \vdots | \ddots | \vdots |
| a_n | $\phi_1(a_n)$ | $\phi_2(a_n)$ | ... | $\phi_j(a_n)$ | ... | $\phi_k(a_n)$ |

Fonte: Brans e Mareschal (2005)

Como o número de critérios é geralmente maior do que dois, é incomum obter uma visão clara da posição relativa dos pontos em relação aos critérios, portanto, eles são projetados em planos, mas não apenas os pontos que representam as alternativas, mas também os eixos vetores (*eigenvectors*) que representam os critérios, conforme indicado na figura 9.

O Plano GAIA é aquele que contém a projeção mais completa possível das informações em análise. De acordo com a principal técnica de análise de componentes, é definida pelos dois eixos vetores correspondentes aos dois maiores valores dos eixos vetores da matriz de covariância “M'-M” dos critérios individuais, porém, é possível que algumas informações se percam após a projeção, pois o Plano GAIA é um meta-modelo (modelo de um modelo).

Figura 9 - Projeção do GAIA no plano



Fonte: Brans e Mareschal (2005)

Considerando que $(A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n)$ sejam as projeções dos pontos que representam as alternativas e que $(C_1, C_2, \dots, C_j, \dots, C_k)$ sejam as projeções dos vetores dos eixos de coordenadas dos critérios, obtemos um Plano GAIA do tipo representado na figura 10, onde Brans e Mareschal (2005) interpretam que:

P1: Quanto mais longo um eixo de critério no Plano GAIA, mais impactante o critério.

P2: Critérios expressando preferências semelhantes são representados por eixos orientados aproximadamente na mesma direção.

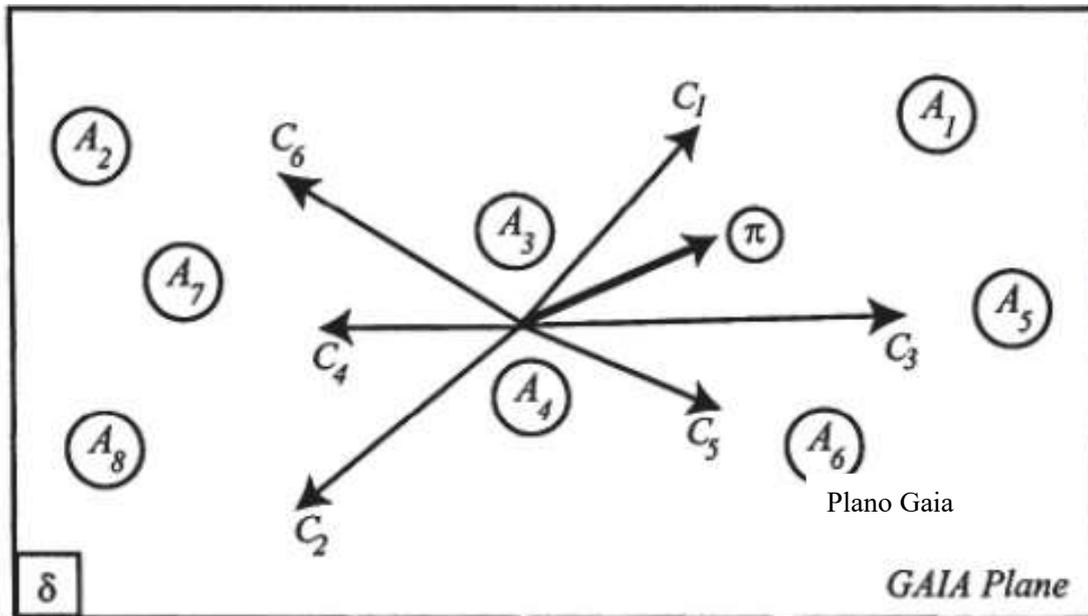
P3: Critérios que expressam preferências conflitantes são orientados em direções opostas.

P4: Critérios que não estão relacionados uns aos outros em termos de preferências são representados por eixos ortogonais.

P5: Alternativas semelhantes são representadas por pontos localizados próximos uns dos outros.

P6: As alternativas que são boas em um critério particular são representadas por pontos localizados na direção do eixo de critério correspondente.

Figura 10 - Alternativas e critérios no Plano GAIA



Fonte: Brans e Mareschal (2005)

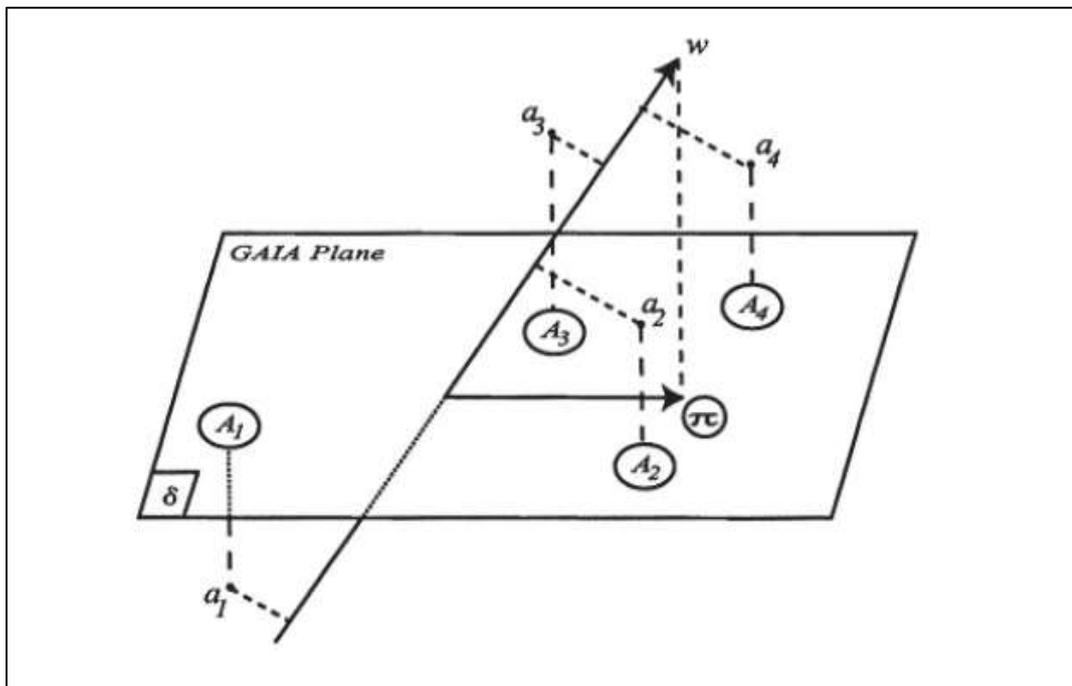
Embora o Plano GAIA inclua apenas uma porcentagem do total de informações, ele fornece uma poderosa ferramenta de visualização gráfica para a análise de um problema de multicritérios. O poder discriminador dos critérios, os aspectos conflitantes, bem como a "qualidade" de cada alternativa sobre os diferentes critérios tornam-se mais claros e visíveis.

O índice Promethee de uma dada alternativa que chamaremos de " a_i " é o produto escalar entre os vetores de seus critérios e pesos individuais. Isso também significa que " a_i " é a projeção do vetor de seus critérios individuais no vetor " w ". Conseqüentemente, as posições relativas das projeções de todas as alternativas em " w " fornece o *ranking* Promethee II, conforme figura 11. Observar que o vetor pode ser representado em 3 planos diferentes, porém, o software calcula qual plano oferece uma melhor qualidade representativa e, de forma didática, representada na figura 10 pelo Plano Gaia.

O vetor " w " desempenha um papel crucial e pode ser representado no Plano GAIA pela projeção do vetor da unidade dos pesos. Considerando π como sendo essa projeção, o chamaremos de eixo de decisão Promethee.

Se "todos os pesos" estiverem concentrados em um único critério, o eixo de decisão Promethee coincidirá com o eixo desse critério no Plano GAIA. Se a projeção π for longa, o eixo de decisão Promethee tem um forte poder de decisão e o tomador de decisão é convidado a selecionar alternativas na medida do possível em sua direção. Em oposição, se π é curto, o eixo de decisão Promethee não tem um forte poder de decisão, pois pode haver pontos conflitantes.

Figura 11- Ranking do Promethee II (eixos e projeções)



Fonte: Brans e Mareschal (2005)

O Método Promethee não define métodos específicos para determinação dos pesos, então assume que o decisor é capaz de defini-lo adequadamente, uma tarefa não muito simples, pois envolve suas prioridades e suas percepções, conforme Brans e Mareschal (2005).

3.4. Índice Alfa de Cronbach (α)

Muitas vezes questiona-se se as informações coletadas em ciências sociais, marketing, medicina e negócios, relativas a atitudes, emoções, opiniões, personalidades e descrição do ambiente de pessoas, são confiáveis. À medida que os indivíduos tentam quantificar construções que não são mensuráveis diretamente, muitas vezes usam escalas de vários itens e classificações somadas para quantificar as construções de interesse. A invenção da escala Likert é atribuída a Rensis Likert (1931), que descreveu uma técnica para a avaliação de atitudes para minimizar a dúvida da confiabilidade dos resultados.

O problema mais fundamental com as medições de item único não é apenas que elas tendem a ser menos válidas, menos precisas e menos confiáveis do que seus equivalentes de vários itens, mas sim que o cientista social raramente tem informações suficientes para estimar suas propriedades de medição. Portanto, seu grau de validade, precisão e confiabilidade são muitas vezes desconhecidos.

Segundo Richardson (1989) apud Almeida et al. (2010), quando não se conhece a validade e a confiabilidade dos dados da pesquisa, podem surgir muitas dúvidas acerca dos resultados obtidos e de suas conclusões.

Hayes (1998) apud Almeida et al. (2010) define a confiabilidade como sendo o grau em que o resultado medido reflete o resultado verdadeiro e qual a variância dos erros aleatórios.

Conforme Gliem e Gliem (2003), muitos invalidam os achados de pesquisas devido à análise inadequada dos dados. Eles demonstram como os erros de análise de dados podem afetar adversamente as inferências que se deseja fazer.

Conforme explicam, o índice alfa de Cronbach (α) é gerado por uma técnica de confiabilidade, que requer apenas uma única submissão de teste para fornecer uma estimativa exclusiva de sua confiabilidade. Trata-se do valor médio dos coeficientes de confiabilidade que se obteria para todas as combinações possíveis de itens quando dividido em dois semitestes.

O coeficiente de confiabilidade alfa de Cronbach normalmente varia entre 0 e 1, no entanto, na verdade, não há limite inferior para o coeficiente. Quanto mais próximo de 1,0, maior a consistência interna dos itens na escala.

Com base na fórmula $\alpha = rk / [1 + (k - 1) r]$, onde “k” é o número de itens considerados e “r” é a média das correlações entre os itens, o valor de alfa é determinado pelo número de itens na escala e as médias de suas correlações. George e Mallery (2003), apud Gliem e Gliem (2003), fornecem uma regra prática de avaliação, onde: “ $\alpha = 0,9 =$ Excelente; $\geq 0,8 =$ Bom; $\geq 0,7 =$ Aceitável; $\geq 0,6 =$ Questionável; $\geq 0,5 =$ Insatisfatório e $< 0,5 =$ Inaceitável”. Embora o aumento do valor de alfa dependa parcialmente do número de itens na escala, deve-se notar que isso tem retornos decrescentes. Os autores também observam que alfa com valor de 0,8 é provavelmente uma meta razoável.

Christmann e Van Aelst (2006), apud Almeida et al. (2010) consideram a medição da confiabilidade para um conjunto de itens como em um teste, encontrando uma série de itens, que pode ser representada de acordo com a Equação 17.

$$Y_j = T_j + \varepsilon_j, \text{ para } j = 1, \dots, k, \quad (17)$$

onde “ T_j ” contém os valores do item verdadeiro não observável, ε_j são os erros associados que são assumidos como independentes das pontuações dos itens verdadeiros e distribuídos com média zero.

A pontuação dos “k” itens é dada pela Equação 18:

$$Y = Y_1 + \dots + Y_k \quad (18)$$

A pontuação verdadeira, mas não observável é dada pela Equação 19:

$$T = T_1 + \dots + T_k \quad (19)$$

O índice de confiabilidade ou consistência “r” do conjunto de itens, dada pela Equação 20, é definida como a razão entre as variâncias dos valores verdadeiros e do total observado:

$$r = \frac{Var(T)}{Var(Y)} \quad (20)$$

Como $Var(T)$ não pode ser calculada diretamente, tornou-se necessário o desenvolvimento de ferramentas para estimar a confiabilidade “r” e, como solução, utiliza-se comumente o “coeficiente alfa (α) de Cronbach”.

De acordo com Leontitsis e Pagge (2007), a principal vantagem do método proposto é que ele pode ser robusto mesmo com valores ausentes, o que frequentemente ocorre na prática. Outra vantagem básica é que ele pode lidar com casos em que a média de uma pergunta é previamente conhecida. Se o pesquisador tem conhecimento prévio da variação de uma questão, então ele deve ajustar a média em conformidade para alcançar a variação desejada.

Eles mencionam que uma desvantagem deste método é que o poder do teste proposto não pode ser medido. Como há expressões analíticas para a distribuição da hipótese nula e para a distribuição da hipótese alternativa, o erro do Tipo II pode ser calculado. A simulação oferece a vantagem de construir a distribuição da hipótese nula com precisão arbitrária, mas não há como simular questionários com os dados que resultam em α predefinido.

Para o cálculo do “coeficiente alfa (α) de Cronbach”, considera-se uma matriz “X” de “n” x “k” correspondente às respostas do questionário e, conforme Almeida et al. (2010), utiliza-se a equação nº 21:

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^k S_i^2}{S_{soma}^2} \right) \quad (21)$$

onde,

“ α ” é o coeficiente alfa de Cronbach,

“k” é o número de itens ou quantidade de perguntas

“ S_i^2 ” é a somatória das Variâncias de cada critério ou questão (colunas da matriz X)

“ S_{soma}^2 ” é a Variância das somatórias dos índices de cada empresa participante (linhas da matriz X)

“n” é o número de respondentes ao questionário

Deve-se observar que “k” e “n” devem ser maiores do que 1, caso contrário haverá o resultado zero no denominador dos cálculos. Em termos práticos, isso significa que se tiver apenas uma pergunta e apenas um critério, a resposta já existe por si só e o cálculo não faz sentido.

O fator “k” da equação é um fator de correção. Se há consistência nas respostas quantificadas, então “ σ_t^2 ” tende a aumentar de valor, fazendo com que o fator alfa tenda a 1. Por outro lado, respostas randômicas farão com que “ σ_t^2 ” seja comparável com a soma das variâncias individuais “ σ_i^2 ”, fazendo com que alfa tenda a zero.

O coeficiente alfa de Cronbach é uma caracterização do padrão de resposta da população analisada, portanto, pode variar de acordo com a aplicação (STREINER, 2003). Ele recomenda como mínimo aceitável o valor de 0,70; abaixo desse valor a consistência interna da escala utilizada é considerada baixa. Em contrapartida, o valor máximo esperado é 0,90, pois acima deste valor pode-se considerar que há redundância ou duplicação, onde vários itens estão medindo exatamente o mesmo elemento de um constructo. Caso ocorra, ele recomenda a eliminação das redundâncias, portanto, acredita que o valor de alfa a ser perseguido deve estar entre 0,80 e 0,90.

3.5. Indústria 4.0

3.5.1. Revoluções Industriais

Para avaliar o “grau de maturidade das indústrias” em relação ao conceito da I.4.0, ou 4ª Revolução Industrial, é necessário entender suas definições, evoluções e conjunturas no Brasil e no mundo, bem como entender as conjunturas do avanço da Indústria Automotiva, do segmento de Autopeças e da Sociedade no Brasil e no mundo, já que neste trabalho foi considerado um estudo de caso no setor de autopeças brasileiro.

Considera-se uma Revolução Industrial “a alteração de sistemas tecnológicos de produção, especialmente nas circunstâncias de trabalho, as quais impacta nas questões econômicas e sociais, refletindo na condição de vida da sociedade e na forma de distribuição da riqueza” (DOMBROWSKI E WAGNER, 2014), ou ainda, é “um movimento tecnológico de inovações “disruptivas”, alterando as características econômicas e sociais” (PFOHL et al., 2015), onde Tecnologia Disruptiva é a inovação que cria um mercado e abala outro já existente. A disrupção sempre é sucedida pela decepção, então a ameaça tecnológica original com frequência parece ridiculamente insignificante (DIAMANDIS, 2017).

Conforme ilustrado na figura 12, a 1ª Revolução Industrial aconteceu por volta do ano de 1750, quando a sociedade era basicamente agrícola, e teve como marco a “mecanização” da produção, até então realizada de forma manual pelo homem, ou pela utilização das forças animais, ou ainda das energias do vento e da água. Um dos principais marcos desta revolução se deu com o desenvolvimento da força a vapor, através de motores movendo teares, locomotivas e navios. (BLOEM et al., 2014; LUKAC, 2015)

A 2ª Revolução Industrial iniciou por volta de 1870 e foi caracterizada pelo uso da energia elétrica e do petróleo, que propiciaram a introdução da produção em massa, com o pioneirismo de Henri Ford que criou a produção em série de automóveis.

A 3ª Revolução Industrial, ou Revolução Técnico-Científica Informacional, iniciou aproximadamente no ano de 1970, com a introdução da informática ou TI (Tecnologia da Informação), a qual teve um crescimento exponencial com o desenvolvimento do microchip em 1971, que por sua vez foi a base do crescimento tecnológico que conhecemos hoje, tais como a robótica, nanotecnologia, telecomunicações, entre outros. Na indústria, o modelo “Taylorista / Fordista” evoluiu para o modelo “Toyotista”, onde a produção em massa torna-se flexível de acordo com a demanda do mercado, mais automatizada e descentralizada (KAGERMANN et al., 2013; CUSTODIO, 2016).

A 4ª Revolução Industrial, que no Brasil está sendo chamada de Indústria 4.0, teve seu nome definido no ano de 2011 na Alemanha, originalmente como “*Industrie 4.0*”, fazendo parte da estratégia governamental e da sociedade industrial e acadêmica local para recuperação de sua liderança tecnológica mundial. O trabalho foi liderado pela “ACATECH - *National Academy of Science and Engineering*” - e conta com diversas definições que evoluem a cada dia:

- “É uma abordagem estratégica para a integração de sistemas de controle avançados com a tecnologia de internet, permitindo a comunicação entre pessoas, produtos e sistemas complexos (ANDERL, 2014)”;
- “É a interconexão de informações em tempo real entre todas as etapas da cadeia de valor do negócio, utilizando-se dos conceitos de *IoT, IoS, IoD & Big Data*, onde temos “o mundo físico conversando com o mundo cibernético através do CPS”, no caso das indústrias, transformando-as em *Smart Factories*, ou Fábricas Inteligentes (adaptado de KAGERMANN

et al., 2013), tendo como características fundamentais a alta conectividade virtual globalizada de Sistemas Inteligentes para o monitoramento e tomada de decisões e onde...

- “...as expectativas dos clientes estão sendo redefinidas em experiências” (SCHWAB, 2016).

Figura 12 - Histórico das 4 Revoluções Industriais



Fonte: Adaptado de Neumann (2016)

A I.4.0, como toda revolução industrial, acarreta impactos na forma de produção nas empresas, na economia e na sociedade, possuindo caráter disruptivo, ou seja, cria “novos” mercados desestabilizando a forma tradicional de realizar negócios. Consigo ela traz também desafios e oportunidades, sejam eles científicos, tecnológicos, econômico, social ou político (ZHOU et al., 2015). Precisamos ainda compreender que a 4ª Revolução Industrial, como as demais, é um movimento de natureza evolutiva da humanidade (GERLITZ, 2015), não dependendo de “modismos” ou “influenciadores”, mas sim utilizando-os como impulsionadores.

A Alemanha está liderando essa nova revolução e definindo padrões, incluindo sistemas de banda larga de internet de grande capacidade, que é uma das bases do conceito I.4.0 (KAGERMANN et al., 2013). Conforme o relatório “Desafios para a I.4.0 no Brasil” da Confederação Nacional da Indústria-CNI (2016), ela está elaborando uma agenda de propostas sobre o tema no âmbito do COPIN⁴. O MDIC⁵ e o MCTI⁶ criaram grupos e promovem debates com a sociedade brasileira, porém, o Brasil ainda está em fase embrionária se comparada com os líderes. Os Estados Unidos em 2014 apresentaram o “*Report to the President - Accelerating U.S. Advanced Manufacturing*” (Relatório para o Presidente – Acelerando a Manufatura Avançada nos Estados Unidos da América), com uma série de medidas para o desenvolvimento das tecnologias associadas à Manufatura Avançada, e propõe também a implementação de um plano estratégico

4 Conselho Temático Permanente de Política Industrial e Desenvolvimento Tecnológico

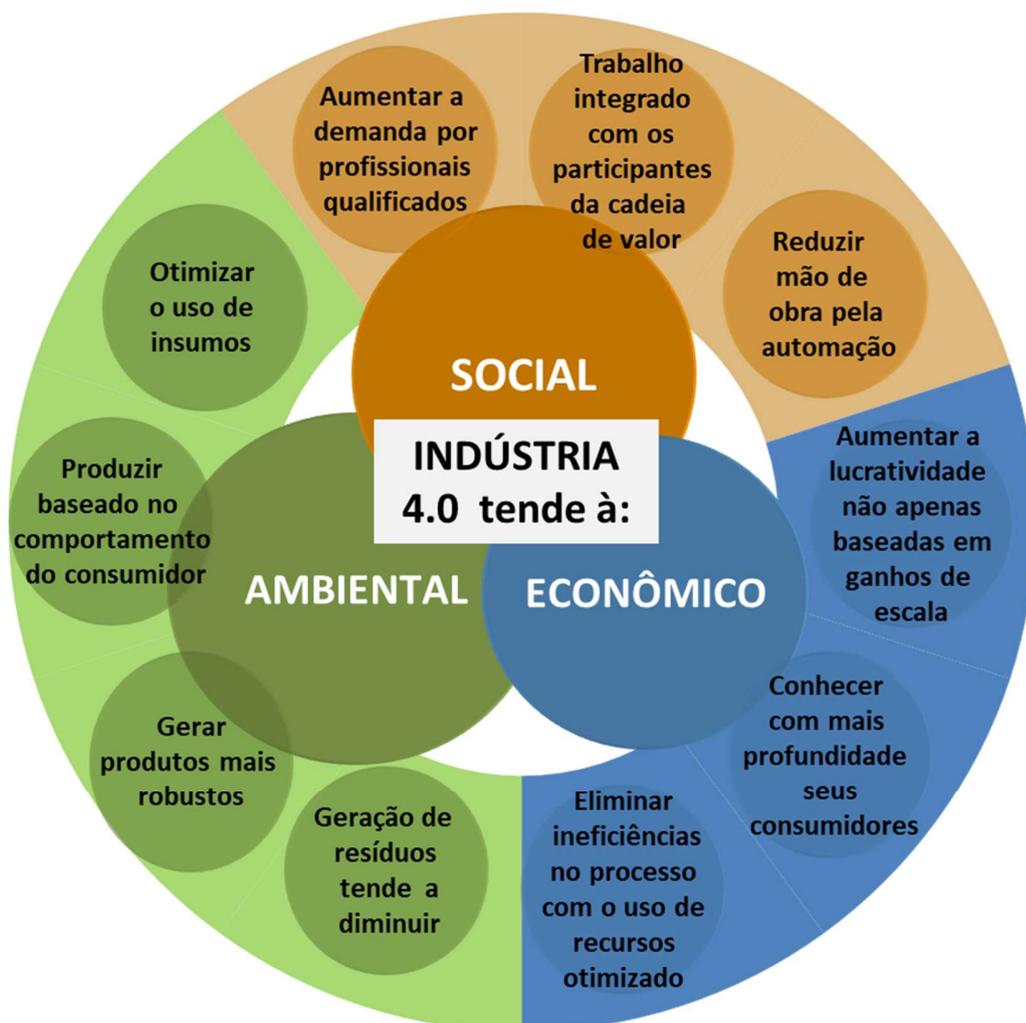
5 Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

6 Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

nacional para I.4.0, e já estão em negociação com a Alemanha para intercâmbio sobre o tema. A China se movimenta rapidamente e o projeto Dragon-Star, também conhecido como China-2025, através de uma cooperação bilateral científica Europa-China, apresenta os conceitos da Indústria 4.0 (sem citá-la) como um dos sete temas emergentes apoiados pelo governo e que compõe as 6 megatendências consideradas (MANTZANAKIS E CHRISTOFILOPOULOS, 2015).

Conforme Lee et al. (2009), a I.4.0 deverá impactar positivamente os três pilares do conceito de sustentabilidade, conhecido como TBL (*Triple Bottom Line*) (SEURING E MULLER, 2008), que define o valor central das empresas que promovem a prática sustentável, através dos ambientes econômico, ambiental e social. Por outro lado, diversas restrições ainda são impostas para que a sustentabilidade avance em todos os níveis, pois a sua busca por soluções necessita de esforços de integração e grandes alterações em produto, processos e no comportamento das pessoas que operam em redes de alta complexidade. Alguns dos impactos estão descritos na figura 13.

Figura 13 - Impacto da I.4.0 no TBL da sustentabilidade

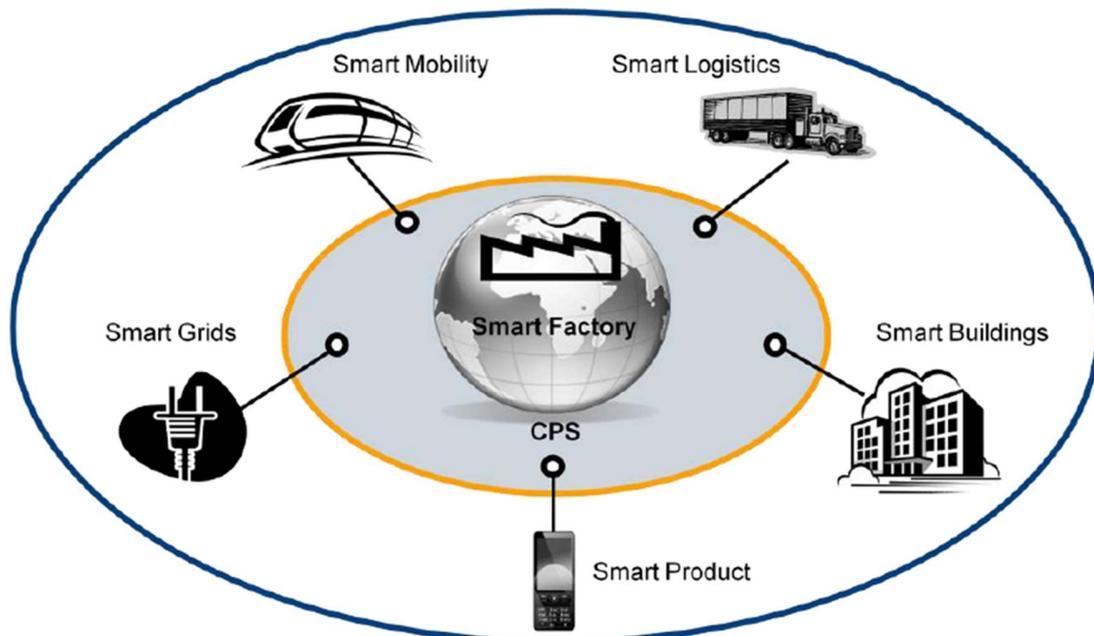


Fonte: SSM (2017)

De acordo com Kagermann et al. (2013), a I.4.0 irá enfrentar muitos desafios, porém, destaca-se que irá abordar e “resolver” alguns dos desafios atuais enfrentados pelo mundo, tais como:

- Recursos e eficiência energética: proporcionará ganhos de produtividade e eficiência dos recursos, diminuição de desperdícios em toda a cadeia de valores.
- Produção urbana: permitirá que o trabalho seja organizado considerando as mudanças demográficas e fatores sociais.
- Evolução demográfica: liderada pela *Smart Factory* está em desenvolvimento a Série “*Smart’s: Smart Mobility, Logistic, Buildings, Product, Grid, Smart Cities, etc* (figura 14).

Figura 14 - Série *Smart*



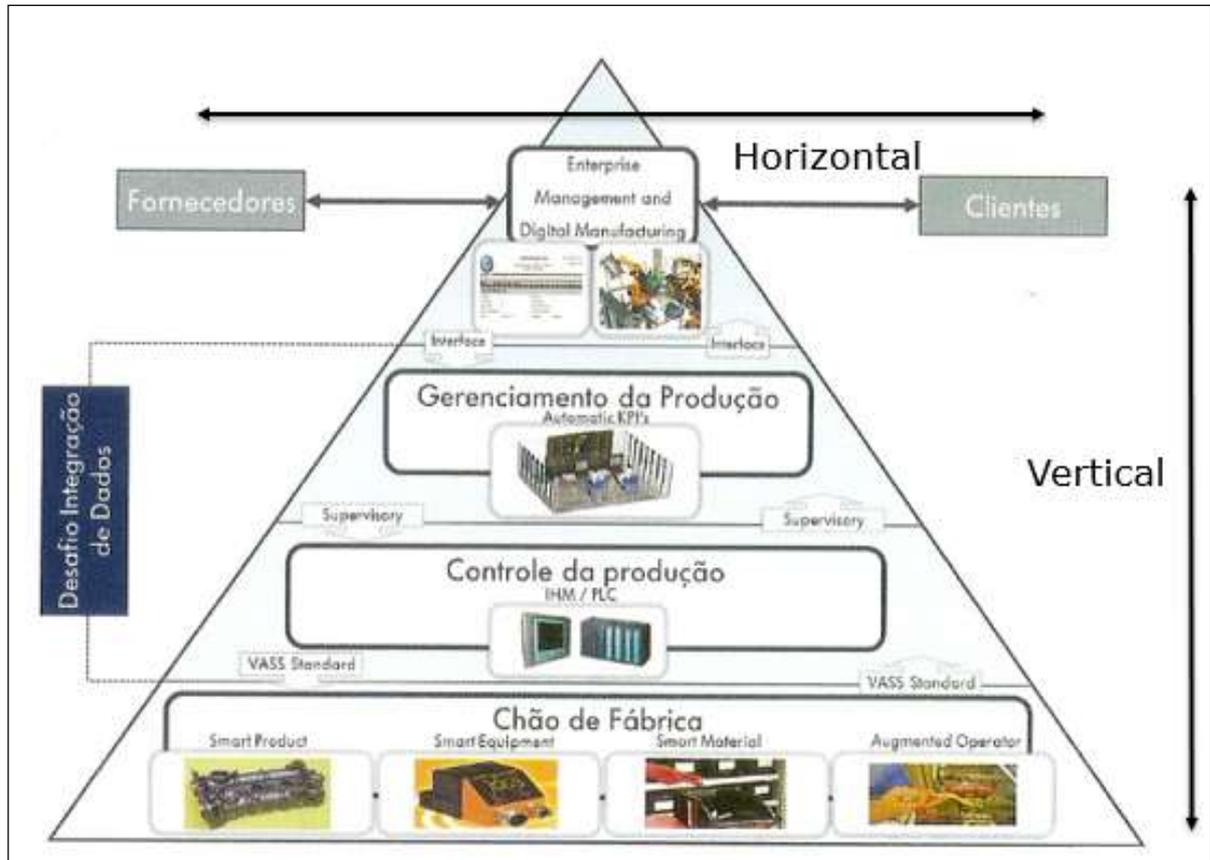
Fonte: Kagermann et al. (2013)

Para enfrentar os desafios do TBL citado, o manual da ACATECH (KAGERMANN et al., 2013) propõe direcionar esforços na implementação de três características fundamentais que norteiam os conceitos da I.4.0:

1. Integração Vertical: é a conexão dos sistemas internos à organização, integrando desde a base da pirâmide, o Chão de Fábrica, o PCP, o Gerenciamento da Produção e a Gerência Geral (figura 15).
2. Integração Horizontal: é a conexão dos sistemas internos com os sistemas externos à organização, em toda cadeia de valor, desde os subfornecedores, fornecedores, o gerenciamento da própria empresa e clientes (figura 15).
3. Integração digital “*end-to-end Engineering*”: é a integração de ponta a ponta durante todo o processo de engenharia, para que os mundos digital e real venham a ser integrados em toda a cadeia de valor do produto e em diferentes empresas, além de incorporar os requisitos do

cliente. Considera-se desde a definição do projeto, seu desenvolvimento, o planejamento de produção, a produção e os serviços finais de venda e assistência. (figura 16).

Figura 15 - Sistemas de Integração Vertical e Horizontal



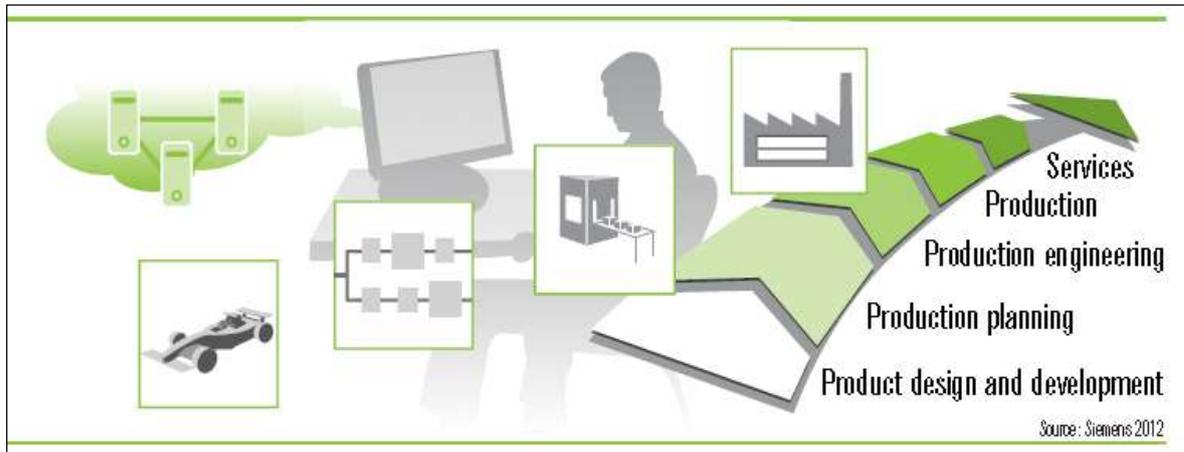
Fonte: Placeres (2016)

De acordo com o manual, somente se conseguirá resultados positivos na era I.4.0 liderando fornecedores e estratégias de marketing de forma coordenada, garantindo que os benefícios potenciais se complementem.

Essas integrações são as chaves para permitir que indústrias conquistem uma situação estável face a alta volatilidade de mercado, flexibilizando a criação de valor como resposta aos seus requisitos.

Na integração Horizontal existe a possibilidade de cooperação com diferentes empresas, viabilizando a implementação sustentável da CPS, protegendo o conhecimento, padronizando estratégias e desenvolvimento de pessoal. Na integração Vertical, a fábrica inteligente do futuro não terá uma estrutura de manufatura fixa e pré-determinada; ela terá uma configuração de TI que permitirá ser usada “caso-a-caso” com um arranjo automático de sua configuração para cada situação (modularidade). Na integração *end-to-end engineering*, o uso de sistemas de modelagem são pontos chaves no gerenciamento da complexidade tecnológica, portanto, requerendo serviços de TIC adequados para compartilhamento em toda cadeia de valor (KAGERMANN et al., 2013).

Figura 16 - Integração digital “end-to-end” da engenharia



Fonte: Kagermann et al. (2013)

3.5.2. Definições de Princípio, Técnica e Ferramenta

Para melhor compreensão das abordagens seguintes, julgamos importante a compreensão da estrutura analítica de alguns conceitos:

- Princípio: significa o início, fundamento ou essência de algum fenômeno. Também pode ser definido como a causa primária, o momento, o local ou trecho em que algo, uma ação ou um conhecimento tem origem (FERREIRA, 1986).
- Técnica: Conjunto de métodos, práticas e processos essenciais à execução perfeita de uma arte ou profissão (HOLANDA, 2010).
- Ferramenta: um recurso que tem uma função clara e bem definida, sendo de uso restrito à sua função (BASU, 2009).

3.5.3. Princípios da I.4.0 (*Design Principles*)

Abaixo temos um resumo da abordagem de Hermann et al. (2015; 2016) para o Desenho dos Princípios da I.4.0 (*Design Principles*):

1. Interoperabilidade: é a capacidade de um sistema de se comunicar de forma transparente com outro sistema, semelhante ou não. Neste questionário o conceito está implicitamente contido nas perguntas que relacionam diversos softwares e programas conversando entre si.
2. Virtualização: é a capacidade de um sistema de monitorar processos físicos de forma virtual, através da digitalização. Importante destacar que de acordo com Lévy (1997), “um texto é um objeto virtual, abstrato, independente de um suporte específico”. Virtual é o conteúdo, independentemente de ser relativo ao mundo digital. O texto, como objeto virtual pode se apresentar em forma impressa em papel ou em forma digital em uma tela de computador. Neste questionário o conceito está implicitamente contido nas perguntas que relacionam uso de sistemas digitais, manutenção preditiva etc.

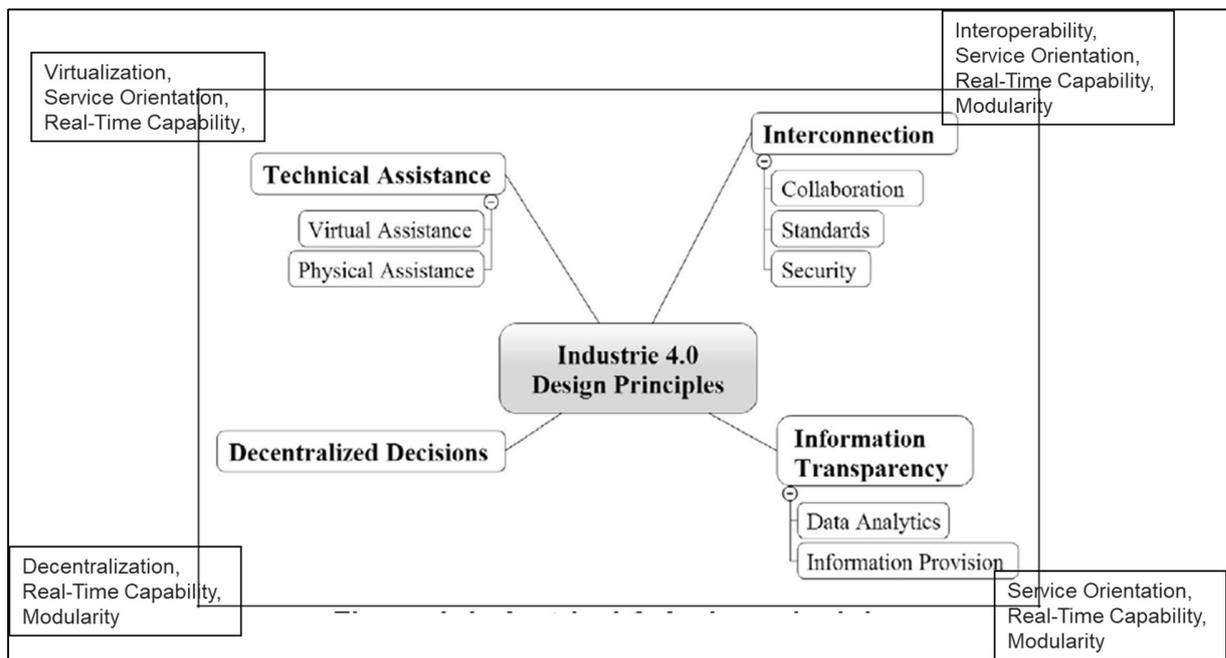
3. Descentralização: é a capacidade de um sistema de tomar decisões próprias, através de computadores embarcados conversando com o sistema CPS. Neste questionário o conceito está implicitamente contido nas perguntas que relacionam sistemas decisórios.
4. Trabalho em Tempo Real: é uma das características da *Smart Factory* (fábrica inteligente), onde a operação é permanentemente rastreada e analisada, reagindo imediata ou rapidamente contra algum desvio, por exemplo, no caso de falhas em máquinas, através de uma manutenção imediata ou desvio do processo para máquina alternativa. Neste questionário o conceito está implicitamente contido nas perguntas que relacionam sistemas de identificação e rastreabilidade, e diversos softwares e programas conversando entre si em tempo real.
5. Orientação a Serviços: é a disponibilidade dos serviços da empresa também para outros participantes do processo, interna e externamente, através da IoS. Neste questionário o conceito está implicitamente contido nas perguntas que relacionam sistemas de compra e venda de produtos e/ou serviços através de portais digitais.
6. Modularidade: significa flexibilidade, baseada em interfaces padronizadas de software e hardware, em se adaptar às mudanças de requisitos, substituindo ou expandindo módulos individuais, facilmente adaptados automaticamente através da IoS, em casos de flutuações sazonais ou mudança de características do produto. Neste questionário o conceito está implicitamente contido nas perguntas que relacionam sistemas flexíveis e adaptáveis.
7. Interconexão: máquinas, dispositivos, sensores e pessoas conectadas pela IoT e pela IoP, formando a IoE. As tecnologias de comunicação sem fio desempenham um papel fundamental na crescente conexão, na medida que permitem o acesso à Internet. Pela IoE, objetos e pessoas interconectadas conseguem compartilhar informação, e isso forma a base da colaboração para atendimento dos objetivos comuns. No questionário o conceito foi explorado na relação de colaboração na IoE, nas 3 condições possíveis: humano-humano, humano-máquina e máquina-máquina.
8. Transparência da Informação: são dados e análises disponibilizados integralmente na IoE em tempo real. A fusão do mundo físico e virtual possibilita uma nova forma de transparência da informação, onde através da conexão de dados de sensores com modelos de plantas digitalizadas, é criada uma cópia virtual do mundo físico. Informações de reconhecimento de contexto são indispensáveis para que os participantes IoE tomem decisões apropriadas. Esses sistemas realizam suas tarefas com base nas informações provenientes do mundo virtual e físico. No questionário, o conceito é abordado na relação com documentos eletrônicos, desenhos e modelos de simulação, ou ainda na tratativa de uma ferramenta, onde dados de sensores são agregados a informações de contexto de alto valor e são interpretadas e disponibilizadas a todos os participantes da IoE.
9. Assistência Técnica: é todo tipo de suporte direto ou indireto recebido pelos humanos, através de tecnologias autônomas. Devido à crescente complexidade da produção, onde a CPS forma redes complexas e tomam decisões descentralizadas, os seres humanos precisam ser apoiados por “sistemas de assistência”, que por sua vez devem agregar e visualizar informações compreensíveis para garantir que os seres humanos possam tomar decisões e resolver problemas urgentes em tempo real ou curto prazo. O apoio físico dos seres humanos por robôs é considerado como outro aspecto da assistência técnica, já que são capazes de conduzir tarefas que são desagradáveis, desgastantes ou inseguras. Para maior eficiência e segurança é necessário que os robôs interajam suave e intuitivamente com seus “colegas” humanos e que estejamos treinados corretamente para este tipo de colaboração. No questionário o conceito está implícito no uso de *Smartphones*, *tablets*, *Wearables* etc., conectando pessoas com IoT.

Inicialmente Hermann et al. (2015) definiram uma estruturação de 6 princípios básicos (*Design Principles*) (itens 1 a 6 do resumo anterior) que norteiam o desenvolvimento dos conceitos da I.4.0 e, posteriormente Hermann et al. (2016) revisaram e simplificaram em 4 (itens 3, 7, 8 e 9 do resumo anterior), sendo que em discussão com os autores, elaboramos uma proposta de conexão e correlação desses princípios, conforme figura 17.

Nesta proposta foi realizada uma correlação de aplicação dos princípios, com base nas características intrínsecas de cada elemento, onde temos:

- Descentralização – item 3 (*Decentralized Decisions*), correlacionando com a própria Descentralização (*Decentralization*), Capacidade de trabalho em Tempo Real (*Real-Time Capability*) e Modularidade (*Modularity*).
- Interconexão – item 7 (*Interconnection*), correlacionando com Interoperabilidade (*Interoperability*), Orientação a Serviços (*Service Orientation*), Capacidade de trabalho em Tempo Real (*Real-Time Capability*) e Modularidade (*Modularity*).
- Transparência da Informação – item 8 (*Information Transparency*), correlacionando com Orientação a Serviços (*Service Orientation*), Capacidade de trabalho em Tempo Real (*Real-Time Capability*) e Modularidade (*Modularity*).
- Assistência Técnica – item 9 (*Technical Assistance*), correlacionando com Virtualização (*Virtualization*), Orientação a Serviços (*Service Orientation*), Capacidade de trabalho em Tempo Real (*Real-Time Capability*).

Figura 17 - Proposta de conexão dos 9 princípios da I.4.0



Fonte: Adaptado de Hermann et al. (2015; 2016)

3.5.4. Técnicas da I.4.0

A seguir descrevemos as principais Técnicas da I.4.0 consideradas neste estudo, embora o seu universo não se restrinja apenas às mesmas:

- IoT (*Internet of Things* ou Internet das Coisas): é o sistema que permite que objetos (coisas) embarcados com etiquetas RFID⁷, sensores, atuadores, telefones celulares, etc., interajam uns com os outros e cooperarem com seu sistema (componentes) e seus “*smart products*” (produtos inteligentes), para alcançar objetivos comuns, através de exclusivo esquema de endereçamento (FLEICH, 2010).

A ideia básica do IoT é que praticamente todas as coisas físicas podem embarcar um computador, ou se tornar um computador conectado à Internet direta ou indiretamente através de uma rede de WiFi⁸.

Conforme Miorandi et al. (2012), A IoT baseia-se em três Pilares para introduzir inteligência à objetos, cujas características são:

1. ser identificável
2. comunicar-se
3. interagir

Algumas premissas e desafios que embarcam a IoT (adaptado de KAGERMANN et al., 2013):

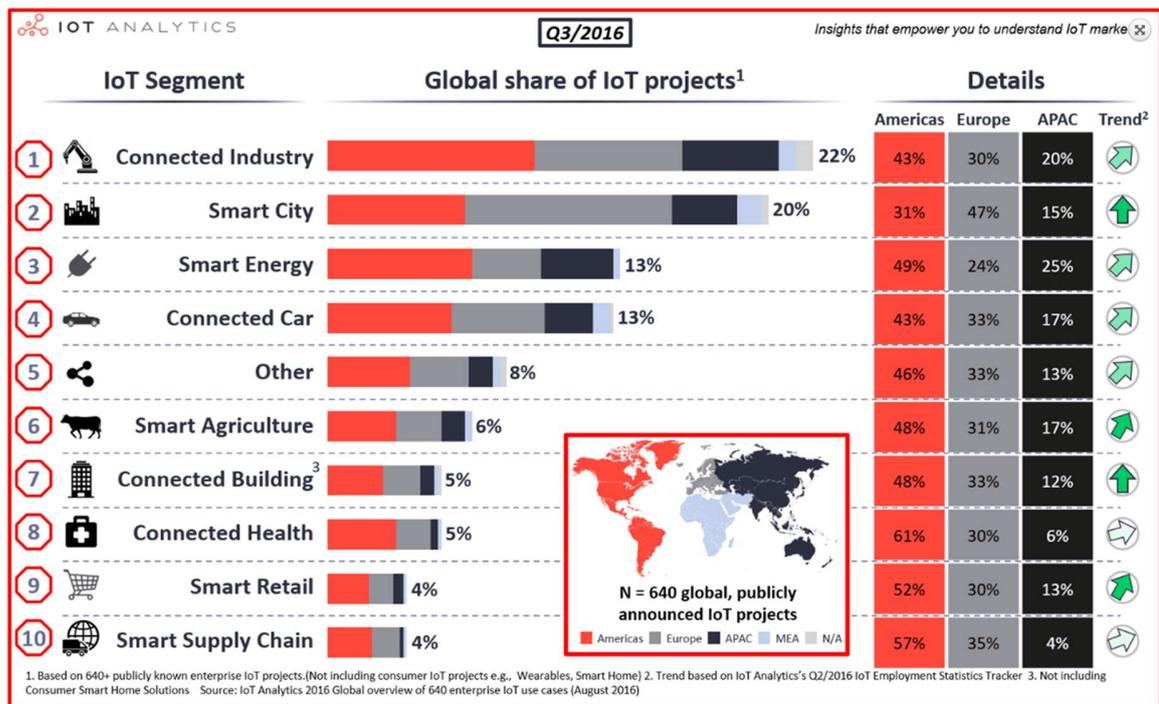
- Internet de ultra banda larga - Necessária para responder à previsão de 50 bilhões de aparelhos (coisas) conectadas à internet em 2020.
- Padronização dos sistemas de comunicação - Interoperabilidade para que todos os personagens possam se comunicar de forma compreensível.
- Sistemas de proteção cibernética - segurança de dados para gerar confiança aos usuários, sejam máquinas, equipamentos ou pessoas como usuários finais.
- Sistemas regulatórios - privacidade e ética na proteção e uso dos dados e da comunicação.
- Energia disponível - bateria de longa duração ou carga por wifi para que todos possam manter a conexão permanente em tempo real.
- Integração vertical – sistemas ou organizações conectados e compartilhando internamente as informações e dados.
- Integração horizontal – sistemas ou organizações conectados e compartilhando informações e dados em toda cadeia de valor.

As aplicações da IoT são diversas e inovadoras, sendo as principais identificadas na figura 18, onde, no terceiro trimestre de 2016, a Indústria (*Connected Industry*) que possuía 22% dos projetos de IoT mundiais e a Urbanização (*Smart City*) que possuía 20%, absorvem a maior atenção e benefícios, portanto, nos questionários do apêndice exploramos as suas interações, principalmente na manufatura. Na sequência temos Energia (*Smart Energy*) e Automóveis (*Connected Car*) empatados com 13%, e Outros com Agricultura, Construções Prediais, Saúde, Comércio e Suprimentos, juntos com 32%.

⁷ Radio-Frequency Identification.

⁸ Wireless Fidelity

Figura 18 - Áreas de aplicação de projetos IoT



Fonte: Bartje (2016)

- **IoS (Internet of Services ou Internet de Serviços):** é o sistema que permite que fornecedores possam oferecer seus serviços através de meios digitais (internet). A IoS é composta por participantes, fornecedores e estão conectados com os usuários e consumidores, são acessados através de vários canais por uma infraestrutura de serviços, por modelos de negócio e pelos próprios serviços com valor agregado (SCHWAB, 2016). É considerada a “pegada digital” de um serviço, onde os aparelhos e equipamentos (coisas) da IoT passam a fornecer serviços, por exemplo, através de aplicativos, tais como o sistema de mobilidade Uber, a alocação de imóvel pelo Airbnb, o entretenimento musical através do Spotify, ou qualquer serviço adquirido. Na figura 19 podemos verificar, por exemplo, que no ano de 2018, foram gerados 38 milhões de mensagens por minuto no Aplicativo WhatsApp, 18 milhões de textos por minuto por SMS, 3,7 milhões de pesquisas no Google e realizadas quase \$863 mil em negócios online por minuto. A IoS é na verdade a precursora da IoT, pois é a área de serviços que está impulsionando a tecnologia, num crescimento exponencial.

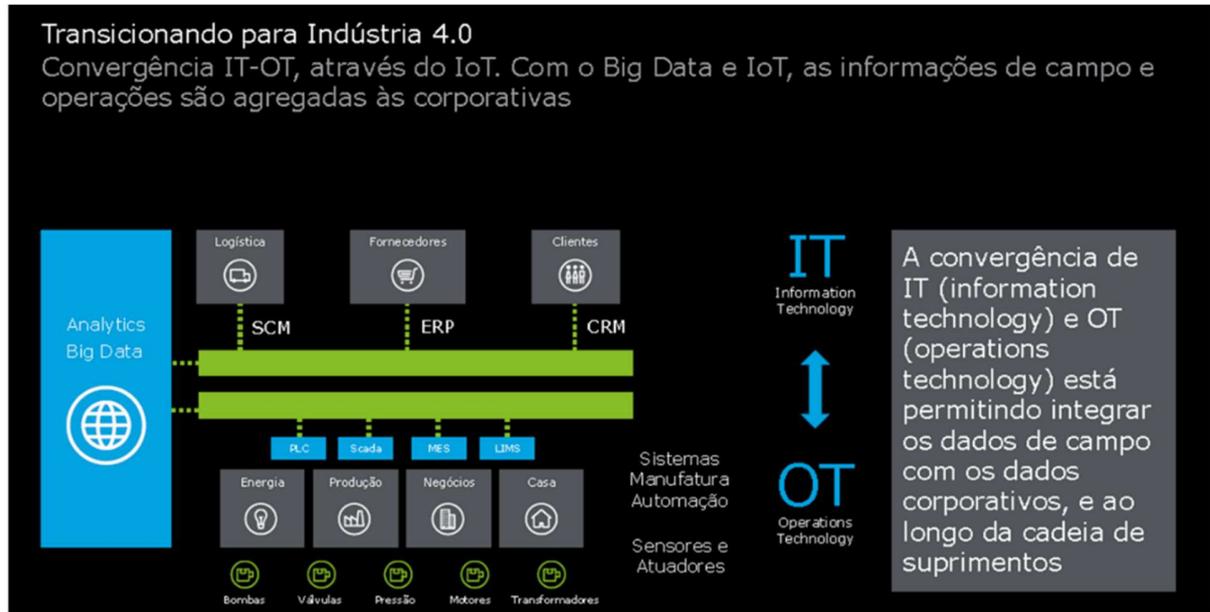
Figura 19 - O que acontece em um minuto na internet (serviços) em 2018



Fonte: Soares Filho (2019)

- IoD (*Internet of Data* ou *Internet de Dados*): é o sistema que permitirá transferir e armazenar adequadamente dados em massa, para fornecer novos e inovadores métodos de análise de interpretação destes dados, no contexto do objetivo de aplicação (ANDERL, 2014). Em nossa abordagem, IoD representa o pacote *Data Science* que compreende *Big Data*, *Big Data Analytics*, *Cyber Security*, *Cloud Computing* e sistemas relacionados à Tecnologia da Informação e Comunicação, trazendo a integração da TI (IT) com TO⁹ (OT). Na figura 20 podemos observar uma esquematização do funcionamento, onde temos de um lado a OT (inferior) com um sistema de manufatura com sua automação embarcada com sensores e atuadores em equipamentos e máquinas, consumindo energia, gerando produção e negócios, e do outro lado a IT (superior), conectando com *softwares* específicos a logística, os fornecedores e clientes, e ambos integrando uma base de dados (*Big Data*) para uma análise mais inteligente (*Analytics*), muito provavelmente em uma plataforma de nuvem (*Cloud Computing*).

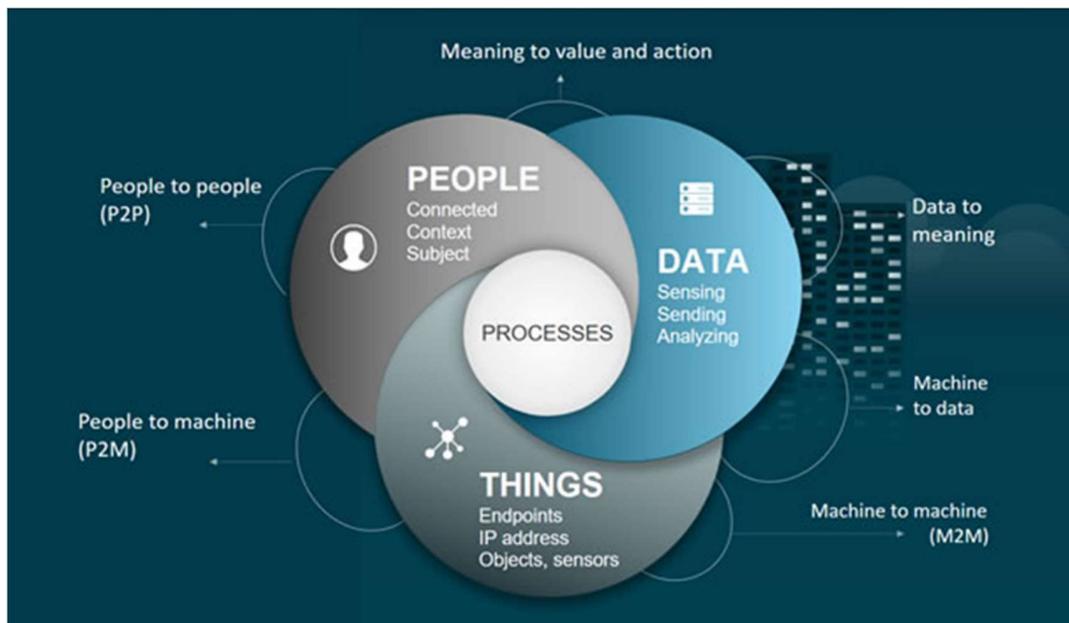
Figura 20 - Integração da TI com TO



Fonte: Ogawa (2017)

- IoE (*Internet of Everything* ou Internet de Todas as Coisas): Conceito criado pela empresa Cisco Systems, onde se envolve a conexão inteligente de pessoas, processos, dados e “coisas” (figura 21) para fazer conexões de redes mais relevantes, transformando informações em ações, conforme Miraz et al. (2015). Em resumo temos que $IoE = IoT + IoS + IoD$ (adaptado e simplificado pelos autores).

Figura 21- IoE por Cisco Systems



Fonte: I-SCOOP BVBA (2018)

- CPS (*Cyber-Physical System* ou Sistema Físico-Cibernético): é a integração da computação com processos físicos; são sistemas que compreendem máquinas inteligentes, sistemas de armazenamento e instalações de produção capazes de trocar informações autonomamente, desencadeando ações e controlando uns aos outros de forma independente (KAGERMANN et al., 2013).

É o ambiente de integração das IoT, IoS, IoD, IoE, onde o mundo físico literalmente se conecta com o mundo cibernético, transformando em atividades concretas.

Conforme se observa no esquema da figura 22, temos uma determinada célula (máquina, equipamento, transportador, etc), chamada de sistema físico. Seus componentes estão equipados de diversos tipos de sensores, os quais coletam informações em tempo real e as enviam à um sistema virtual (nuvem), dotado de certa inteligência e autonomia, que irá coletar, processar e analisar tais dados, comparando com condições predeterminadas (padrão de referência). Conforme o resultado dessas análises, o sistema autonomamente determina ações de ajustes, adequações ou correções, que são traduzidas ao mundo físico, ou seja, nas máquinas e equipamentos, através de atuadores, também embarcados nos equipamentos.

Figura 22 - CPS - Sistema Físico-Cibernético



Fonte: PALMA et al. (2017)

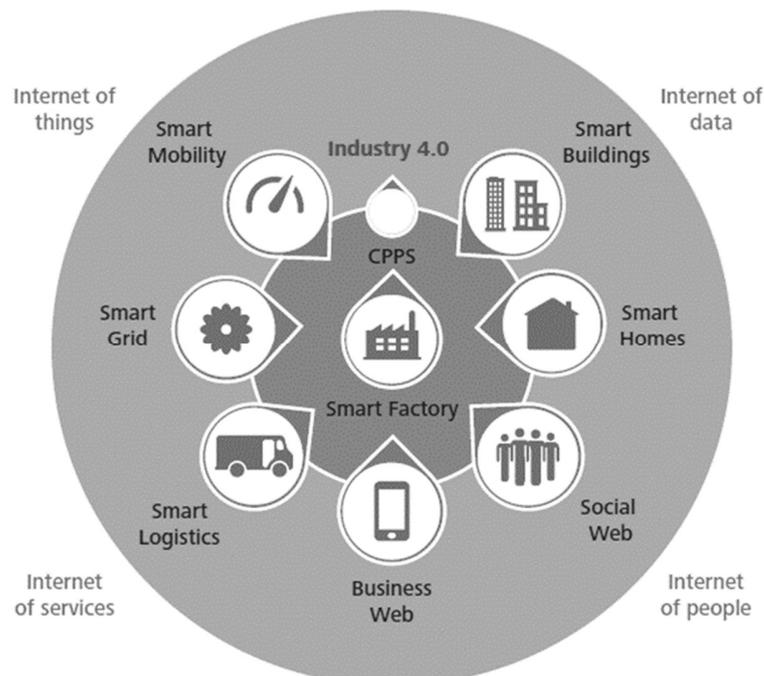
- *Smart Factory* (Fábrica Inteligente): é a fábrica sensível ao contexto imerso, onde a CPS se comunica através da IoT ajudando pessoas e máquinas na execução das suas tarefas com base na informação proveniente dos mundos físico e virtual (HERMANN et al., 2015). Ela é dotada de sistemas mais inteligentes (figura 23), flexíveis e dinâmicos, onde máquinas instaladas em construções mais inteligente (*Smart Buildings*) são equipadas com sensores conectados na nuvem e estão em comunicação em tempo real com outras máquinas e/ou

humanos (robótica colaborativa), utilizando *Big Data Analytics* colaborativo para tomadas de decisões operacionais e comerciais.

Devido a sua configuração tecnológica, ela possui melhor eficiência energética (*Smart Grid*), menor tempo de inatividade e espera e menor geração de resíduos, pois busca constantemente a otimização das condições de processo. Essa configuração com tecnologias emergentes e disruptivas propiciam alguns benefícios, tais como:

- Maior flexibilidade para produzir produtos complexos com multimatérias, multe escala e multifuncionalidade com características de extrema performance;
- Redução do *Time-to-Market* - tempo de lançamento - de um novo produto devido as otimizações no desenvolvimento;
- Aumento significativo de produtividade e qualidade, o que justifica o aumento do preço como resultado de altos investimentos;
- Alta eficiência de operação pelo uso de análise de *Big Data & Analytics*;
- Grande melhoria na eficiência de uso de recursos e consumo energético (*Smart Grid*);
- Manufatura sustentável (*Smart Buildings, Smart Mobility, Smart Grid, Smart Logistic*);

Figura 23 - *Smart Factory*



Fonte: Schlaepfer e Koch (2015)

- **Sensoriamento Inteligente:** é aquele que utiliza sensores com capacidade de auto calibração e auto identificação, utilizando, por exemplo, o padrão IEEE¹⁰ 1451, conectados por sistemas do tipo redes sem fio-wifi (PRYTULA, 2011). Sensores inteligentes podem auxiliar na otimização de operações de fabricação flexíveis, que envolvam frequentes mudanças na linha

¹⁰ Institute of Electrical and Electronics Engineers

de produção devido a produtos de características diferentes, e captar dados contextuais para fornecer diagnósticos mais preditivos dos processos.

- Rastreabilidade Inteligente: sistema de identificação que permite resgatar as informações de origem e a história do produto e/ou processo de manufatura (METZNER et al., 2014; MACHADO, 2000), que neste contexto está expandido e tornando-se mais inteligente, sendo caracterizado como um sistema de identificação que permite resgatar as informações de origem e a história do produto e/ou processo de manufatura, associado a um sistema de possível monitoramento contínuo e em tempo real, de localização e uso do objeto rastreado, conforme exemplificado na figura 24, onde podemos ver sinais conectados à nuvem e a veículos, que na realidade não são visíveis aos olhos humanos.

Figura 24 - O conceito simulado de rastreabilidade por RFID

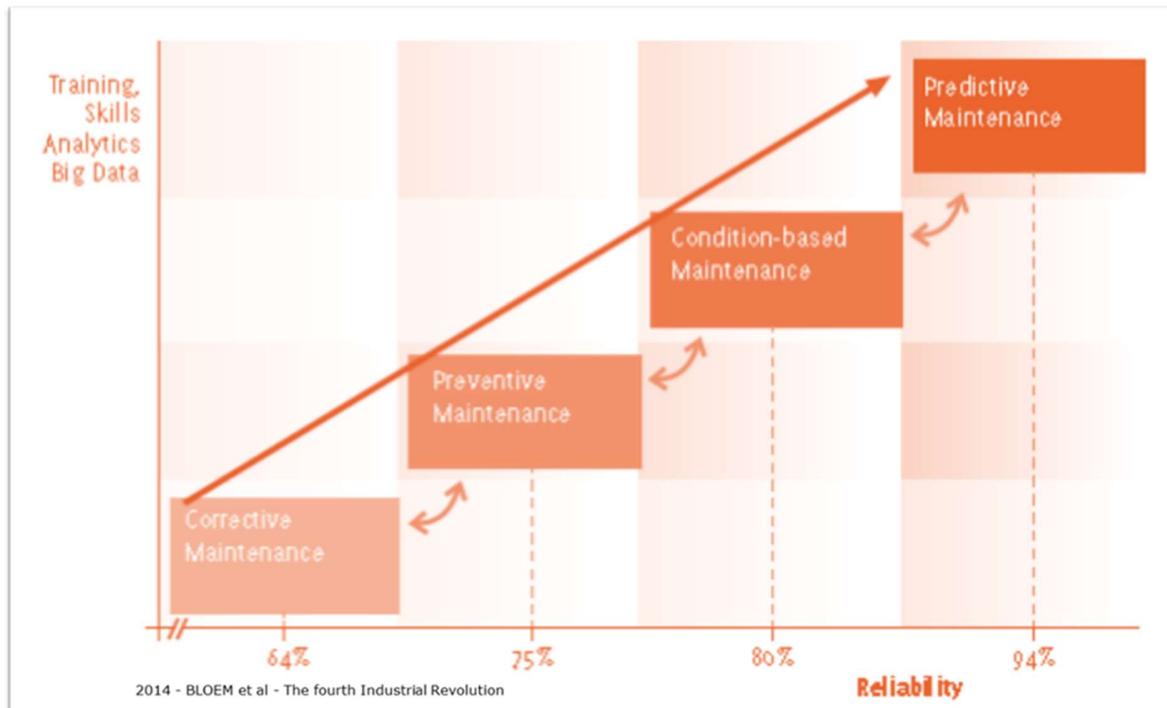


Fonte: Bosch (2016)

- Manutenção Preditiva: é um método aplicado através de programas especiais de monitoramento e medição de parâmetros, indicando as condições reais durante o funcionamento de máquinas e equipamentos, com base em dados que informam o seu desgaste ou processo de degradação, com a finalidade de identificar previamente o atingimento de seus limites e poder atuar em sua manutenção. Embora não seja um conceito novo, trata-se de uma evolução das Manutenções Corretivas e Preventivas (figura 25), pois a tecnologia vem permitindo uma maior capacidade de armazenamento e tratativa de dados. Os principais benefícios são voltados para a um melhor acompanhamento das máquinas e

equipamentos, com melhor identificação de “futuros” potenciais problemas, aumentando a confiabilidade para até 94%, permitindo intervenções melhor programadas e maior uso da vida útil de componentes. Exemplos: Análise e Medição de Vibrações, Termografia, Análise de Óleo etc. (FARIA, 2013).

Figura 25 - Evolução da Confiabilidade na Manutenção



Fonte: Bloem et al. (2014)

3.5.5. Ferramentas da I.4.0

Da mesma forma, a seguir descrevemos as principais Ferramentas da I.4.0 consideradas neste estudo, embora o seu universo também não se restrinja apenas às mesmas:

- **AGV (Automatic Guided Vehicle):** Veículo de movimentação autônoma, que se movimenta sem a condução humana em tempo real (pelos próprios autores). Além de novos desenvolvimentos de veículos de transporte como carros, caminhões e ônibus, essa ferramenta teve uma adesão inicial nas fábricas aplicadas em carrinhos de abastecimento e empilhadeiras, conforme vemos uma delas em ação autônoma na figura 26. Neste contexto da I.4.0 focamos a aplicação na movimentação autônoma na logística e/ou produção, interagindo com as máquinas e equipamentos, trocando informações e tomando decisões em conjunto.

Figura 26 - Exemplo de uso de AGV na indústria



Fonte: Turck Inc. (2018)

- AR (*Augmented-Reality* ou Realidade Aumentada): é a integração de informações virtuais nas visualizações do mundo real, como por exemplo, através de uma câmera, *tablet*, *smart phones*, *smart-glasses* etc. (WU et al., 2012). No estudo, busca-se o de uso do sistema AR nas organizações, seja na simulação, produção, manutenção, marketing e vendas etc. No exemplo da figura 27, através de um tablete, vemos simultaneamente um robô realizando uma operação (mundo real ou físico) e informações digitais do produto (mundo virtual).

Figura 27 - Exemplo de uso de Realidade Aumentada na indústria



Fonte: Computer World (2018)

- VR (*Virtual-Reality* ou Realidade Virtual): é um campo da Tecnologia da Informação (TI) que fornece uma experiência indireta, criando um espaço virtual que interage com os sistemas sensoriais humanos e supera as restrições espaciais e físicas do mundo real (CHOI et al., 2015). É uma tecnologia de interface capaz de enganar os sentidos de um usuário, por meio de uma imersão em um ambiente virtual, criado a partir de um sistema computacional. Ao induzir efeitos visuais, sonoros e até táteis, a realidade virtual permite a imersão completa em um ambiente simulado, com ou sem interação do usuário (COUTINHO, 2015). Da mesma forma, este estudo busca o de uso do sistema VR nas organizações, seja na simulação, desenvolvimento, manutenção, marketing e vendas etc. Na figura 28 está representando aquilo que o projetista estaria vendo em seus óculos de VR, ou seja, uma turbina virtual em ação acoplada ao eixo de uma bomba, auxiliando em um processo de desenvolvimento.

Figura 28 - Exemplo de aplicação da Realidade Virtual na indústria

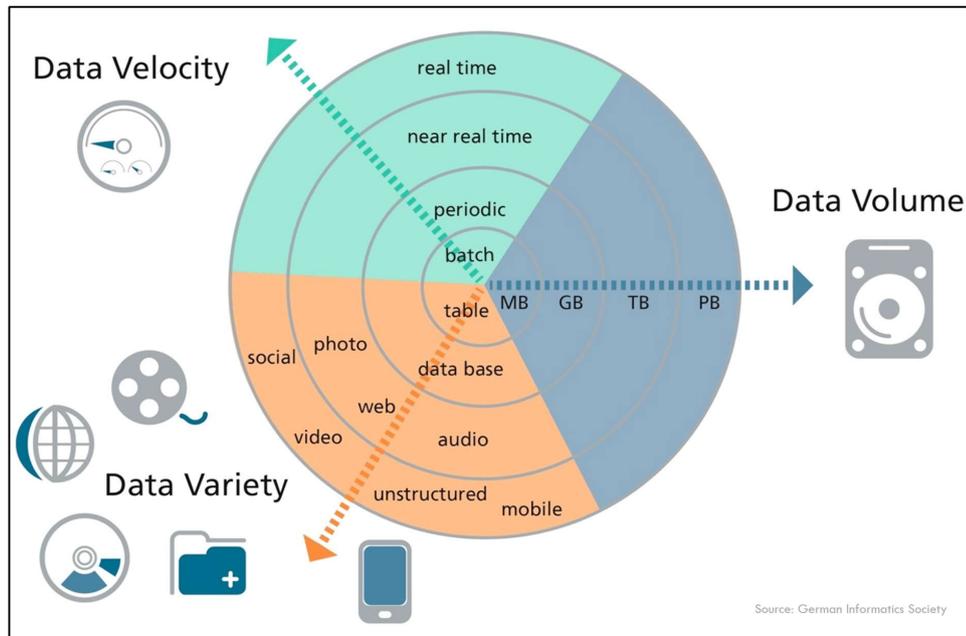


Fonte: Peters (2017)

- *Big Data / Big Data Warehouse* (grande volume de dados / almoxarifado) é a geração e o armazenamento de uma grande quantidade de dados em termos de volume, variedade e velocidade (figura 29), que representam os dados internos à corporação e podem representar também os dados externos ligados ao negócio, ou seja, toda cadeia de valor, de fornecedores a clientes (RUSSOM, 2011; MILOSLAVSKAYA E TOLSTOY, 2016). O armazenamento de dados não é novidade, porém, o desenvolvimento da digitalização impulsiona o desenvolvimento da TIC, que por sua vez gera uma quantidade de dados sem precedentes, requerendo sistemas sofisticados de armazenamento, cuidados cibernéticos e escalabilidade de armazenamento e processamento. Conforme vemos na figura 29, além de maior volume ou quantidade, espera-se maior variedade, ou seja, não apenas números ou textos, mas, fotos, áudios, vídeos. Espera-se também velocidade, ou seja, a transferência destes dados (*download / up-load*) cada vez mais rápidos tendendo a tempo real. Conforme IDC (2014), em 2020

deverão ser gerados aproximadamente 4.200 quatrilhões de *containers*¹¹ de dados, contra apenas 48 em 2010.

Figura 29 - Estrutura do *Big Data*



Fonte: Better (2018)

- *Big Data Analytics* (análise de grande volume de dados), também chamado de *Advanced Analytics*, ou apenas *Analytics*, é o uso de técnicas algorítmicas avançadas para análise dos dados do *Big Data*, traduzidos em informações que auxiliem na tomada de decisões estratégicas na cadeia de valor da organização (RUSSOM, 2011). É o recurso utilizado para identificar padrões ou ausência deles em uma grande quantidade de dados (*Big Data*) que o ser humano normalmente não tem capacidade de processar e identificar, criando maior inteligência para tomada de decisões.

Aqui julgamos oportuno alguns esclarecimentos adicionais, pois costuma-se misturar alguns conceitos:

Big Data refere-se à quantidade exorbitante de dados produzidos diariamente, conforme definimos anteriormente, enquanto *Data Mining & Analytics* são a “mineração” destes dados e *Data Warehouse* é um depósito de dados digitais, ou seja, o “*Big Data Analytics*” é o algoritmo que faz análise do “*Big Data*”!

Dados podem ser analisados de diversas maneiras e existem várias ferramentas, sendo as principais:

- *BI (Business Intelligence)*
- *Data Mining* (Mineração de dados)
- *Big Data Analytics*

¹¹ “*Containers*” (recipientes) são arquivos digitais baseados em software que armazenam os megabytes

Onde, *Data Mining* é literalmente a “Mineração” de Dados, ou seja, o processo analítico de extração de conhecimento de grandes bases de dados, convencionais ou não. Utiliza técnicas de Inteligência Artificial (IA) que procuram relações de similaridade ou discordância entre dados, conforme ilustrado no exemplo da figura 30. Seu objetivo é encontrar, automaticamente, padrões e anomalias, com o propósito de transformar dados, aparentemente ocultos em informações úteis para a tomada de decisão e/ou avaliação de resultados. Esses dados são tipicamente relacionados a negócios, mercado ou pesquisas científicas, na busca de padrões consistentes e/ou relações sistemáticas entre variáveis e, então, validá-las aplicando os padrões detectados a novos subconjuntos de dados. Nosso foco neste projeto é localizar o uso de tais algoritmos em análises dentro das indústrias, principalmente na manufatura.

O processo do algoritmo analítico consiste basicamente em 3 etapas: exploração, construção de modelo ou definição do padrão e validação/verificação (WITTEN E FRANK, 2002).

O (*Big Data Analytics*) é considerado uma evolução do *Data Mining*, que por sua vez é uma evolução do BI, sendo as principais diferenças, conforme Hoppen (2015):

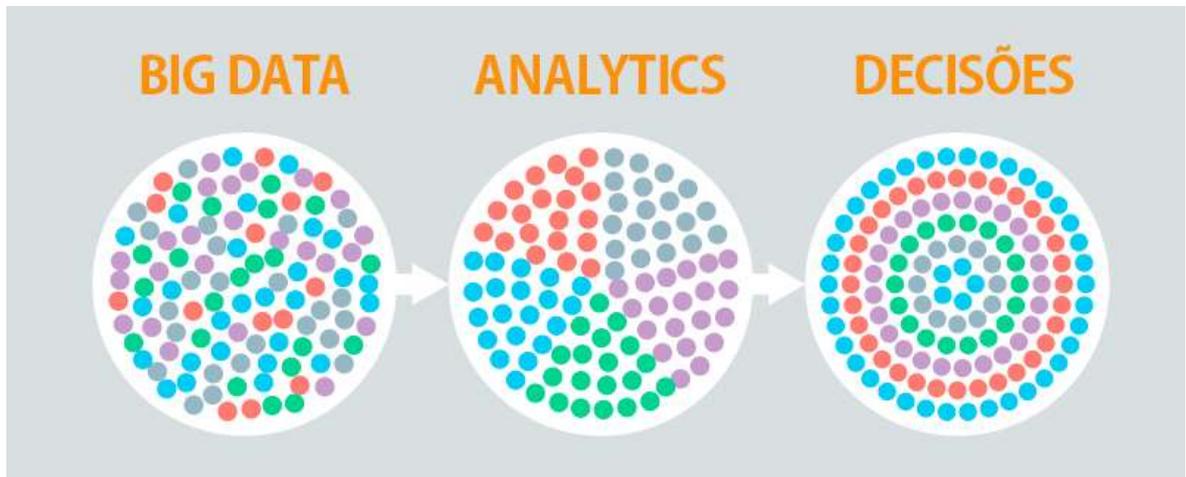
- BI:
 - Monitora o desempenho dos indicadores das operações;
 - Reflete apenas o passado dos dados;
 - A identificação de padrões é realizada por profissional da área;
 - Não há inteligência no sistema automático, sendo necessário profissional treinado para interpretar os dados e tomar decisão.

- *Data Mining*:
 - Metodologia científica e algorítmica;
 - Detecta automaticamente pontos cegos dos dados;
 - A análise estatística é intensa, mas pontual;
 - Identifica padrões de comportamento dos dados estruturados, propondo novos indicadores de análise para o BI.

- *Big Data Analytics*:
 - É o *Data Mining* em grande escala;
 - Também identifica automaticamente padrões de comportamento, porém, agora com dados estruturados, semiestruturados, ou não estruturados, como por exemplo, em postagens de mídias sociais, imagens, fotos, áudios, vídeos, músicas etc.

A figura 30 ilustra de forma didática, uma análise com padrão de fácil identificação para o ser humano, onde inicialmente os dados estão espalhados aleatoriamente (*Big Data*), posteriormente o *Analytics* fez uma separação por padrões, neste caso por cores e propôs outra forma de decisão.

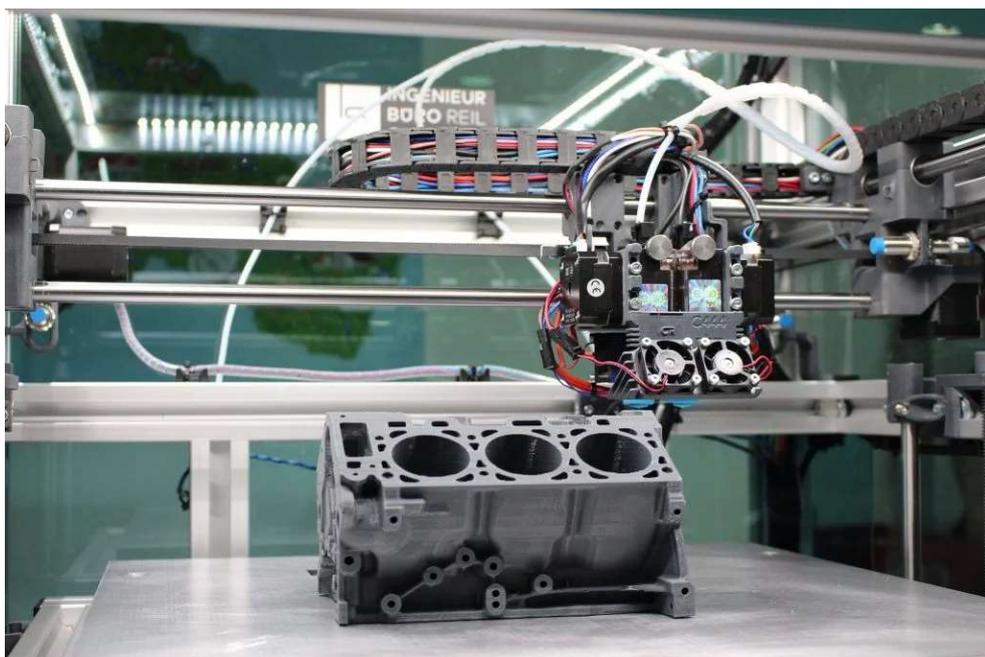
Figura 30 - Exemplo do modelo do *Big Data Analytics*



Fonte: Ideal Marketing (2018)

- **Manufatura Aditiva (Impressão 3D):** é a Tecnologia que utiliza dados 3D-CAD para conduzir um processo de fabricação de impressão de materiais por camada (ANDERL, 2014). Inicialmente era utilizado apenas para fabricação de protótipos em resinas, permitindo aceleração do processo de desenvolvimento, hoje com a expansão de uso de uma maior gama de materiais, como plástico, papel, cerâmica, metal, superligas, biomateriais, etc, permitem novas aplicações e significativo impacto nos métodos tradicionais de manufatura, especialmente para produção customizada. Na figura 31 ilustra-se uma impressora 3D imprimindo um bloco de motor.

Figura 31 - Exemplo de Manufatura Aditiva (Impressão 3D)



Fonte: Pixabay (2018)

3.6. Fundamentação da Proposta de Aplicação

Como vimos, a proposta do projeto é a avaliar um método para identificar o Grau de Maturidade das indústrias em relação aos conceitos da I.4.0, aplicando em um estudo de caso no segmento de autopeças brasileiro, através da aplicação de questionário à profissionais de empresas do segmento estudado e a estratificação dos resultados em formatos específicos para interpretação dos mesmos e direcionamento de ações.

Para melhor compreensão da formulação do questionário, foi elaborado um estudo comparativo entre as principais características da I.4.0 e às da 3ª Revolução Industrial, aqui identificada de Indústria 3.0 ou I.3.0, conforme “mandala” comparativa da figura 32.

Como identificação fundamental, entendemos que enquanto a I.3.0 teve como identidade central o foco no produto e no processo de manufatura, a I.4.0 vai para um novo patamar, onde essas características continuam válidas, porém, são consideradas incorporadas e passa a focar no serviço e na experiência do cliente. O serviço aqui toma uma abordagem mais ampla, pois trata-se também da relação do processo de compra e venda, no atendimento e na experiência deste processo sentida pelo cliente ou consumidor.

Na I.3.0 fala-se basicamente em Indústria, enquanto na I.4.0 se expande a atenção a todos os empreendimentos, de todos os modelos de negócios, mesmo porque, como vimos anteriormente, as atividades comerciais, tecnológicas e de serviços são peças fundamentais desta 4ª revolução.

Enquanto na I.3.0 se fala de processos de digitalização, na I.4.0 ela passa a interagir com o mundo físico e biológico, o que inclusive faz parte de sua definição. Na I.4.0 a automatização iniciada na I.3.0 passa a ser autônoma, tornando-se mais inteligente e tomando suas próprias decisões, cada vez mais difíceis e de forma mais sofisticadas, impulsionadas pela Inteligência Artificial e pela Aprendizagem de Máquina (*Machine Learning*). Na I.3.0 tivemos o desenvolvimento da informática e da internet, que propiciou o desenvolvimento industrial do PLC¹² e na I.4.0 surgem então a IoT, IoS, IoD etc. Na I.3.0 fala-se em “servidor” para armazenamento de dados, de BI e *Data Mining* para interpretá-los e na I.4.0 já é comum o armazenamento de *Big Data* em “nuvens” (*cloud*) e o uso do *Big Data Analytics* para análise dos dados.

Na economia, a I.3.0 iniciou o processo de Globalização dos negócios utilizando a Economia Linear, onde em uma extremidade temos a extração de recursos e na outra o descarte, passando para Economia Circular na I.4.0, tornando-a cada vez mais cíclica, incluindo não só a reciclagem de material, mas também o conceito de reuso dos principais componentes, conforme ilustrado na figura 33. A Globalização passa agora a ser altamente conectada.

Na Manufatura, a I.3.0 introduz a produção por demanda, onde destacam-se sistemas como o TPS¹³, WCM¹⁴ e o *Lean-Manufacturing*¹⁵, enquanto a I.4.0 apresenta o conceito de Produção Customizada (*tailor made*¹⁶) em massa com o advento da *Smart Factory*. Na I.3.0 a produção é flexível, produzindo-se vários modelos em uma mesma linha de manufatura, e a I.4.0 incorpora a modularidade, onde se produz vários modelos em várias linhas de manufatura, alterando-se basicamente a combinação e o arranjo das máquinas e equipamentos. Esse Sistema

12 *Power Line Communication* ou CLP - Controlador Lógico Programável

13 *Toyota Production System* ou Sistema Toyota de Produção

14 *World Class Manufacturing* ou Manufatura de Classe Mundial

15 Produção Enxuta

16 Feito sob medida

de Manufatura Reconfigurável está sendo desenvolvido como uma necessidade devido as condições de alto investimento para novos modelos de manufatura e a diminuição da vida útil de produtos, quando as organizações estão sendo forçadas a quebrar o paradigma de utilização dos maquinários. A característica de alta competitividade da I.3.0 começa a sinalizar a necessidade de ser colaborativa, onde já vemos vários concorrentes compartilhando partes de suas cadeias de negócios, somando esforços e criando maior sinergia e melhor resultado para ambos.

Figura 32 - Comparativo de abordagem “Indústria 3.0 X Indústria 4.0”

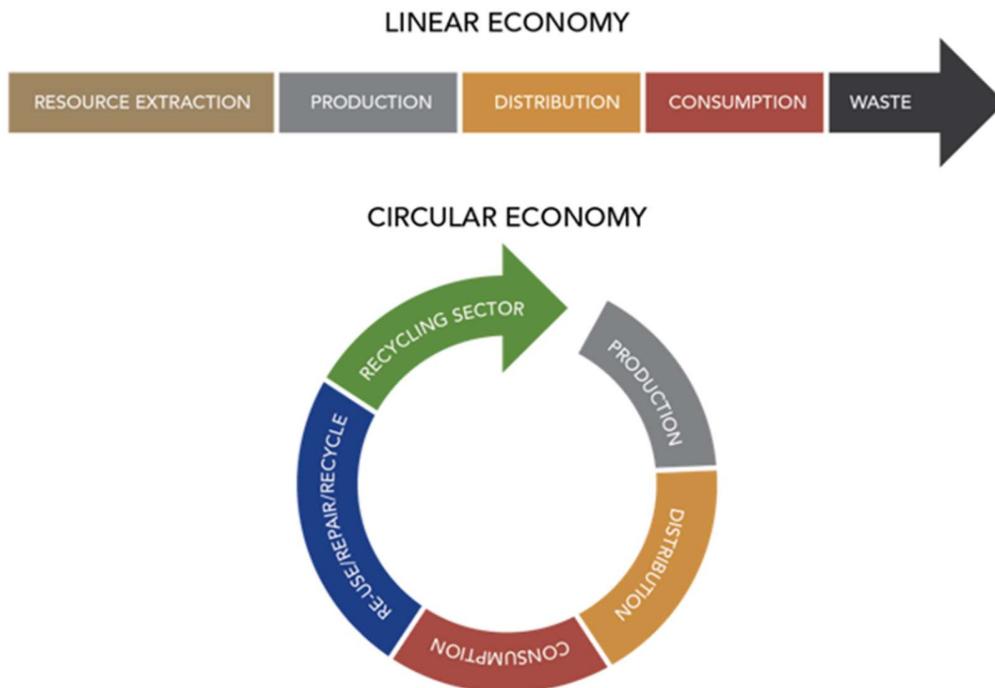


Fonte: Próprio autor

Ainda na área de manufatura, a manutenção preventiva começa a dar espaço para a preditiva, já que a quantidade de dados coletados é cada vez maior (*Big Data*), assim como também a interpretação dos mesmos (*Big Data Analytics*), trazendo um nível muito maior de confiabilidade e uso ao extremo da vida útil de componentes e equipamentos.

No âmbito de Recursos Humanos, o profissional da I.4.0 passa de especialista, organizacional e gerenciador de informação, para uma postura mais holística, integradora e gerenciadora da inteligência da informação, introduzindo o uso de redes e mídias sociais no ambiente de trabalho.

Figura 33 - Economias Linear e Circular



Fonte: Stephenson (2016)

Importante destacar que as características da I.3.0, de forma geral, não serão eliminadas na I.4.0, mas sim levadas a um outro nível de desenvolvimento, tornando-se características agora intrínsecas ao processo. Entre tantas evoluções temáticas da I.3.0 para a I.4.0, temos então o processo de digitalização passando a interagir com o mundo físico e biológico.

3.7. Fundamentação do Questionário

Inspirado então neste comparativo das principais diferenças de escopo entre I.3.0 e I.4.0, foi elaborado um questionário que pudesse identificar como algumas técnicas e ferramentas interagem e se integram diretamente e de forma prática a máquinas, equipamentos, aparelhos (coisas) ou a sistemas existentes, como parte das premissas da I.4.0. Seus Princípios analisados foram considerados implícitos, uma vez que se não existirem, os sistemas e a conectividade não se complementarão adequadamente.

O questionário, disponível nos Apêndices, foi submetido ao Comitê de Ética de Pesquisa da Unicamp – CEP UNICAMP, através da Plataforma Brasil (<http://plataformabrasil.saude.gov.br/login.jsf>), com “Parecer APROVADO sob número 3.553.515”.

Os respondentes foram convidados a responder o grau de adequação, conforme seu conhecimento ou conforme sua percepção a respeito de cada um dos itens dentro de sua organização, basicamente respondendo se: 0-inicial (ou “não existente”, ou ainda “não sei”, sendo que nestes dois casos o respondente é convidado a justificar no espaço reservado à comentário), 1-em implementação, 2-intermediário, 3-em fase final de implementação ou 4-

implementado. Na sequência temos esclarecimentos adicionais das questões individuais, seguindo o sequenciamento descrito no Apêndice, destacando seu tópico principal e o objetivo de cada uma delas, sendo:

- Questão 1 - Identificação do profissional, da empresa respondente e da abordagem: Consideramos autoexplicativo, pois espera-se a identificação dos respondentes, como nome, dados de contato, nome e localização da empresa, bem como a data da avaliação.
- Questão 2 - Porte ou tamanho da empresa em número de funcionários: Foi escolhida a utilização da definição do Sebrae para a Indústria, a qual define o porte em função do número de funcionários, desde Micro, quando possui até 19 empregados, até de Grande porte, quando possui mais de 500 funcionários, conforme tabela 3.

Tabela 3- Classificação das Empresas segundo o número de empregados

| Porte | Setores | |
|-----------------|-------------------------------|------------------------------------|
| | Indústria ⁽¹⁾ | Comércio e Serviços ⁽²⁾ |
| Microempresa | até 19 pessoas ocupadas | até 9 pessoas ocupadas |
| Pequena empresa | de 20 a 99 pessoas ocupadas | de 10 a 49 pessoas ocupadas |
| Média empresa | de 100 a 499 pessoas ocupadas | de 50 a 99 pessoas ocupadas |
| Grande empresa | 500 pessoas ocupadas ou mais | 100 pessoas ocupadas ou mais |

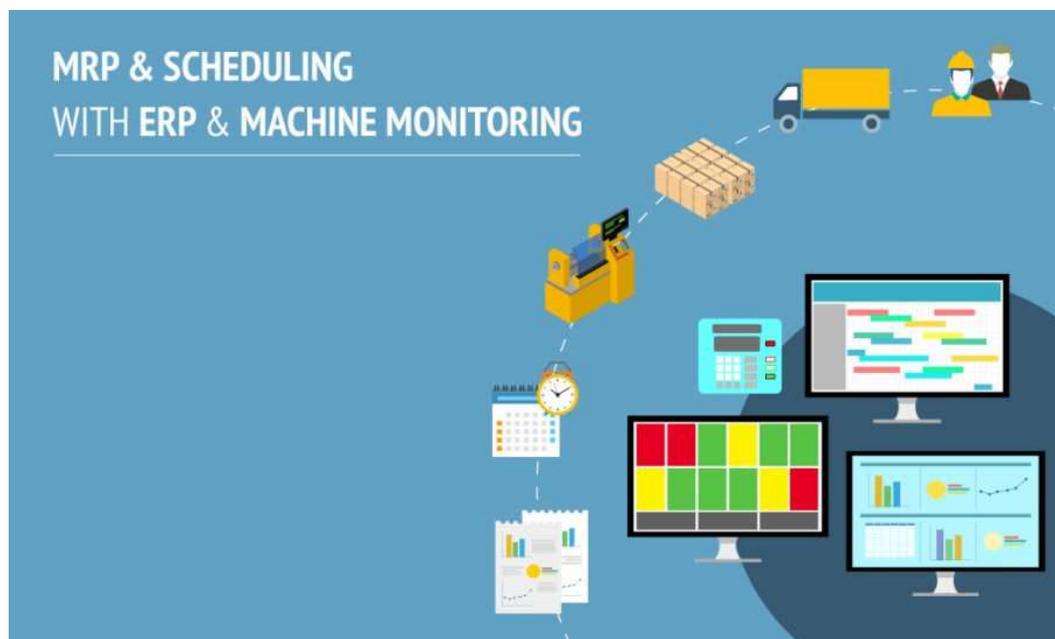
Fonte: SEBRAE – NA / DIEESE (2013)

- Questão 3 - Qual o principal cargo ou função profissional do respondente na empresa, sendo: assistência, líder, supervisor, gerente, diretor ou outro, neste caso o respondente é convidado a especificar no comentário.
- Questão 4 - Qual a mais alta formação educacional completa do respondente, partindo de ensino médio, nível superior, pós-graduação / MBA¹⁷, mestrado, doutorado ou outro, neste caso o respondente é convidado a especificar no comentário, inclusive no caso de cursos em andamento.
- Questão 5 - Qual o principal departamento ou setor que o respondente trabalha em sua empresa, tendo como opções predefinidas alguns agrupamentos por afinidade de atividades: TI/Comunicações (TIC), Pesquisa & Desenvolvimento (P&D)/Engenharia de Produto, Engenharia de Processos/Logística, Manufatura/Produção/Planejamento e Controle de Produção (PCP), Manutenção/Instalações Industriais, Financeiro, Suprimentos, Vendas/Marketing, Qualidade, Recursos Humanos/Jurídico e outro, neste caso o respondente é convidado a especificar no comentário.
- Questão 6 - Qual o conhecimento ou familiaridade do respondente com o conceito da 4ª Revolução Industrial ou Indústria 4.0, onde uma autoavaliação parte de nenhuma (0%), parcial 25%, parcial 50%, parcial 75% e total (100%).

¹⁷ Master of Business Administration

- Questão 7 - MRP (*Materials Requirements Planning* ou Planejamento das Necessidades Materiais ou Planejamento dos Recursos de Manufatura): Inicialmente o MRP I era utilizado apenas para gestão de necessidades de matéria prima ou componentes para uma dada produção, porém, com advento da informática, tornou-se um sistema computadorizado (MRP II) que ampliou a ação em outras partes das empresas, como financeira e engenharia. Além de controle de inventário, produção e gestão do estoque, contribui para decisões de alocação de recursos e reduzir custos. Neste sentido, ele deve estar profundamente ligado ao departamento de vendas e/ou logística de clientes, interagindo com outros sistemas da organização e fornecedores para melhor conseguir prever a fabricação de pedidos (SLACK et al., 2002), conforme ilustrado na figura 34.

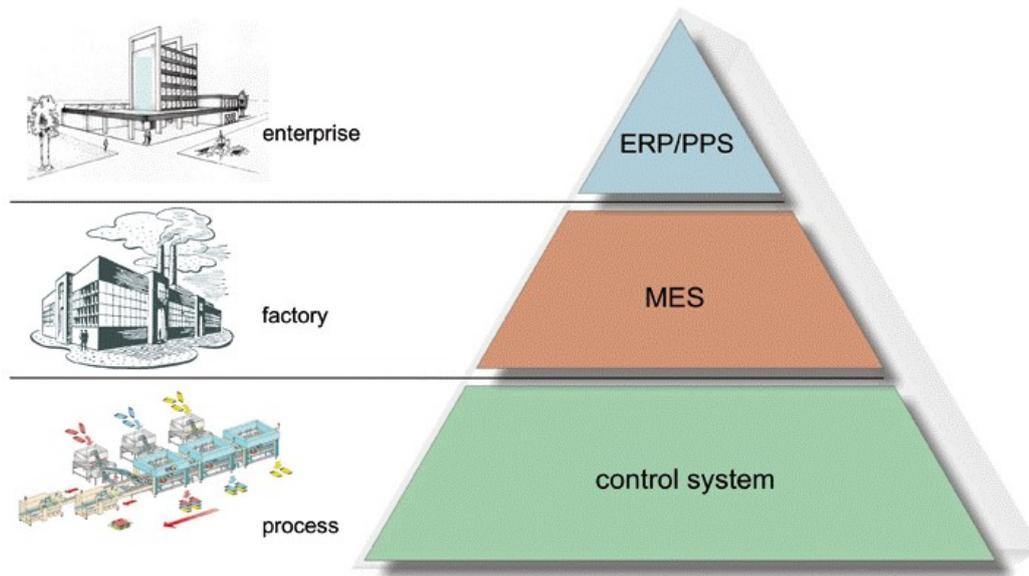
Figura 34 - Interações do MRP & Scheduling



Fonte: Omega Cube Technologies (2018)

- Questão 7 - MES (*Manufacturing Execution System* ou Sistemas de Execução da Manufatura): é um conjunto de ferramentas (*Software e Hardware*) que tem como característica monitorar e controlar todas as etapas do processo de produção em tempo real, confrontando o que foi planejado e o que realmente está sendo executado, garantindo a integração entre o ERP e outros sistemas conectados, permitindo uma melhor gestão na tomada de decisão, conforme ilustrado na figura 35. Neste contexto também consideramos sua interação e conectividade direta com máquinas e equipamentos (TNG BRASIL, 2017), conforme ilustrado na figura 36.

Figura 35 - Arquitetura e interações do MES



Fonte: Gerhard Schubert GmbH (2018)

Figura 36 - Indicadores do MES em análise com dados informados diretamente das máquinas



Fonte: Rockwell Automation (2018)

- Questão 8 - SCM (*Supply Chain Management* ou Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos): para Ganeshan e Harrison (1995) apud Hugos (2018), trata-se de uma rede de facilidades e opções de distribuição, que tem por objetivo executar funções de compra de materiais, transformar matérias-primas em produtos acabados e semiacabados, e distribuir estes produtos aos consumidores. A SCM auxilia nas decisões relacionadas às redes de produção e distribuição, ou seja, localização de fábricas, de unidades produtivas, de centros de distribuição (CD) e armazéns. Auxilia em decisões do que produzir, onde produzir, conexão dos fornecedores às fábricas e destas aos CDs, além de decisões no gerenciamento de armazéns e estratégia de estoques, de transporte (modais, *trade-offs*) e toda contabilização do gerenciamento (Santos, 2010), conforme ilustrado na figura 37.

Neste trabalho o enfoque é identificar se na organização há ferramenta ou sistema de gestão da cadeia de fornecimento, do tipo SCM ou similares, integrando desde fornecedores a clientes, diretamente com máquinas, equipamentos ou aparelhos (coisas). Como exemplo de aplicação, temos produtos portadores de identificação com sistema RFID, informando online sua localização, condições de armazenamento, movimentação etc., conversando diretamente com o EDI¹⁸ das empresas ou sistema similar e/ou com o portal digital etc.

Figura 37 - Arquitetura e interações do SCM

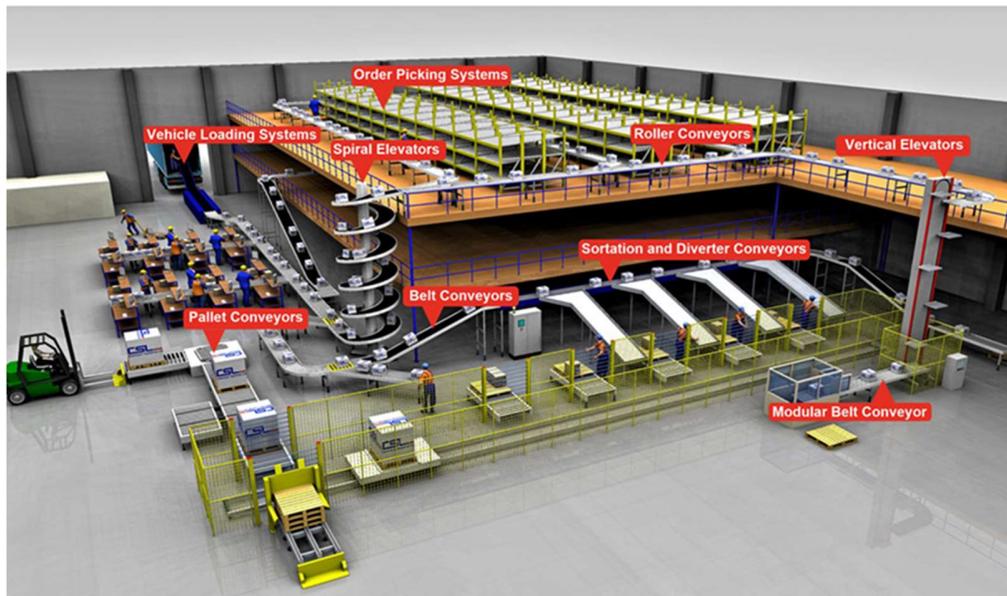


Fonte: Deverhum (2017)

- Questão 9 - PMS (*Pallet Management System*): Sistema de Gerenciamento de Paletes de movimentações logísticas, materiais e componentes conectados diretamente ao sistema de produção. Podemos usar com exemplos, máquinas, equipamentos, linhas de montagem, paletes etc., conectados, conforme ilustrado na figura 38.

18 *Electronic Data Interchange*

Figura 38 - Exemplo de Arquitetura e interações do PMS



Fonte: Google (2018)

- Questão 10 - AGV (*Automatic Guided Vehicle*): ver tópico Ferramentas da I.4.0 deste estudo.
- Questão 11 - CRM (*Customer Relationship Management*): é a Gestão de Relacionamento com o Cliente e representa processos, softwares, estratégias de negócio ou até mesmo uma cultura com objetivo de gerenciar a relação com os clientes para satisfazer e fidelizar, ajudando a reduzir custos e aumentar a qualidade e os lucros do negócio, seguindo um ciclo interdepartamental (GEHM FILHO, 2019), conforme ilustrado na figura 39.

Figura 39 - Arquitetura e interações do CRM



Fonte: Gomez (2014)

- Questões 12 e 13 - RFID (*Radio-Frequency IDentification*), NFC (*Near Field Communication*) e *Bluetooth*:

- RFID é uma tecnologia de identificação por radiofrequência, comumente utilizada para identificar, rastrear e gerenciar grandes quantidades e variedades de produtos, documentos, animais ou pessoas.

O sistema é composto por um leitor com antena, um transponder¹⁹ (*Tag, RF Tag* ou etiqueta eletrônica) e um computador ou outro tipo de controlador. É capaz de capturar dados e permite que o transponder seja lido sem a necessidade de campo visual direto e até através de objetos feitos dos mais diversos materiais, embora exista ainda restrições para metais. Eles podem utilizar transponders passivos, semipassivos ou ativos. Quando aproximamos um transponder passivo do leitor, o campo de radiofrequências do leitor é ativado e alimenta o transponder, que só então pode transmitir dados da sua memória para o leitor e vice-versa. A distância de leitura depende de diversos fatores tais como: tipo do transponder, tamanho da antena, frequência de operação, potência do leitor etc., onde a distância de leitura deve ser otimizada para cada aplicação.

Na figura 40 temos um exemplo de uso na indústria, onde um carro transportador carrega estantes de componentes e, ao passar por um portal de leitura, os componentes são identificados e transferidos automaticamente pelo sistema.

Existem basicamente 4 tipos de frequência de utilização das etiquetas de RFID:

- LF (*Low Frequency*): de 30KHz a 300KHz. As etiquetas desta faixa de frequências operam em 125KHz ou 134,2KHz. Geralmente, são etiquetas passivas e seu maior uso é na identificação de animais, na forma de anéis, brincos ou implantes subcutâneos, e de pessoas também na forma de implantes subcutâneos, onde a distância de leitura é de apenas alguns centímetros.
- HF (*High Frequency*): de 3MHz a 30MHz. Etiquetas construídas em 13,56MHz, normalmente utilizadas como crachás para identificação individual ou então como meio de pagamento, por exemplo em transportes públicos, tal como os bilhetes únicos. A distância de leitura é em torno de 10cm ou pouco mais.
- UHF (*Ultra-High Frequency*): de 300MHz a 1GHz. Nesta faixa, os transponders são fabricados nas faixas de frequências de 433MHz, para uso em rastreamento de cargas, tais como contêineres, vagões, caminhões etc. Nessa faixa de frequências, os transponders são mais robustos e ativos, ou seja, energizados com baterias. Outra faixa bastante utilizada é a de 868MHz na Europa e de 915MHz nos Estados Unidos e Brasil.
- Micro-ondas: acima de 1GHz, onde basicamente se utiliza em duas frequências, de 2,45GHz e 5,8GHz. Estas faixas de frequências são utilizadas em aplicações industriais, científicas e médicas. No Brasil, a principal aplicação de transponders nessa faixa de frequências é a de identificação veicular para o pedágio eletrônico.

A transmissão de dados em baixas frequências (LF e HF) são sempre realizadas por meio de acoplamento magnético, exatamente como num transformador, e trabalham em pequenas distâncias. Nas frequências mais altas (UHF e micro-ondas) as transmissões se

¹⁹ *Transponder* é a junção de dois termos em inglês *transmitter* e *responder*. Basicamente é composto de um componente que emite sinais de radiofrequência até outro componente que os recebe. Se o sinal for alterado por um agente externo, o componente receptor acusa e executa uma ação, que pode ser o disparo de um alarme, corte ou bloqueio do funcionamento do veículo etc. (CHIPTRONIC, 2018).

propagam na forma de campos eletromagnéticos e consegue-se atingir distâncias maiores, como no celular (PUHLMANN, 2015).

- NFC ou Comunicação de Campo Próximo é uma tecnologia que permite a comunicação sem fio e de forma segura entre dois dispositivos compatíveis, através da aproximação entre eles, com a geração de um campo de alta frequência e curto alcance. O NFC tem um alcance de menos de 10 centímetros, atinge uma velocidade máxima de 424Kbps e consumo máximo de 15mA, sendo menor que a do Bluetooth (SILVA et al., 2014; CANALTECH, 2016).
- Bluetooth é também uma tecnologia de comunicação sem fio de curto alcance, podendo atingir até 100 metros. Sua taxa de transmissão chega a 2,1Mbps e o consumo de energia é no máximo de 30mA (SILVA et al., 2014; CANALTECH, 2016).

No contexto desse trabalho consideramos implícita a tecnologia wifi em nosso cotidiano, porém, julgamos oportuno compará-la com as demais tecnologias de comunicação para melhor compreensão. Possui um alcance de 50 a 100 metros, uma velocidade de transmissão que pode chegar até 2.600Mbps e permite um número muito maior de acesso simultâneo, porém, como consequência, um maior consumo de energia.

Para maiores detalhes, vide o tópico “Rastreabilidade Inteligente” no capítulo Técnicas da I.4.0.

Figura 40 - Exemplo de produtos sendo identificados em portal de leitura por RFID



Fonte: Peitzker (2015)

- Questão 14 - técnicas ou sistemas de automatização e/ou robotização na produção: Consideramos máquinas equipadas com sensores conectados na nuvem, comunicando-se com outras máquinas e com operadores humanos em tempo real. Foram desenvolvidas inicialmente para processos de soldagem, pintura e movimentação de material e, com o desenvolvimento da informática e da tecnologia, apareceram a robótica colaborativa (figura

41), onde há interface direta homem-máquina, e a Robótica Avançada, hoje utilizada com alta precisão em processos de montagem, na fabricação de semicondutores, e robôs humanoides, aqui sendo a expressão máxima do uso da IA, indo além do ambiente de manufatura.

Figura 41 - Exemplo de Robô colaborativo interagindo



Fonte: Elco (2018)

- Questão 15 - Ferramentas de sistemas digitais portáteis no controle do processo: São ferramentas mais comuns, do tipo celulares (*smart phones*), tablets etc., utilizadas como interface homem-máquina-sistemas, conforme ilustrado na figura 42. Para maiores detalhes ver tópico Realidade Aumentada.

Figura 42 - Exemplos de sistemas digitais portáteis (celulares e tablets) na indústria



Fonte: Rockwell Automation (2018)

- Questão 16 - IoS (*Internet of Service*) utilizada para compra de produtos, componentes ou serviços diretamente através do portal digital de fornecedores. Para maiores detalhes ver tópico específico de IoS.
- Questão 17 - OEM (*Original Equipment Manufacturer*): Compra e venda de produtos, componentes ou serviços iniciais, reposição ou assistência técnica, diretamente pelo portal digital ou Aplicativo da empresa.

- Questão 18 - IoD (*Internet of Data*) utilizado através do uso de ferramenta ou sistema *Big Data* para armazenamento de dados de informática – Para maiores detalhes, ver tópico IoD.
- Questão 19 – Uso de sistema de nuvem (*Cloud Computing*) para armazenamento de dados de informática (*Big Data*). Consiste em um processo analítico projetado para armazenar e explorar grandes quantidades de dados, onipresente (pervasivo), conveniente e por demanda, compartilhando uma rede de conjuntos de recursos de computação configuráveis (por exemplo, redes, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços) que podem ser rapidamente provisionados e liberados com um mínimo de esforço ou mínima interação do provedor do serviço (MELL E GRANCE, 2011). Tipicamente são relacionados a negócios, mercado (mídias) ou pesquisas científicas.
- Questão 20 - PDM (*Product Data Management* ou Gerenciamento de Dados do Produto): é uma ferramenta ou sistema que permite o armazenamento e controle de arquivos, estruturação e visualização do produto, gerenciamento dos dados de projeto do produto em CAD²⁰ / CAE²¹ / CAM²² / CAPP²³, e fornecendo dados para o fluxo de informações em Tempo Real e integrado em toda a organização.
- Questão 21 - Manufatura Aditiva (Impressão 3D): ver tópico específico deste estudo.
- Questão 22 - Manutenção Preditiva: Para maiores detalhes, ver tópico específico deste estudo.
- Questão 23 – Plano de eficiência energética ou uso de energia renovável: O respondente é convidado a responder conforme seu conhecimento ou sua percepção dentro da organização. Este tópico foi acrescentado neste trabalho devido ao fato de que um dos grandes desafios da I.4.0 é o atendimento sustentável da alta demanda de energia para a grande conectividade, onde espera-se impactos positivos, desde a maior geração distribuída (energia fotovoltaica, eólica etc.), o desenvolvimento de fontes alternativas (baterias) de maior capacidade de armazenagem de energia e a maior eficiência na distribuição e utilização, permitindo menor consumo e melhor equilíbrio das redes, conforme ilustrado na figura 43 (WORLD ECONOMIC FORUM, 2017).

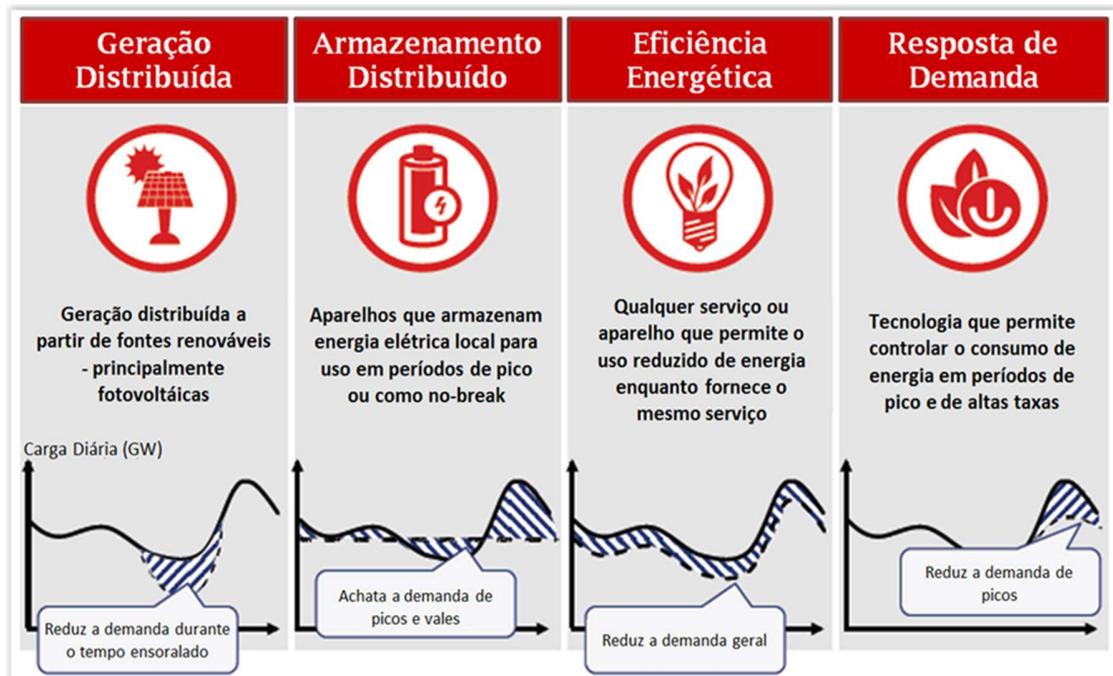
20 *Computer-Aided Design*

21 *Computer Aided Engineering*

22 *Computer-Aided Manufacturing*

23 *Computer Aided Process Planning*

Figura 43 - Figura 43 - Impacto da I.4.0 na matriz energética



Fonte: Adaptado de World Economic Forum (2017)

- Questão 24 – Se existe na empresa um plano de treinamento ou formação interna e/ou externa para entendimento e/ou implementação do conceito da I. 4.0, partindo de inicial ou “não existente”, ou ainda “não sei”, onde nestes 2 casos o respondente é convidado a justificar no comentário, em implementação, intermediário, em fase final de implementação, ou implementado.
- Questão 25 – Se o projeto Indústria 4.0 faz parte do Planejamento Estratégico de Negócios e/ou Operacional da empresa para os próximos 3 anos. Neste caso as opções vão de “discordo totalmente, discordo, indiferente, concordo, até concordo totalmente”.
- Questão 26 – Se existe a percepção dentro da organização, que a utilização dos conceitos da I.4.0 irá aumentar a competitividade da empresa. Da mesma forma, as opções vão de “discordo totalmente, discordo, indiferente, concordo, até concordo totalmente”.
- Questão 27 - Qual é a origem do capital de investimento da empresa ou organização do respondente, partindo de “não sei, nacional, estrangeira, misto ou outro”, sendo que para os casos de capital estrangeiro ou misto, o respondente é convidado a descrever o(s) país(es) de origem do(s) mesmo(s).
- Questão 28 – ERP (*Enterprise Resource Planning* ou Sistema de Gestão Integrado): É uma tecnologia desenvolvida através da ampliação do MRP II, integrando também atividades de planejamento, vendas, marketing, finanças e recursos humanos, que auxilia o gestor da empresa a melhorar os processos internos e integrar as atividades dos diferentes setores

(figura 44). A partir da centralização das informações em uma plataforma, o fluxo de dados corporativos se torna mais fluido e é compartilhado com facilidade. Ao mesmo tempo, essas soluções eliminam a multiplicidade de informações e, com isso, a solução se mantém como uma base única e íntegra. O resultado é o acesso a insights valiosos, que contribuem para uma tomada de decisão acertada (SLACK et al., 2002).

Neste projeto consideramos o ERP, ou sistema similar, integrado diretamente a máquinas, equipamentos ou aparelhos (coisas), informando automaticamente às máquinas a ordem de produção, e como retorno, as máquinas informando automaticamente seus resultados, através da conexão com os demais processos da organização.

Figura 44 - ERP e interações com os processos da organização

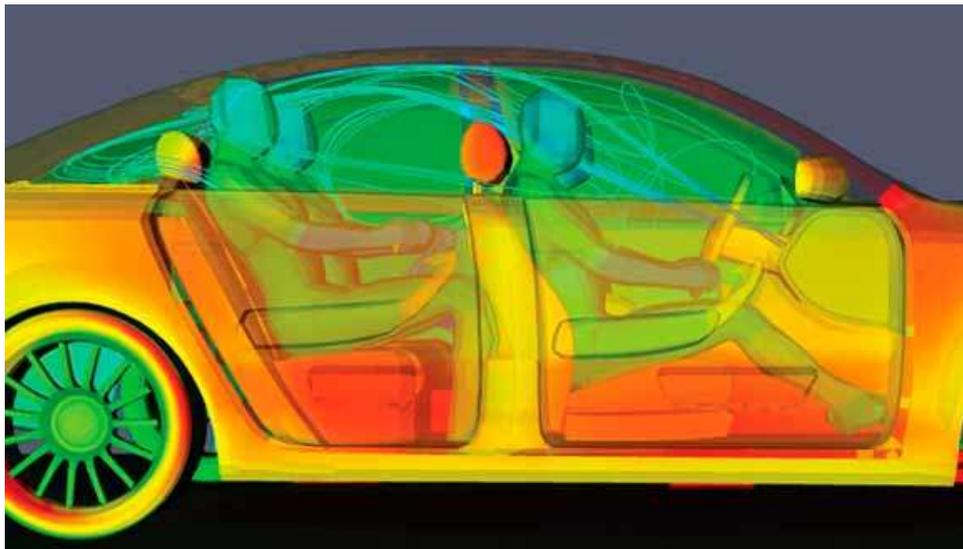


Fonte: RZ Sistemas (2018)

- Questão 29 - FMS (*Flexible Manufacturing System* ou Sistema Flexível de Manufatura) é um sistema com grande flexibilidade e altamente automatizado, podendo ter diversas funções, mas a principal é produzir produtos diferentes ao mesmo tempo, em um único equipamento e com a utilização de apenas um programa, diminuindo tempo de troca de ferramental (*set-up*) e de mão de obra, aumentando sua eficiência, porém, em contrapartida, exige profissionais mais qualificados para operá-lo (PHOTOBUCKET, 2018). Neste projeto o objetivo é identificar se o FMS possui flexibilização automática da cadeia de produção integrado diretamente a máquinas, equipamentos ou aparelhos (coisas), e se o sistema identifica e define automaticamente as variações do modelo de produto a ser produzido e respectivo processo produtivo.

- Questão 30 - Sensoriamento inteligente: Para maiores detalhes, ver tópico específico deste estudo.
- Questão 31 - AR (*Augmented-Reality* ou Realidade Aumentada): Para maiores detalhes, ver tópico específico de AR deste estudo.
- Questão 31 - VR (*Virtual-Reality* ou Realidade Virtual): Para maiores detalhes, ver tópico específico de VR deste estudo.
- Questão 32 - *Softwares* de simulação no desenvolvimento de produtos e/ou processos: A simulação computacional de sistemas consiste na utilização de técnicas matemáticas (algoritmos) empregadas em computadores, que permitem modelar ou simular (imitar) digitalmente o funcionamento de praticamente qualquer tipo de produto (figura 45), operação ou processo (figura 46) do mundo físico, com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua construção, preparação, correção e operação (PARAGON DECISION SCIENCE, 2018).

Figura 45 - Exemplo de simulação de desenvolvimento de produto



Fonte: Camargo (2012)

Na figura 45 temos ilustrada uma simulação de produto sendo aplicada, onde vemos as variações de temperatura de acordo com as variações de cores (verde mais frio e vermelho mais quente). Vemos também a simulação de fluxos de ar no interior do veículo através de linhas azuis.

Na figura 46 vemos a ilustração “congelada” de uma simulação contínua de fluxo de produtos em um processo produtivo.

Figura 46 - Exemplo de simulação de processos de manufatura



Fonte: Long (2012)

- Questão 33 - *IoD (Internet of Data* ou Internet de Dados) através do uso de técnica ou sistema *Big Data Analytics* para análise estratégica dos dados do *Big Data*: O conceito de *Analytics* é a de executar análise dos dados do *Big Data*, traduzidos em informações que auxiliem na tomada de decisões estratégicas na cadeia de valor da organização. Para maiores detalhes, ver tópicos específicos deste estudo.
- Questão 34 – *Cyber Security* (segurança cibernética) - utiliza a *IoD*, através do uso de técnica ou sistema *Cyber Security* para segurança dos dados de informática: a segurança cibernética vai além dos limites da segurança da informação tradicional para incluir não apenas a proteção dos recursos de informação, mas também a de outros ativos, incluindo a própria pessoa. Na segurança da informação, a referência ao fator humano geralmente se relaciona com o papel das pessoas no processo de segurança. Na segurança cibernética, esse fator tem uma dimensão adicional, ou seja, as pessoas como alvos potenciais de ataques cibernéticos ou mesmo ignorar estar sendo utilizado na participação de um ataque cibernético. Esta dimensão adicional tem implicações éticas para a sociedade, uma vez que a proteção de certos grupos vulneráveis, por exemplo, crianças, pode ser vista como uma responsabilidade social (SOLMS E NIEKERK, 2013).
Neste projeto o grupo vulnerável em foco é a dos negócios, ou seja, a segurança de dados das corporações.
- Questão 35 - *PLM (Product Lifecycle Management)*: São ferramentas ou sistemas do tipo abrangendo todas as funcionalidades dos sistemas *PDM / EDM*²⁴ / *GED*²⁵, *CAD / CAE /*

²⁴ *Electronic Document Management*

²⁵ *Gestão Eletrônica de Documentos*

CAM / CAPP, da gestão de projetos e está intimamente integrado com os sistemas ERP, CRM e SCM, fornecendo dados para o fluxo de informações em Tempo Real, durante a vida do produto e integrado em toda a organização, gerenciando desde a identificação das necessidades dos clientes, desenvolvimento do produto, manufatura e entrega, conforme detalhe da figura 47 (PRIYADARSHI, 2018).

Figura 47 - Gerenciamento do Ciclo de Vida de Produto



Fonte: Priyadarshi (2018)

- Complemento das Questões 20 e 35- CAD (*Computer-Aided Design*) / CAE (*Computer Aided Engineering*) / CAM (*Computer-Aided Manufacturing*) / CAPP (*Computer Aided Process Planning*): São softwares assistidos por computador para processamento de cálculos de Design (CAD), Engenharia (CAE), Manufatura (CAM) e Planejamento do Processo (CAPP). Conforme Saldanha (2017), cada programa tem um foco de atuação e um propósito, sendo:
 - CAD é uma tecnologia computadorizada com foco no desenho do produto e na documentação da fase de projeto, durante o processo de engenharia. O CAD pode facilitar o processo de manufatura, transferindo diagramas detalhados dos materiais utilizados nos produtos, processos, tolerâncias e dimensionamentos. Isso pode ser usado tanto para produção de desenhos 2D e/ou 3D, possibilitando a visualização pela rotação em qualquer ângulo para todas as vistas, sejam internas ou externas.
 - CAE é o uso de programas de computador para auxiliar nas tarefas de análise de engenharia que incluem a análise de elementos finitos (FEA²⁶), dinâmica computacional de fluidos (CFD²⁷), dinâmica de multicorpos (MDB²⁸) e otimização. São utilizados, por exemplo, para analisar a robustez e o desempenho de componentes e conjuntos e engloba simulação, validação e otimização de produtos e ferramentas de fabricação.
 - CAM é o uso de um software para controlar ferramentas de máquinas e equipamento relacionado ao processo de fabricação. CAM também pode referir-se à utilização de um computador para ajudar em todas as operações de uma planta de fabricação, incluindo

²⁶ Finite Element Analysis

²⁷ Computational Fluid Dynamics

²⁸ Multi Body Dynamic

planejamento, gestão, transporte e armazenamento. Seu objetivo principal é criar um processo mais rápido de produção e a produção de componentes e ferramentas com dimensões mais precisas e consistentes.

- CAPP é o uso de programas de computador para planejamento de processos contendo informações de operações, fixação, troca de dispositivos (*set-up*), sequência de operações, ferramental, parâmetros, estimativa de custos etc., auxiliando na Gestão da Produção (ÁLVARES E FERREIRA, 2003).
- CAM é um processo assistido por computador subsequente ao CAD e, por vezes, posterior à engenharia assistida por computador (CAE). Como exemplo, a geração de um modelo em CAD, verificado em CAE, gerando a entrada para o CAM, que por sua vez controla uma máquina-ferramenta.

Em um sistema de produção integrado, o modelo do produto definido pelo CAD, deve estar disponível para os demais módulos (CAE, CAPP e CAM) para que estes possam realizar suas funções. Da mesma forma os demais módulos também devem ser capazes de enviar informações de realimentação ao CAD, possibilitando que alterações necessárias sejam realizadas ainda na fase de projeto, através de simulações de fabricação.

- Questão 36 – Se a empresa utiliza alguma política governamental para implementação do conceito I. 4.0, tais como linha de crédito ABDI (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial), incentivos financeiros, subsídios, suporte para o desenvolvimento e/ou treinamento etc. Neste caso o respondente é convidado a responder nas opções que vão de “discordo totalmente, discordo, indiferente, concordo, até concordo totalmente”, e comentar, caso tenha uma abordagem ou fomentação diferente.
- Questão 37 – O respondente é convidado a responder de forma dissertativa se sua empresa utiliza algum princípio, técnica ou ferramenta não mencionada anteriormente, ou tem uma percepção diferente do tema que considere significativo.
- Questão 38 - O respondente é convidado a responder se em termos gerais, a abordagem de sua análise neste questionário considerou “parte da empresa, a empresa toda no Brasil, a empresa toda globalizada ou outro, onde o respondente é convidado a descrever no comentário.

Importante observar que como critério de aceitação das respostas, foi considerado a avaliação de adequação completa da empresa, ou mesmo a utilização do conceito I.4.0 em apenas um processo piloto na organização, buscando identificar a existência de Integração Vertical e Horizontal dentro do negócio das organizações, conforme recomendação de Hermann et al., (2015).

Observar também que algumas dessas técnicas e ferramentas expostas, embora já existentes antes do início da 4ª Revolução Industrial, adquirem nova abordagem ao se relacionarem com os conceitos da I.4.0 e com as novas tecnologias disruptivas, como por exemplo, os softwares ERP / MRP, MES, CRM etc., interagindo diretamente com as máquinas, o que pode ser mais facilmente compreendido na exploração dos questionários descritos nos Apêndices.

3.8. Limitações do estudo

O estudo bibliográfico limitou-se aos artigos relacionados ao tema “Indústria 4.0”, artigos científicos (congressos e revistas), revistas técnicas não científicas, publicações governamentais e de consultorias disponíveis. A pesquisa ocorreu no setor de autopeças por ter sido uma escolha intencional, conforme já abordado.

Como restrição do estudo, além da contemporaneidade do tema I.4.0, temos a subjetividade de interpretação e compreensão das questões por parte dos respondentes, uma vez que mudam as abordagens atuais de complexidade de comunicação na cadeia de valor. Temos ainda a limitação das respostas em índices de pontuação preestabelecidos que compreendem os limites das faixas especificadas na tabela 2 (0; 0,25; 0,5; 0,75; 1), não permitindo escolhas intermediárias ao mesmo. Os dados descritos nas tabelas de análise deste estudo não obedecem necessariamente a essa restrição, pois em alguns casos são as médias ponderadas dos dados colhidos de vários respondentes da mesma empresa.

4. Estudo de Caso

Conforme vimos, esta Dissertação tem por objetivo avaliar um método para identificar o Grau de Maturidade das indústrias em relação aos conceitos da I.4.0 e dar melhor suporte a orientação de investimentos e, para tal, o método foi testado em um estudo de caso, através de uma amostragem do setor de Autopeças Brasileiro. Assim sendo, julgamos oportuno uma contextualização da importância dos segmentos automotivos e de autopeças.

4.1. Indústria Automotiva Brasileira

A indústria automotiva brasileira teve seus primeiros alicerces com as instalações das fábricas da Ford em 1919 e da GM em 1925, mas somente a partir dos anos 1960 o Brasil tornou-se um país industrializado, em grande parte movido pelo setor automotivo (ANFAVEA, 2016). Como vimos na Justificativa, desde a industrialização o setor veio crescendo e experimentou uma forte expansão entre 2003 e 2012, no entanto, desde setembro de 2013 vem sofrendo quedas contínuas e diminuindo sua participação no Produto Interno Bruto-PIB, que em 2010 foi na ordem de 6,3%, caiu gradativamente até 2015 quando chegou a 4,1% (GAZETA DO POVO, 2016), terminou 2016 com 3,8% de participação e encerrou 2017 com 3,3% de participação.

O Plano Nacional de Exportações-PNE para o período de 2015-2018, que foi introduzido pelo Governo Federal em junho de 2015, visando promover o aumento das vendas internacionais, tem minimizado pouco o efeito negativo do mercado interno, por consequência da crise econômica do país. Isso se comprova com os dados de Costa (2016), uma vez que, apesar do aumento das exportações que passou de 16,3 mil unidades em 2014 para 46,2 mil unidades em 2015, com um balanço positivo de 29,9 mil unidades ou 183,5%, não retomou o patamar de 2013 que foi de 64,1 mil unidades e, por outro lado, as vendas no mercado interno caíram de 3,5 milhões em 2014 para 2,57 milhões de veículos em 2015, ou seja, uma queda de 930 mil unidades (-26,6%), acarretando um grande impacto no setor e na economia geral do país.

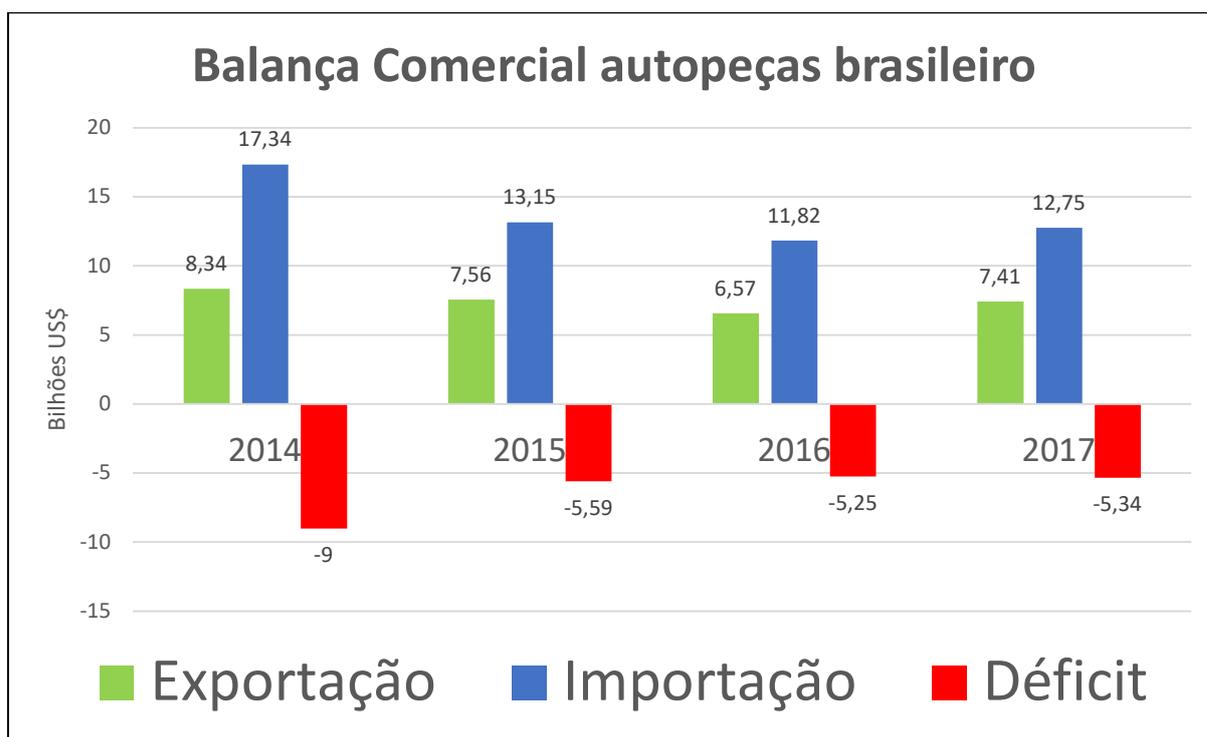
O setor sofre ainda ameaças de diminuição do crescimento através de novos modelos de negócios, tais como o aplicativo Uber e similares, que traz um tipo de solução de mobilidade mais barata e eficiente nos médios e grandes centros. O grande investimento necessário para o desenvolvimento de veículos autônomos e híbridos, também vêm diminuindo a atração de novos compradores de veículos. Outra ameaça é a mudança comportamental das novas gerações Y e Z, onde observa-se que a juventude atual não tem como prioridade ter seu próprio carro, mas sim ter uma mobilidade mais inteligente e sustentável, buscando cada vez mais o compartilhamento de veículos (*Shared Car*).

4.2. Segmento de Autopeças Brasileiro

O segmento de autopeças no Brasil por sua vez, foi o precursor da indústria automotiva, pois as empresas iniciavam como importadores de veículos e, após terem sucesso, se transformavam realmente em montadoras, mas ainda importando os componentes. Com o advento da 2ª guerra mundial entre 1939 e 1945, a importação tornou-se difícil dando início aos primeiros fabricantes de autopeças no Brasil (ANFAVEA, 2016). Após o término de leis protecionistas a partir da década de 1990 e da introdução dos conceitos de criação de valor e de cadeias globais de fornecimento a partir do ano 2000, o setor teve uma inserção significativa no mercado internacional (LACERDA, 2015).

O volume de exportações do mercado de autopeças brasileiro cresceu sucessivamente entre 2003 e 2008, mas depois com a crise americana e mundial, retraiu em 2009 e 2010, voltando a crescer em 2011, quando chegou ao maior valor de exportação até o momento, de US\$11,4 Bilhões(Bi) FOB²⁹, mas desde então, vem decrescendo e fechou o ano de 2015 com US\$7,56 Bilhões, 2016 com US\$6,57 Bi FOB e 2017, com ligeiro aumento, chegando ao valor de US\$7,41 Bi FOB (SINDIPEÇAS e ABIPEÇAS, 2016; 2017) , conforme ilustrado na Figura 48.

Figura 48 - Balança comercial do segmento autopeças brasileiro



Fonte: Próprio autor

Embora a balança comercial entre exportações e importações de autopeças brasileiras venha melhorando percentualmente nos últimos anos, ela ainda é negativa. De 2007 a 2013 o déficit aumentou significativamente, já que as importações de 2007 foram de US\$9,4 Bilhões FOB, com um déficit comercial de US\$152 Mi, e em 2013 as importações foram de US\$19,7 Bi FOB, com um déficit comercial de US\$9,9 Bi e, embora em 2014 e 2015 as importações diminuíssem para US\$17,34 Bi FOB e US\$13,15 Bi FOB, respectivamente, o déficit comercial permaneceu alto devido a retração das exportações no mesmo período, com déficits em valores de US\$9,0 Bi e US\$5,59 Bi, respectivamente, com referência aos anos precedentes. Em 2016 as importações diminuiriam para US\$11,82 Bi FOB com redução de 10,1%, porém o déficit comercial foi de US\$5,26 Bi, diminuindo apenas 6% em relação ao ano anterior. Em 2017 a situação melhorou um pouco, pois apesar das importações aumentarem para US\$12,75 Bi FOB

²⁹ *Free On Board*: Nesta modalidade, o remetente da mercadoria (exportador) é responsável pelos custos de transporte e seguro da carga somente até que esta seja embarcada no navio. O comprador (importador) torna-se responsável pelo pagamento do transporte e do seguro a partir daí (nota do autor).

com aumento de 7,8%, o déficit comercial foi de US\$5,34 Bi, aumentando apenas 1,5% em relação ao ano anterior, ou seja, houve mais crescimento nas exportações que nas importações (SINDIPEÇAS e ABIPEÇAS, 2016; 2017).

Os países que estão liderando a introdução da I. 4.0 são os maiores importadores do setor de autopeças brasileiro, sendo que a Alemanha (5º maior importador) e Estados Unidos (2º maior importador), juntos compõem uma participação em 2015 de cerca de 23% do total de exportações brasileiras. Na análise da participação brasileira em nível global observa-se que 47% ou US\$ 3,56 Bilhões do total de exportações brasileiras em 2015, representando quase a metade do valor total, foi para a América do Norte (26%) e Europa (21%), constituídos em sua maioria de países desenvolvidos. Em 2016 as exportações para a América do Norte foi praticamente a mesma, atingindo 26% e para a Europa chegou a 24%. Na balança comercial com a América do Norte houve um déficit de US\$ 0,65 Bi, que foi minimizado pela atratividade das exportações motivado pela desvalorização da moeda brasileira frente ao dólar americano, porém, apesar desse efeito e sua correspondência frente ao Euro, na Europa o déficit foi de US\$ 2,63 Bi, sendo que juntos, o déficit comercial brasileiro foi de US\$ 3,27 Bi ou 58,45%, em um déficit total de US\$ 5,594 Bi. Observa-se ainda que a balança comercial com a Ásia & Oceania (basicamente China, Coreia do Sul e Tailândia) é ainda pior, pois fechou 2015 com um déficit de US\$ 3,14 Bi, ou 56,1% do total, no mesmo déficit total brasileiro de US\$ 5,594 Bi, enquanto em 2016 fechou com déficit de US\$ 2,53, representando 48,2% do total (SINDIPEÇAS e ABIPEÇAS, 2016; 2017).

Essa análise demonstra que o setor de autopeças brasileiro vem perdendo, significativamente, a competitividade mundial com baixas exportações, apesar de melhoria percentual na balança comercial e, como vimos anteriormente, a introdução dos conceitos da I.4.0 deve aumentar a competitividade dos países mais desenvolvidos, portanto, com maiores possibilidades de diminuir o poder de exportação brasileiro, aumentando assim o desafio do setor. Entender o grau de maturidade da I. 4.0 no setor de autopeças brasileiro pode contribuir na sensibilização da sociedade empresarial e do governo na tomada de ações para adequação, reação e sustentabilidade do setor.

4.3. Proposta de Aplicação do Questionário

Como vimos anteriormente, a proposta do projeto é a utilização do método de aplicação de questionário à profissionais de empresas do segmento estudado e a estratificação dos resultados em formatos específicos para interpretação e direcionamento de ações.

Também como vimos anteriormente, para melhor compreensão da formulação do questionário, foi elaborado um estudo comparativo entre as principais características da I.4.0 e da I.3.0, conforme “mandala” comparativa da figura 32.

Inspirado então neste comparativo das principais diferenças de escopo entre I.3.0 e I.4.0, foi elaborado um questionário que pudesse identificar como algumas técnicas e ferramentas interagem e se integram diretamente e de forma prática a máquinas, equipamentos, aparelhos (coisas) ou a sistemas existentes, como parte das premissas da I.4.0. Já seus Princípios foram considerados implícitos, uma vez que se não existirem, os sistemas e a conectividade não se complementarão adequadamente.

Por questões didáticas e estratégicas, o questionário foi subdividido em 2 partes, sendo a primeira um questionário “resumido” contendo um total de 26 questões obrigatórias para os respondentes, e um questionário de “complemento” ao resumido, contendo adicionais 13 perguntas opcionais, que juntas perfazem o total de 39 questões. Neste estudo foram considerados apenas os questionários respondidos por completo (obrigatórias-1ª parte e complemento-2ª parte).

5. Resultados e Discussões

Conforme esclarecido anteriormente, foi escolhido o método OPM3 com a escala Likert de 5 pontos para identificar um índice que pudesse ser compatível com a cultura de indicadores utilizada no segmento industrial, e o método Promethee, que normalmente é utilizado para ordenamento, neste projeto foi utilizado para dar uma interpretação multicriterial nos resultados, gerando uma maior visibilidade, principalmente no direcionamento de ações em busca do aumento do grau de maturidade da I.4.0 no setor avaliado.

Também como vimos anteriormente, o questionário foi submetido a 150 profissionais de 45 indústrias do setor de autopeças, através de meio eletrônico, com convite por e-mail e preenchimento pela internet utilizando-se a ferramenta Google-Formulário, e presencialmente, ministrado em treinamento específico realizado pelo Mestrando, obtendo um retorno de 33 de respondentes (22%) de 19 empresas (42,2%).

5.1. Análise método OPM3/Likert

Após a coleta de todas as respostas validadas das 39 perguntas do questionário, que conta com 33 respondentes de 19 empresas, aqui representadas pelas letras “A até S” (empresa A, B, C,... até empresa S), os resultados (índices de pontuação com base na tabela 2) foram compilados, agrupados e organizados em 2 duas formas: Por área organizacional ou departamento (depto.) das empresas nas colunas da tabela 4 e por tecnologia aplicada mostrado nas colunas da tabela 5.

Na compilação por área (depto.) da tabela 4, os resultados foram organizados com a aplicação das técnicas e ferramentas da I.4.0 em cada uma das 5 áreas ou departamentos das empresas respondentes: Manufatura, Comercial, Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e Administração.

Tabela 4 - Pontuação estratificada por área ou depto. das empresas respondentes (A-S)

| Área Empresa | Manufatura | Comercial | TIC | P&D | Administração | média das empresas por área |
|-----------------|------------|-----------|-------|-------|---------------|-----------------------------------|
| A | 0,339 | 0,250 | 0,438 | 0,375 | 0,125 | 0,319 |
| B | 0,143 | 0,083 | 0,000 | 0,000 | 0,188 | 0,103 |
| C | 0,506 | 0,500 | 0,479 | 0,479 | 0,417 | 0,486 |
| D | 0,357 | 0,333 | 0,500 | 0,375 | 0,813 | 0,440 |
| E | 0,232 | 0,500 | 0,000 | 0,438 | 0,000 | 0,224 |
| F | 0,250 | 0,583 | 0,313 | 0,500 | 0,375 | 0,345 |
| G | 0,214 | 0,333 | 0,500 | 0,625 | 0,063 | 0,302 |
| H | 0,339 | 0,083 | 0,500 | 0,188 | 0,625 | 0,353 |
| I | 0,030 | 0,028 | 0,042 | 0,000 | 0,313 | 0,066 |
| J | 0,071 | 0,083 | 0,125 | 0,125 | 0,375 | 0,129 |
| K | 0,098 | 0,000 | 0,219 | 0,406 | 0,281 | 0,172 |
| L | 0,000 | 0,000 | 0,250 | 0,000 | 0,125 | 0,052 |
| M | 0,214 | 0,083 | 0,375 | 0,125 | 0,063 | 0,190 |
| N | 0,125 | 0,042 | 0,031 | 0,156 | 0,125 | 0,108 |
| O | 0,214 | 0,083 | 0,000 | 0,250 | 0,625 | 0,233 |
| P | 0,051 | 0,042 | 0,047 | 0,125 | 0,281 | 0,092 |
| Q | 0,036 | 0,000 | 0,063 | 0,125 | 0,188 | 0,069 |
| R | 0,143 | 0,583 | 0,250 | 0,500 | 0,375 | 0,284 |
| S | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| GLOBAL | 0,177 | 0,190 | 0,217 | 0,252 | 0,297 | 0,211 |

Fonte: Próprio autor

As áreas ou departamentos das organizações foram definidas como resultado de um agrupamento por afinidade de atividades comumente utilizadas no segmento, e/ou pelo entendimento de como as tecnologias, técnicas e ferramentas mencionadas no questionário, se relacionam com as empresas, como exemplos:

- A IoT se integrando com o MRP ou MES na Manufatura, ou com o CRM na área Comercial nos processos de relação com clientes;
- A IoD que basicamente é uma atividade de TIC, integrando softwares de simulação no desenvolvimento de produtos (P&D) ou processos (Manufatura);
- Área de Administração que neste estudo aloca os departamentos Jurídico, Financeiro, Recursos Humanos (RH) e direção geral.

No formato de estratificação por tecnologia da tabela 5, temos o resultado da mesma pesquisa, com o mesmo critério da tabela 2, agrupado e calculado agora com a média aritmética ponderada de todas as questões conectadas às 4 principais tecnologias da I.4.0 (IoT, IoS, IoD, CPS), mais aspectos estratégicos e de treinamento de pessoal (HR), fornecendo outra forma de ver o resultado.

A compilação, agrupamento e organização dos resultados apresentados nas tabelas 4 e 5 obedeceram a cálculos de média aritmética ponderada em função da quantidade de perguntas

de todas as questões conectadas a essas 5 áreas ou tecnologias e, com base no critério definido na tabela 2, conforme exemplificado nas tabelas 6, 7, 8 e 9.

Tabela 5 - Pontuação estratificada por tecnologia das empresas respondentes (A-S)

| Tecnologia Empresa | IoT | IoS | IoD | CPS | RH | Estratégia | média das empresas por tecnologia |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|-----------------------------------|
| A | 0,231 | 0,333 | 0,438 | 0,375 | 0,000 | 0,250 | 0,287 |
| B | 0,192 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,250 | 0,111 |
| C | 0,506 | 0,556 | 0,479 | 0,479 | 0,083 | 0,542 | 0,491 |
| D | 0,308 | 0,417 | 0,500 | 0,375 | 0,750 | 1,000 | 0,426 |
| E | 0,192 | 0,750 | 0,000 | 0,250 | 0,000 | 0,000 | 0,213 |
| F | 0,212 | 0,750 | 0,313 | 0,313 | 0,000 | 0,750 | 0,334 |
| G | 0,173 | 0,500 | 0,500 | 0,375 | 0,000 | 0,000 | 0,269 |
| H | 0,385 | 0,250 | 0,500 | 0,125 | 0,250 | 0,625 | 0,362 |
| I | 0,045 | 0,028 | 0,042 | 0,000 | 0,167 | 0,458 | 0,071 |
| J | 0,096 | 0,083 | 0,125 | 0,125 | 0,250 | 0,500 | 0,139 |
| K | 0,000 | 0,125 | 0,219 | 0,375 | 0,125 | 0,500 | 0,144 |
| L | 0,000 | 0,000 | 0,250 | 0,000 | 0,000 | 0,250 | 0,056 |
| M | 0,192 | 0,167 | 0,375 | 0,125 | 0,000 | 0,125 | 0,195 |
| N | 0,106 | 0,042 | 0,031 | 0,188 | 0,000 | 0,250 | 0,107 |
| O | 0,096 | 0,333 | 0,000 | 0,313 | 0,750 | 0,875 | 0,222 |
| P | 0,041 | 0,083 | 0,047 | 0,070 | 0,313 | 0,313 | 0,081 |
| Q | 0,000 | 0,083 | 0,063 | 0,125 | 0,000 | 0,375 | 0,065 |
| R | 0,000 | 0,583 | 0,250 | 0,750 | 0,250 | 0,625 | 0,269 |
| S | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| GLOBAL | 0,146 | 0,268 | 0,217 | 0,230 | 0,155 | 0,425 | 0,204 |

Fonte: Próprio autor

Na tabela 6 exemplificamos o resultado detalhado apenas para as empresas “A e B” para as respostas em questões conectadas ao tema Manufatura das mesmas. O mesmo critério foi seguido para as demais empresas. Estes números foram então normalizados (pontuação entre 0-1) e compilados conforme a tabela 2, gerando os dados da tabela 7 e suas respectivas médias normalizadas, neste caso, o valor de 0,339 para a empresa “A” e 0,143 para a empresa “B” (destacados com uma elipse), conforme vemos como parte da tabela 4 (destacado com uma elipse).

Tabela 6 - Média das questões sobre Manufatura – pontuação original

| EMPRESA | QUESTÕES SOBRE "Manufatura" (pontuação: 0; 1; 2; 3 ou 4) | | | | | | | | | | | | | | MÉDIA |
|---------|--|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | 13 | 14 | 15 | 21 | 22 | 29 | 30 | 31 | 32 | |
| A | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 4 | 2 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1,357 |
| B | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0,571 |

Fonte: Próprio autor

Tabela 7 - Média das questões sobre Manufatura – pontuação convertida (normalizada)

| EMPRESA | QUESTÕES SOBRE "Manufatura" (pontuação: 0; 0,25; 0,5; 0,75 ou 1) | | | | | | | | | | | | | | MÉDIA |
|---------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | 13 | 14 | 15 | 21 | 22 | 29 | 30 | 31 | 32 | |
| A | 0,00 | 0,25 | 0,00 | 0,00 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,25 | 1,00 | 0,50 | 0,00 | 0,25 | 0,50 | 0,50 | 0,339 |
| B | 0,25 | 0,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,75 | 0,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,25 | 0,25 | 0,00 | 0,00 | 0,143 |

Fonte: Próprio autor

Na tabela 8 exemplificamos o resultado detalhado apenas para as empresas “A e B” para as respostas em questões conectadas ao tema tecnológico IoT das mesmas. Estes números foram então normalizados e compilados conforme a tabela 2, gerando os dados da tabela 9 e suas respectivas médias, neste caso, o valor de 0,231 para a empresa “A” e 0,192 para a empresa “B” (destacados com uma elipse), conforme vemos no detalhe da tabela 5 (destacado com uma elipse).

Tabela 8 - Média das questões sobre IoT – pontuação original

| EMPRESA | QUESTÕES SOBRE "IoT" (pontuação: 0; 1; 2; 3 ou 4) | | | | | | | | | | | | | MÉDIA |
|---------|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 28 | 29 | 30 | 31 | |
| A | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0,923 |
| B | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0,769 |

Fonte: Próprio autor

Tabela 9 - Média das questões sobre IoT – pontuação convertida (normalizada)

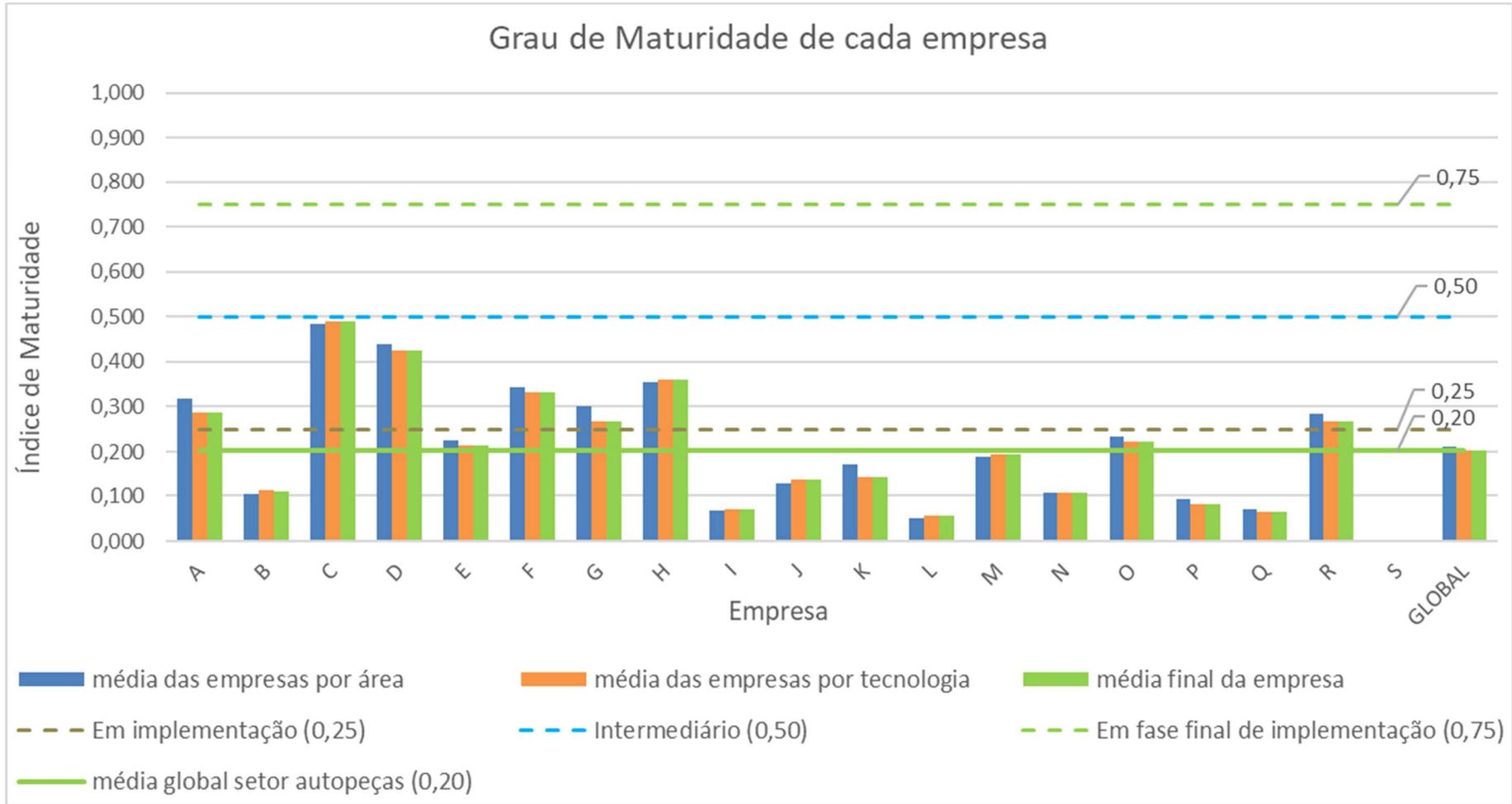
| EMPRESA | QUESTÕES SOBRE "IoT" (pontuação: 0; 0,25; 0,5; 0,75 ou 1) | | | | | | | | | | | | | MÉDIA |
|---------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 28 | 29 | 30 | 31 | |
| A | 0,00 | 0,25 | 0,00 | 0,00 | 0,25 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,25 | 0,00 | 0,00 | 0,25 | 0,50 | 0,231 |
| B | 0,25 | 0,25 | 0,00 | 0,00 | 0,25 | 0,00 | 0,75 | 0,25 | 0,00 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,00 | 0,192 |

Fonte: Próprio autor

Posteriormente esses mesmos dados das tabelas 4 e 5 foram disponibilizados nas Figuras 49, 50 e 51, possibilitando uma análise mais detalhada e o cruzamento de interpretações dos resultados.

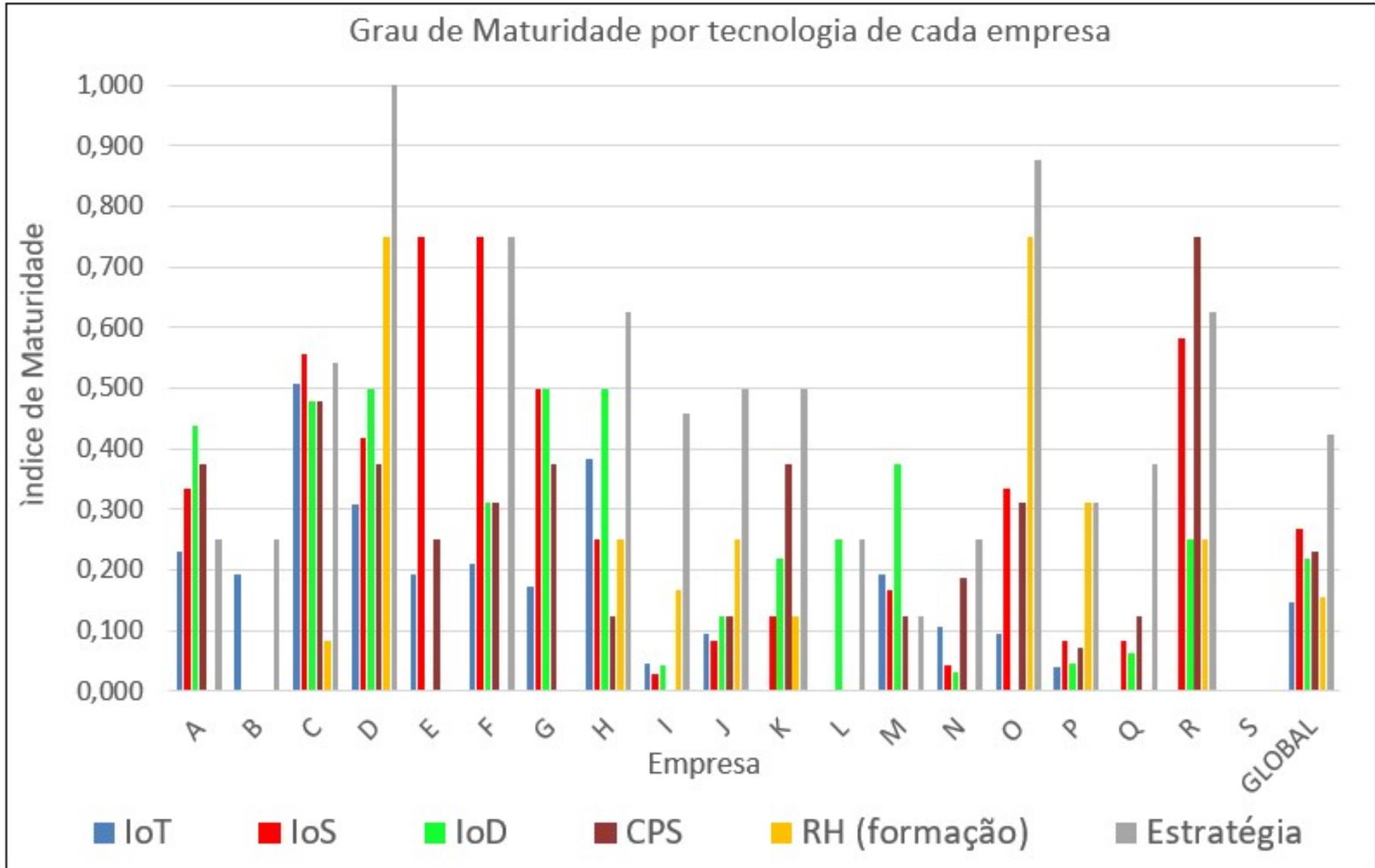
A Figura 49 representa o grau de maturidade com os índices médios ponderados de cada empresa nas estratificações por área (depto.) e por tecnologia, além da média final ponderada de cada empresa. A Figura 50 representa o grau de maturidade com os índices estratificados por tecnologia para cada empresa. A Figura 51 representa o grau de maturidade com os índices estratificados por área para cada empresa.

Figura 49 - Grau de Maturidade de cada empresa



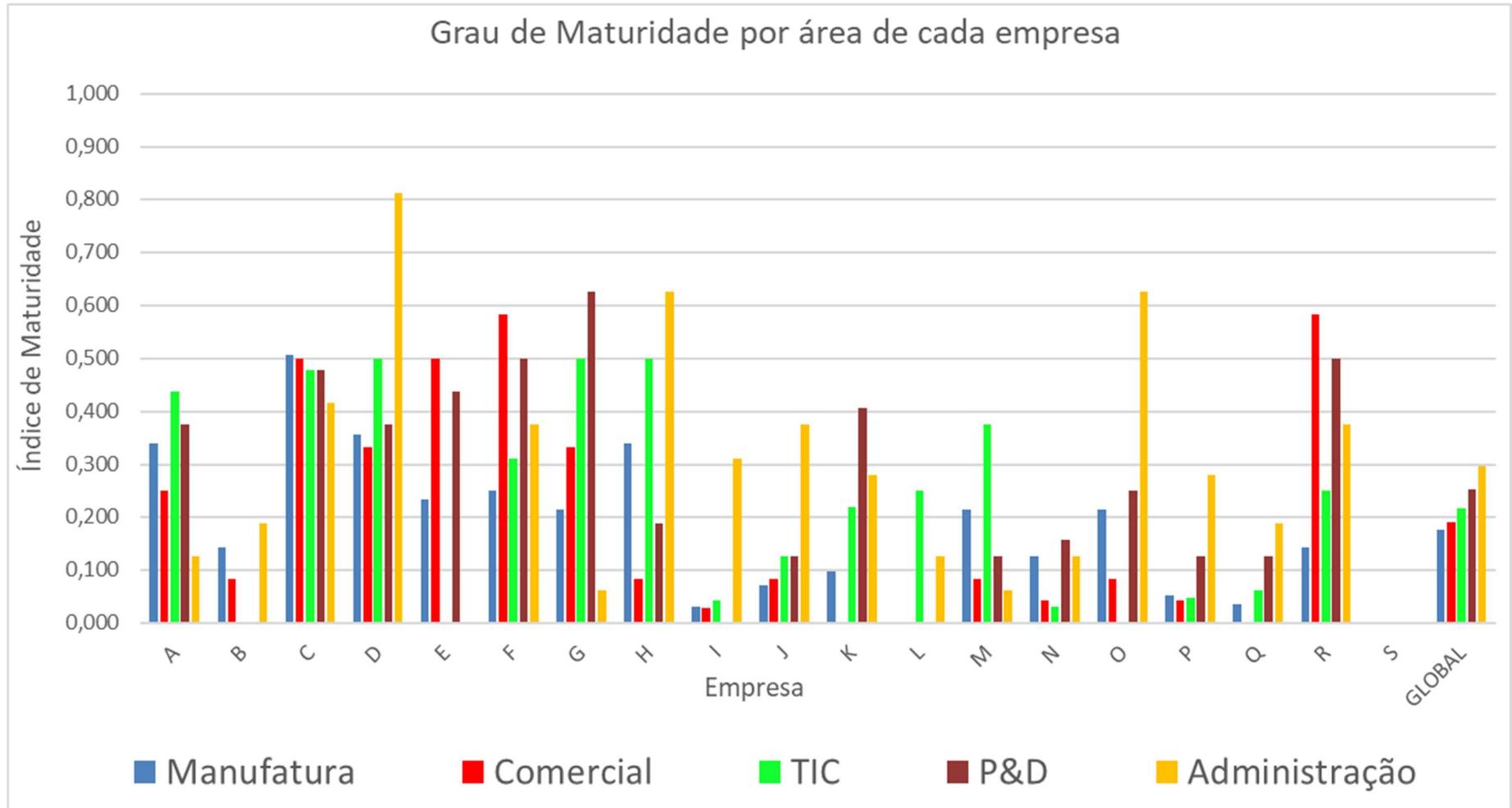
Fonte: Próprio autor

Figura 50 - Grau de Maturidade por tecnologia de cada empresa



Fonte: Próprio autor

Figura 51 - Grau de Maturidade por área (depto.) de cada empresa



Fonte: Próprio autor

5.2. Cálculo do Alfa de Cronbach (α)

Como vimos anteriormente, para o coeficiente alfa de Cronbach (α), Streiner (2003) recomenda como mínimo aceitável o valor de 0,70 e o valor máximo esperado é 0,90, pois acima deste valor pode-se considerar que há redundância ou duplicação, então acredita que o valor de alfa a ser perseguido deve estar entre 0,80 e 0,90.

Conforme mostrado na Tabela 10, o resultado do cálculo encontrado é de 0,88, classificado na faixa a ser perseguida por Steiner e considerado “Bom” conforme escala definida por George e Mallery (2003), apud Gliem e Gliem (2003) p. 231, ou “Quase Perfeito”, conforme Landis e Koch (1977), mostrado na Tabela 11.

Tabela 10 - Cálculo do coeficiente alfa (α) de Cronbach

| Qde. respondentes | EMPRESA | QUESTÕES (pontuação convertida: 0; 0,25; 0,5; 0,75 ou 1) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | TOTAL | MÉDIA |
|-------------------|---------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|-------|-------|
| | | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 27 | (k) | | | | | | | | |
| 1 | A | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 0,25 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,5 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1 | 0 | 0 | 8 | 0,287 | | | | | | | |
| 2 | B | 0,25 | 0,25 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0,75 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0,111 | | | | | | | | |
| 3 | C1 | 0,25 | 0,25 | 0,5 | 0,25 | 0,5 | 0,25 | 0,75 | 0,5 | 0,75 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,25 | 0 | 1 | 0,5 | 0,25 | 0,75 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0 | 0 | 0,25 | 1 | 0,5 | 11,5 | 0,491 | | | | | | | | |
| 4 | C2 | 1 | 1 | 0,5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0,5 | 0,5 | 0,75 | 0,5 | 0 | 0,75 | 0 | 0,5 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0,75 | 0,75 | 13,5 | 0,491 | | | | | | | | |
| 5 | C3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0,75 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 14,75 | 0,491 | | | | | | | | |
| 6 | D | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,75 | 0,25 | 0,5 | 1 | 1 | 0 | 0,25 | 0,5 | 0,25 | 1 | 0,25 | 1 | 0,75 | 1 | 0,5 | 0,25 | 0,25 | 0 | 0,25 | 0,5 | 0,75 | 0 | 11,5 | 0,426 | | | | | | | | |
| 7 | E | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 0 | 0,5 | 1 | 0 | 0 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 0,75 | 0 | 0 | 5,75 | 0,213 | | | | | | | | |
| 8 | F | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 0 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 1 | 0 | 0,5 | 0 | 0,25 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 9 | 0,333 | | | | | | | | |
| 9 | G | 0,75 | 0,75 | 0 | 0 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 0,75 | 0 | 0,75 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,25 | 1 | 0,25 | 7,25 | 0,269 | | | | | | | | |
| 10 | H | 1 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 0,5 | 1 | 0,5 | 0,25 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0,25 | 0,5 | 0,25 | 0,75 | 1 | 0 | 0,75 | 0 | 0,5 | 0 | 0 | 0,25 | 9,75 | 0,361 | | | | | | | | |
| 11 | I1 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 0,25 | 0,75 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 0 | 3 | 0,071 | | | | | | | | |
| 12 | I2 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,75 | 0,071 | | | | | | | | |
| 13 | I3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,139 | | | | | | | | |
| 14 | J | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0,25 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0,25 | 0,75 | 0,25 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0,5 | 3,75 | 0,139 | | | | | | | | |
| 15 | K1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0,75 | 0,25 | 0,25 | 0 | 0,75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 0 | 2,75 | 0,144 | | | | | | | | |
| 16 | K2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0,5 | 0,75 | 0,25 | 0 | 0,25 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,75 | 0,5 | 0,25 | 5 | 0,144 | | | | | | | | |
| 17 | L | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,5 | 0,056 | | | | | | | | |
| 18 | M1 | 0,25 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0 | 0,25 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0,5 | 0 | 0,25 | 0 | 1 | 5,25 | 0,194 | | | | | | | |
| 19 | M2 | 0,25 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0 | 0,25 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0,5 | 0 | 0,25 | 0 | 1 | 5,25 | 0,194 | | | | | | | |
| 20 | N1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,75 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 2 | 0,106 | | | | | | | | |
| 21 | N2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0,25 | 0 | 0,25 | 0,25 | 0 | 0,25 | 0,5 | 0,25 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 3,75 | 0,106 | | | | | | | | |
| 22 | O | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 0,25 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 1 | 1 | 0,75 | 0,75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,75 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0,222 | | | | | | | | |
| 23 | P1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 1 | 0,222 | | | | | | | | |
| 24 | P2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0,75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 1,25 | 0,081 | | | | | | | | |
| 25 | P3 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 0 | 0 | 0,75 | 0,75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 3,5 | 0,081 | | | | | | | | |
| 26 | P4 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0,25 | 0 | 0,5 | 0 | 0,5 | 0,25 | 0,75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 3,5 | 0,081 | | | | | | | | |
| 27 | P5 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0,25 | 0,25 | 0,5 | 0 | 0,25 | 0,25 | 1 | 0,25 | 0 | 0,25 | 0 | 0,25 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 4 | 0,081 | | | | | | | | |
| 28 | P6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,75 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,75 | 0,081 | | | | | | | | | |
| 29 | P7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0,75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 0 | 0,5 | 0 | 2,25 | 0,081 | | | | | | | | |
| 30 | P8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0,081 | | | | | | | | |
| 31 | Q | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0,25 | 0 | 0,25 | 0 | 0,75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 1,75 | 0,065 | | | | | | | | |
| 32 | R | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,75 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0,25 | 0,25 | 1 | 0 | 0 | 0 | 7,25 | 0,269 | | | | | | | | |
| 33 | S | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000 | 0,000 | | | | | | | |
| VAR | | 0,12 | 0,08 | 0,02 | 0,03 | 0,06 | 0,05 | 0,08 | 0,12 | 0,08 | 0,12 | 0,08 | 0,10 | 0,07 | 0,09 | 0,12 | 0,11 | 0,12 | 0,06 | 0,13 | 0,10 | 0,04 | 0,08 | 0,01 | 0,12 | 0,05 | 0,17 | 0,06 | 15,16 | 0,000 | | | | | | | | |
| | | somatória das Variâncias (S ² _{soma}): 2,27 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Cálculo do alpha de Crombach (α): 0,88 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Média: 0,20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fonte: Próprio autor

Tabela 11 - Consistência do coeficiente alfa (α) de Cronbach

| Valor de alfa | Consistência interna |
|-------------------|----------------------|
| Maior do que 0,80 | Quase perfeito |
| De 0,80 a 0,61 | Substancial |
| De 0,60 a 0,41 | Moderado |
| De 0,40 a 0,21 | Razoável |
| Menor do que 0,21 | Pequeno |

Fonte: Landis E Koch (1977)

Os respondentes dos questionários são considerados qualificados para a pesquisa por serem profissionais que trabalham em empresas do segmento, sendo que a grande maioria possui no mínimo cargo de Gerência (82%) e que buscaram conhecimentos do assunto através de treinamento específico do tema (73%) ministrado pelo Mestrando (através do Instituto Sindipeças de Educação Corporativa).

Após a coleta dos dados dos respondentes, os resultados foram estratificados pelo método Monocritério OPM3/Likert e complementado pela inserção no programa computacional Visual Promethee II que utiliza o Método Multicritério MCDA, pelos motivos já indicados.

5.3. Principais Observações

Observa-se pela figura 49 e tabela 10 que, considerando os cálculos pela Análise Monocritério OPM3/Likert e com base no critério definido na tabela 2, que a pontuação global do segmento de autopeças brasileiro, é de “0,20”, sendo que, se estratificada por área ou departamento das empresas respondentes, conforme tabela 4, encontramos o valor de 0,211 e por tecnologia, conforme tabela 5, é de 0,204, portanto muito próximos, sendo então considerada em “estado inicial” de implementação da I.4.0.

Observa-se no cruzamento das figuras 49 e 50, que as empresas de maiores índices de pontuação nas autoavaliações, enquadrando-se no nível “em implementação” (pontuação > 0,25 e < 0,50), ou seja, as empresas “A, C, D, F, G, H e R” (37%), apenas a “G” tem uma avaliação baixa em estratégia, sendo que as 6 empresas que tiveram índice acima de 0,50 neste quesito (C, D, F, H, O e R), apenas a “O” encontra-se abaixo do nível 0,25 no índice global, enquadrando-se em fase “inicial” de implementação dos conceitos da I.4.0.

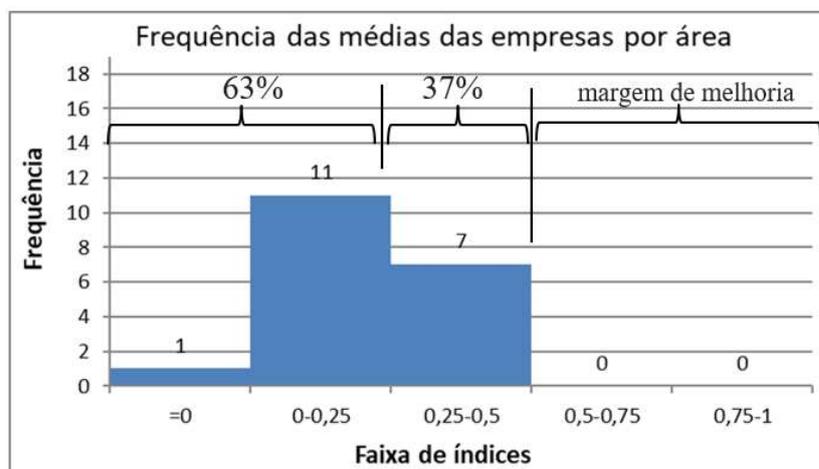
Em oposição, temos a empresa “S”, a única microempresa participante da pesquisa, a qual teve índice de pontuação geral zero, obviamente incluindo o quesito estratégia. Além da empresa “S”, estão zeradas em estratégia também as “E” e “G”, sendo que o resultado final de “E” está próximo da média global do setor, e a de “G”, que foi uma exceção, se posicionando acima de 0,25, o que nos leva a cogitar na possibilidade de existir estratégia “não declarada” dentro destas organizações ou não conhecida pelos respondentes. Observa-se então, que em geral existe uma melhor aderência ao tema I.4.0 para as empresas que possuem definições estratégicas voltadas ao tema. Observa-se também uma leve tendência da pontuação de RH (formação)

acompanhar a pontuação de estratégia. Observa-se ainda que a tecnologia IoS é a segunda mais difundida, corroborando a forte difusão de serviços no conceito da I.4.0.

Observa-se também, que no cruzamento das figuras 49 e 51, as áreas administrativas das empresas (entenda-se alta direção, para definições estratégicas ou interdepartamentais) receberam as maiores avaliações, seguido por P&D, TIC, Comercial e por último a Manufatura.

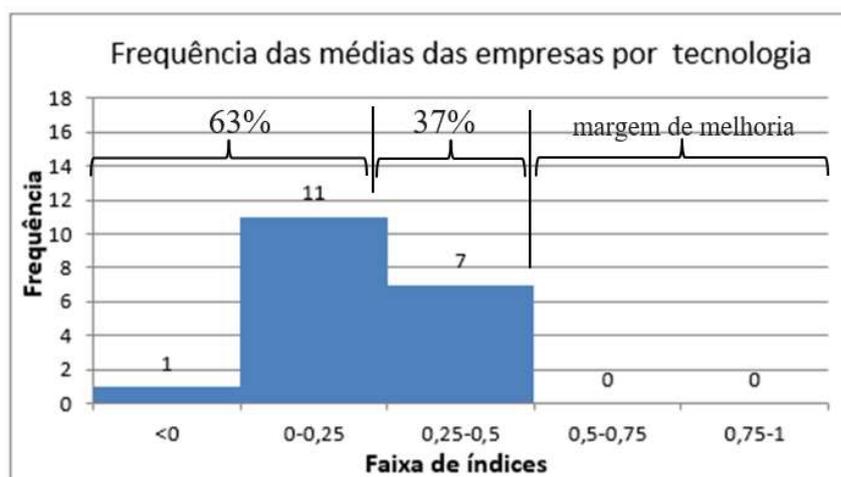
Nas figuras 52 e 53 mostram-se as frequências acumuladas dos resultados da pesquisa estratificados pela faixa de índices definida na tabela 2, e observa-se que tanto para a estratificação por área (depto.) como por tecnologia, 12 das 19 das empresas (63%) estão abaixo da pontuação 0,25 e 7 delas (37%) se encontram na faixa de pontuação de 0,25-0,50, portanto, existe uma grande margem de melhoria no segmento se ações forem tomadas neste sentido.

Figura 52 - Frequência acumulada por faixa de pontuação das empresas por área (depto.)



Fonte: Próprio autor

Figura 53 - Frequência acumulada por faixa de pontuação das empresas por tecnologia



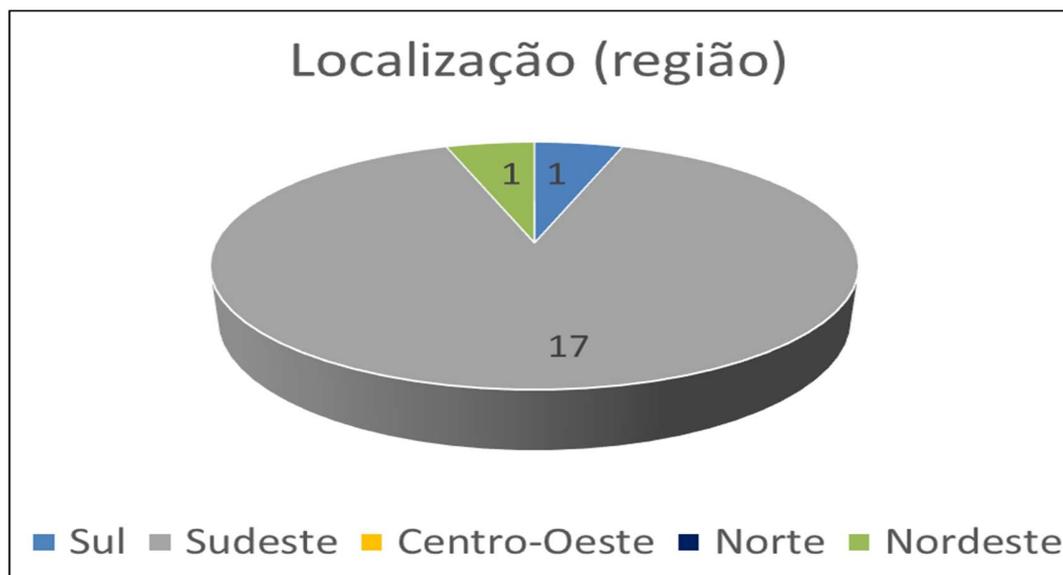
Fonte: Próprio autor

Propusemos também a análise de algumas características dos respondentes e respectivas empresas, as quais analisaremos através das figuras 54 a 63.

Na figura 54, elaborada com dados ligados à questão número 1 do questionário, observa-se que 17 das 19 empresas (89%) estão localizadas na região Sudeste, 1 no Sul e 1 no Nordeste. Nas regiões Norte e Centro-Oeste não tivemos participação.

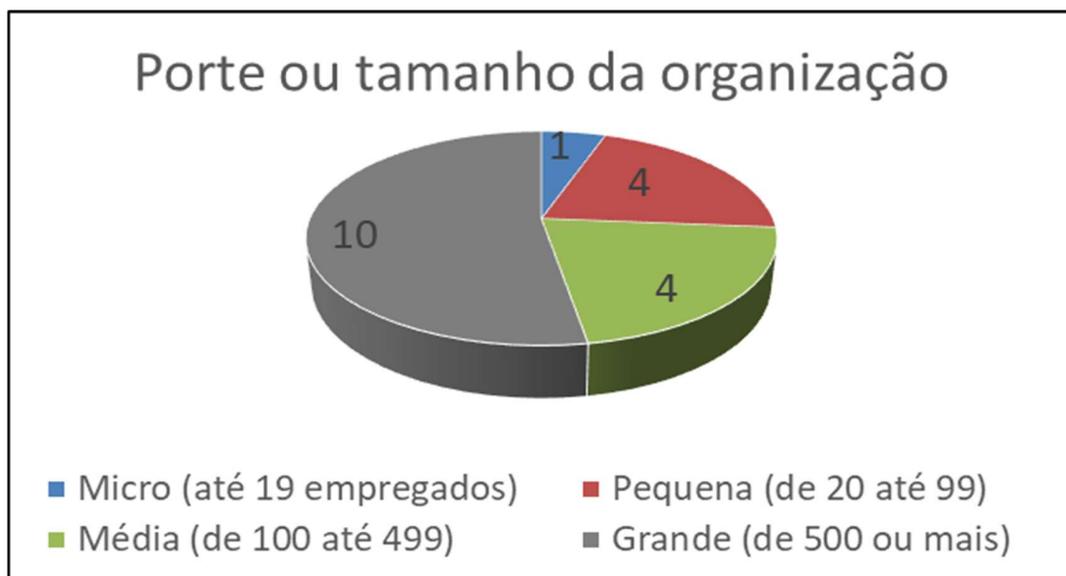
Na figura 55 (relacionada à questão nº 2) observa-se que 10 das 19 empresas (53%) respondentes são de grande porte, 4 de médio porte (21%), 4 de pequeno porte (21%) e 1 microempresa (5%).

Figura 54 - Localização das empresas



Fonte: Próprio autor

Figura 55 - Porte das empresas

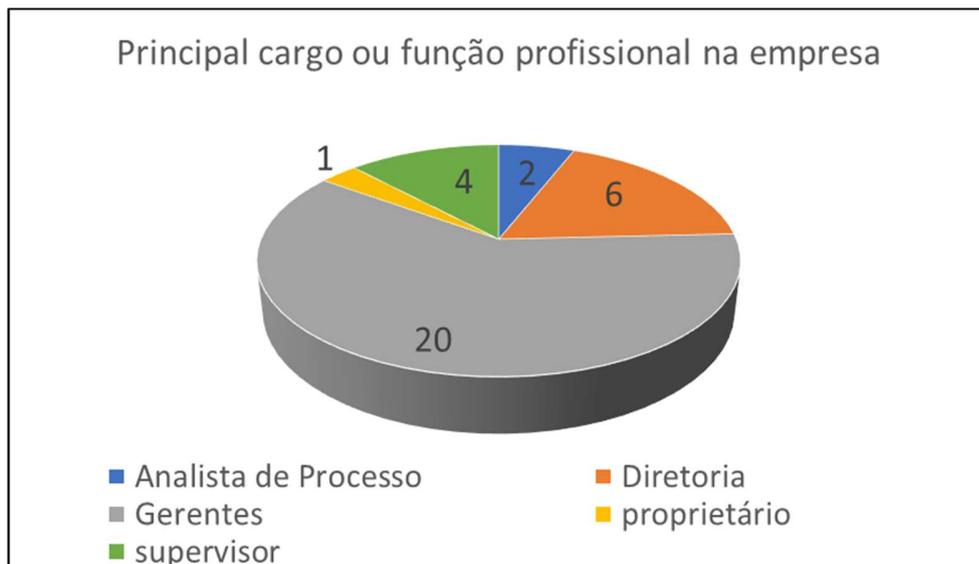


Fonte: Próprio autor

Na figura 56 (questão nº 3) observa-se que 20 dos 33 respondentes (61%) possuem o cargo ou função de gerente, 7 são diretores ou proprietários (21%) e 6 são analistas ou supervisores (18%).

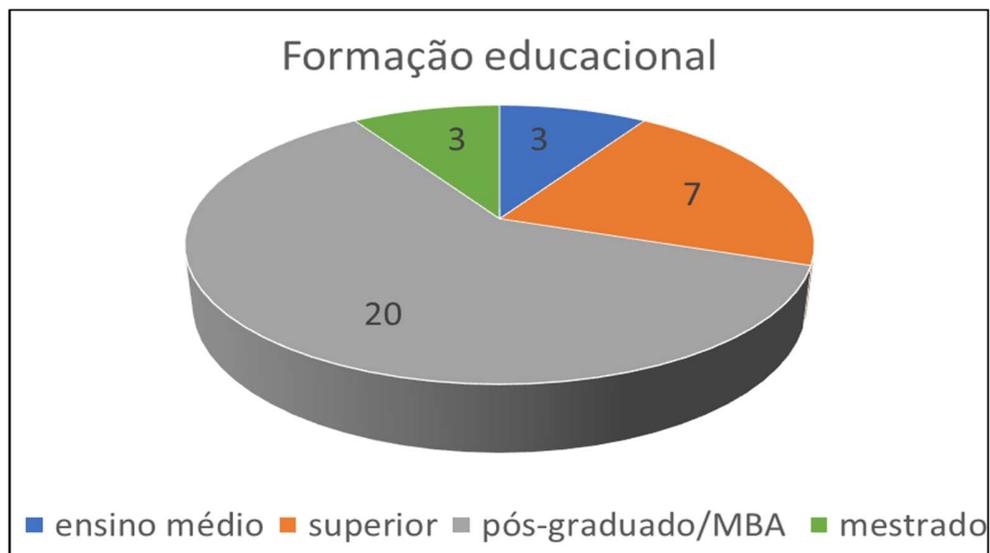
Na figura 57 (questão nº 4) observa-se que 20 dos 33 respondentes (61%) possuem formação educacional de Pós-Graduação ou MBA, 30 possuem nível superior (91%) e apenas 3 respondentes (9%) possuem ensino médio.

Figura 56 - Cargos dos profissionais respondentes



Fonte: Próprio autor

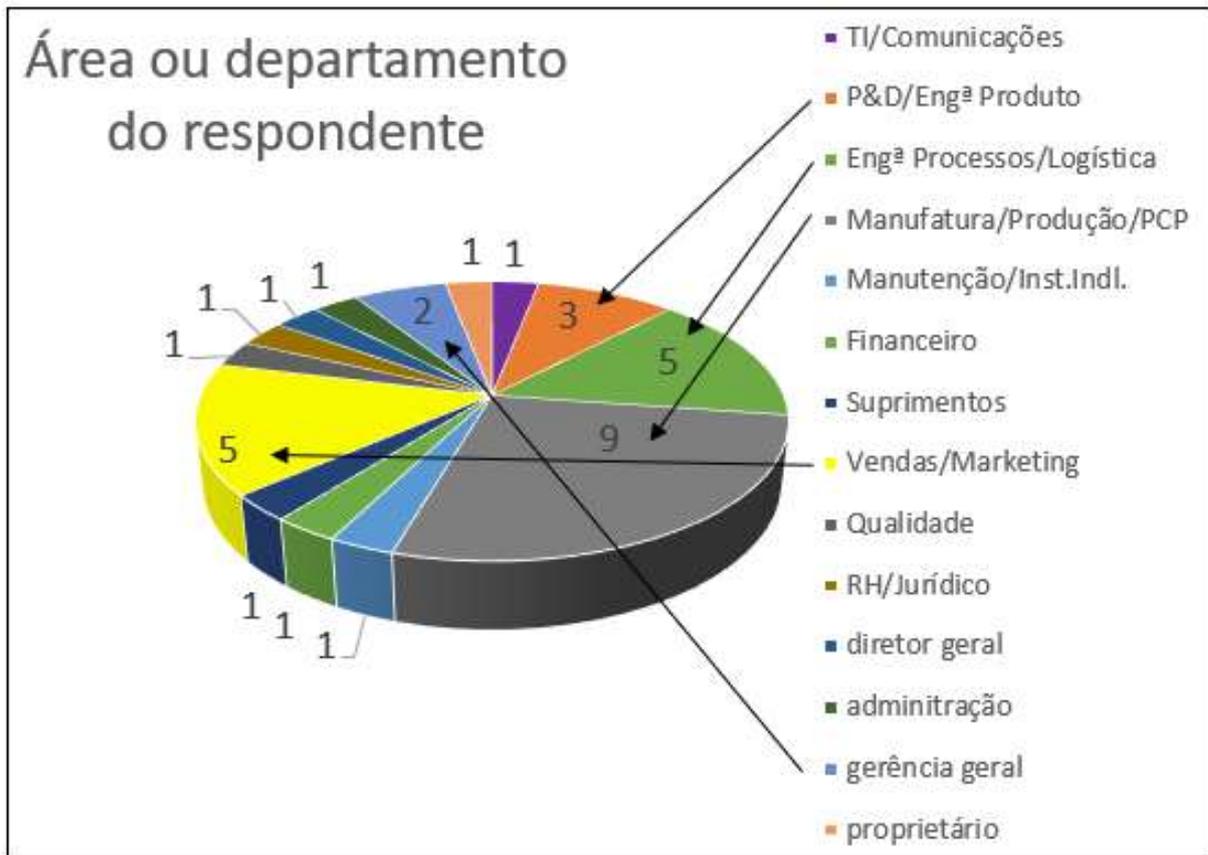
Figura 57 - Formação educacional dos respondentes



Fonte: Próprio autor

Na figura 58 (questão nº 5) observa-se que 9 dos 33 respondentes (27%) atuam na área de Manufatura, Produção ou PCP³⁰, 5 deles (15%) atuam em Vendas ou Marketing, outros 5 (15%) em Engenharia de Processos ou Logística, 3 em P&D/Engenharia de Produto (9%) e apenas 1 (3%) em Tecnologia da Informação. Demais 13 respondentes (31%) estão distribuídos em outras áreas.

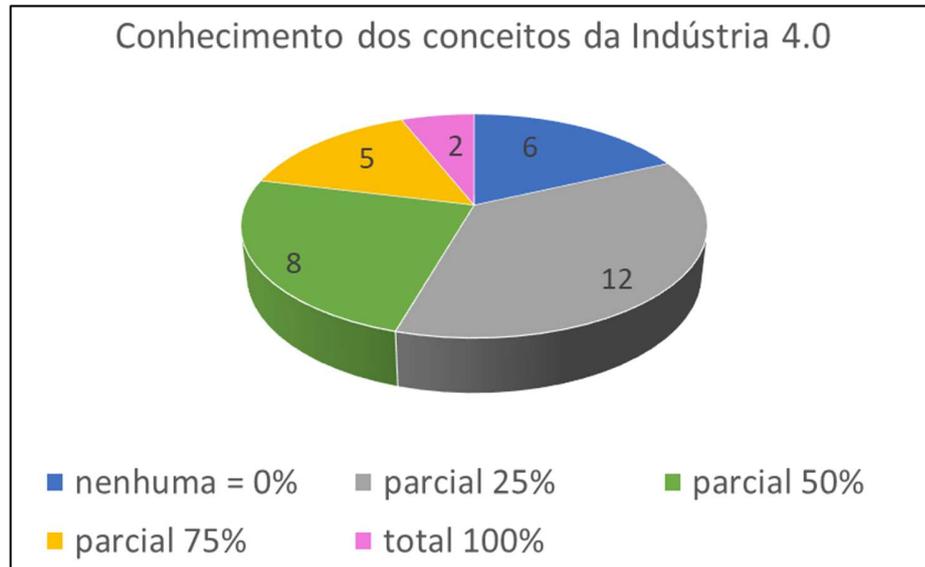
Figura 58 - Área ou departamento dos respondentes



Fonte: Próprio autor

Na figura 59 (questão nº 6) observa-se que 12 dos 33 respondentes (36%) dizem conhecer parcialmente em torno de 25% os conceitos da I.4.0, 8 (24%) dizem conhecer 50% do tema, 6 (18%) com nenhum conhecimento do tema, 5 (15%) dizem conhecer 50% e 2 (6%) se auto avaliam com conhecimento prévio total ao tema.

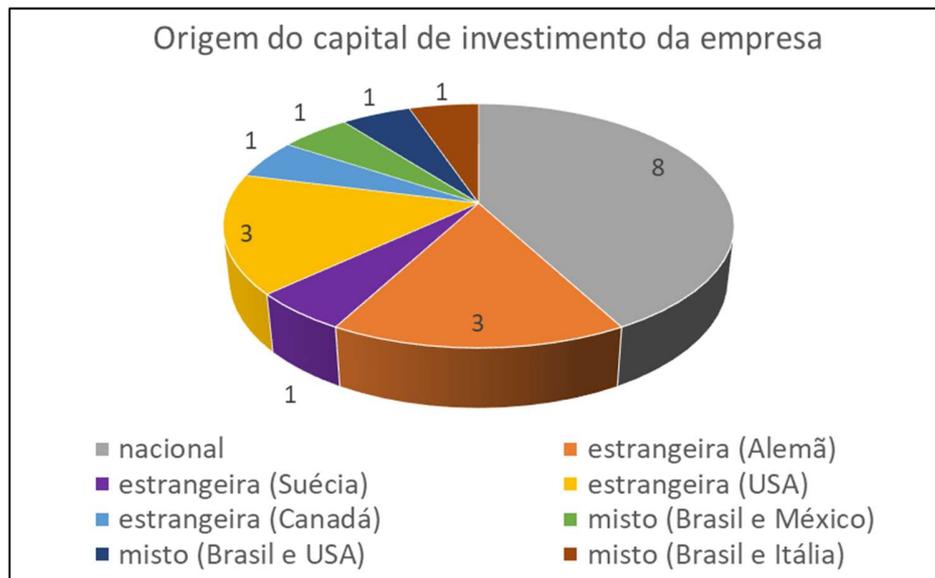
Figura 59 - Nível de conhecimento dos conceitos I.4.0



Fonte: Próprio autor

Na figura 60 (questão nº 27) observa-se que 8 das 19 empresas (42%) são nacionais, 3 delas (16%) são de capital misto Brasil-Estados Unidos/México/Itália e 8 (42%) são de capital estrangeiro.

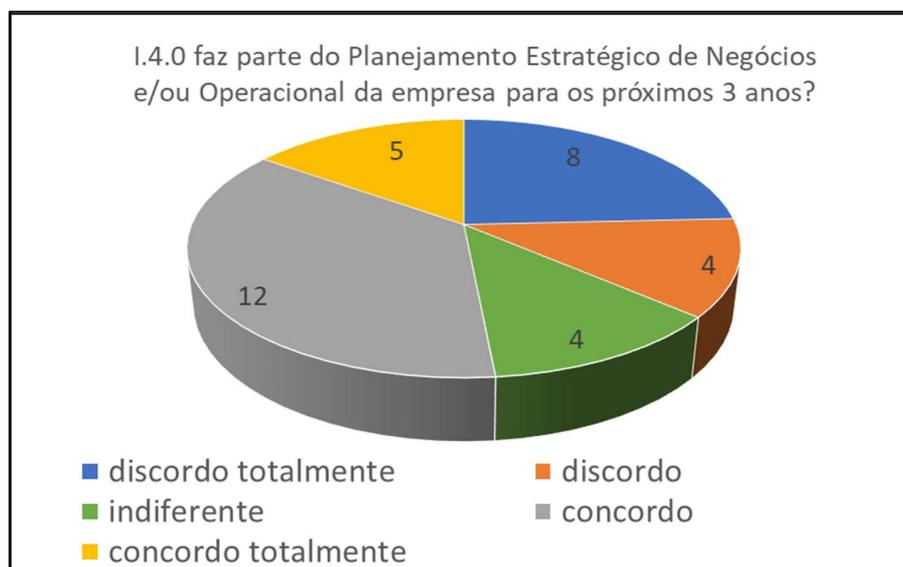
Figura 60 - País de origem do capital financeiro das empresas



Fonte: Próprio autor

Na figura 61 (questão nº 25) observa-se que 17 dos 33 respondentes (52%) dizem concordar ou concordar totalmente (12+5) que o tema I.4.0 faz parte do Planejamento Estratégico de Negócios e/ou Operacional da empresa para os próximos 3 anos, 12 ou 36% deles discordam (4) ou discordam totalmente (8), e 4 (12%) não conseguem identificar sua existência.

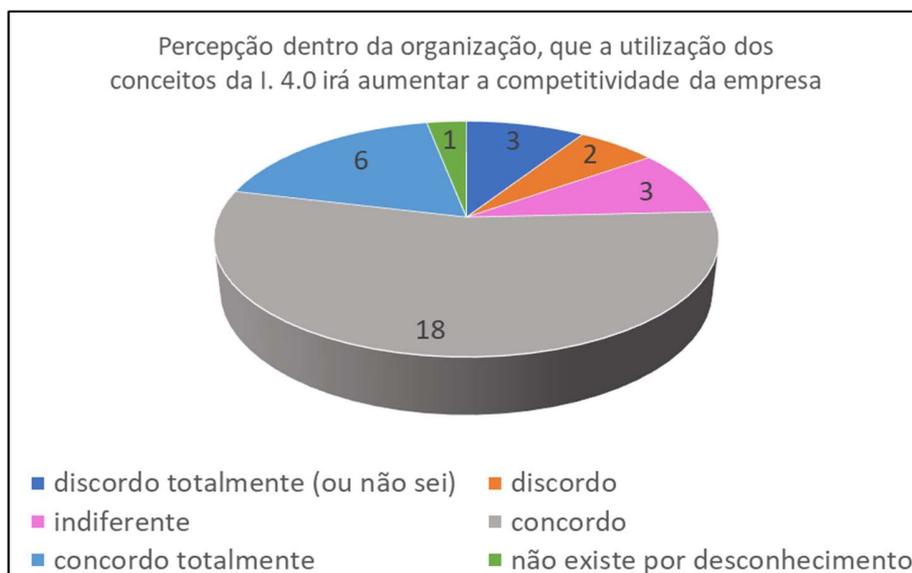
Figura 61 - I.4.0 no Planejamento estratégico



Fonte: Próprio autor

Na figura 62 (questão nº 26) observa-se que 24 dos 33 respondentes (73%) dizem concordar (18) ou concordar totalmente (6) que há uma percepção dentro da organização que a utilização dos conceitos da I.4.0 irá aumentar a competitividade da empresa, 5 deles (15%) discordam (2) ou discordam totalmente (3) e 4 (12%) não souberam opinar.

Figura 62 - Percepção de competitividade

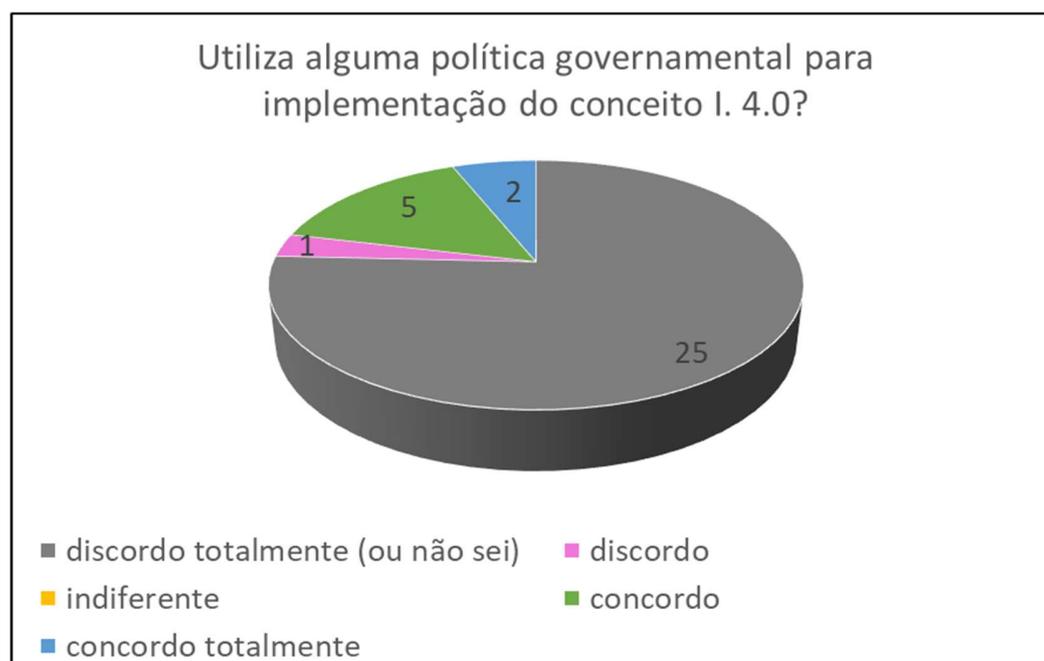


Fonte: Próprio autor

Na figura 63 (questão nº 36) observa-se que 26 dos 33 respondentes (79%) dizem que suas empresas não utilizam nenhuma política governamental para implementação do conceito I.4.0 (discordo-1- e discordo totalmente-25), sendo que os 7 restantes (21%) dizem fazerem uso

(concordo-5- e concordo totalmente-2). Observar que nenhum respondente indicou a opção “indiferente” ou justificou a “não existência”, ou ainda respondeu “não sei”, onde se interpreta que existe uma busca geral pela política ou pelo incentivo governamental.

Figura 63 - Uso de incentivo governamental



Fonte: Próprio autor

Não houveram respostas para as questões nº 37 (Sua empresa utiliza algum princípio, técnica ou ferramenta não mencionada anteriormente, ou tem uma percepção diferente do tema que você considere significativo?), nº 38 (Em termos gerais, a abordagem de sua análise neste questionário considerou parte da empresa, a empresa toda no Brasil, a empresa toda globalizada ou outro?), e nº 39 (Gostaria de deixar alguma sugestão sobre este questionário?).

5.4. Análise pelo Método Promethee

Como vimos, o Promethee é um método que pode gerar uma classificação de alternativas empregando múltiplos critérios qualitativos e quantitativos, bem como uma análise entre os critérios e as alternativas avaliadas, o que pode gerar dados para uma série de avaliações que podem ajudar a dar maior visibilidade de diagnóstico e prognóstico de ações.

Sendo assim, após a análise monocriterial OPM3/Likert anterior, os mesmos dados foram inseridos no programa de computador Promethee, buscando então uma visibilidade diferenciada de diagnóstico e prognóstico de ações, identificando qual área (depto.) ou qual tecnologia a empresa analisada deve priorizar na implementação da I.4.0, podendo então contribuir para as decisões estratégicas das organizações, uma vez que tal implementação pode exigir altos esforços e/ou investimentos que necessitem ser realizados de forma gradativa, equilibrada, consistente e sustentável.

Na configuração do Promethee foi escolhido o formato “Usual” para a Função de Preferência, pois como vimos, o objetivo é encontrar relações entre os critérios e não propriamente classificá-las, partindo-se do princípio de que não há preferências, mas sim a busca pelas intensidades das forças dos critérios adotados, atuando como orientativo na decisão estratégica das organizações. Os “pesos” foram aplicados não diretamente a cada pergunta, mas em função da proporcionalidade da quantidade de perguntas específicas a cada agrupamento pelos tópicos, sendo 48% para Manufatura, 10% para Comercial e 14% para cada um dos demais TIC, P&D e Administração.

A tabela 12 contém os mesmos índices de posicionamento resumidos da tabela 4 auferidos pela pesquisa das 19 empresas, representadas pelas letras “A até S”, e os critérios utilizados para avaliação do grau de maturidade com relação às técnicas e ferramentas da I.4.0 em cada uma das 5 áreas ou departamentos: Manufatura, Comercial, Tecnologia de Informação e Comunicação (ICT³¹), Pesquisa e Desenvolvimento (R&D³²) e Administração. Os resultados são agrupados e calculados por empresa, com a média aritmética ponderada de todas as questões conectadas a essas 5 áreas e com base no critério da tabela 2.

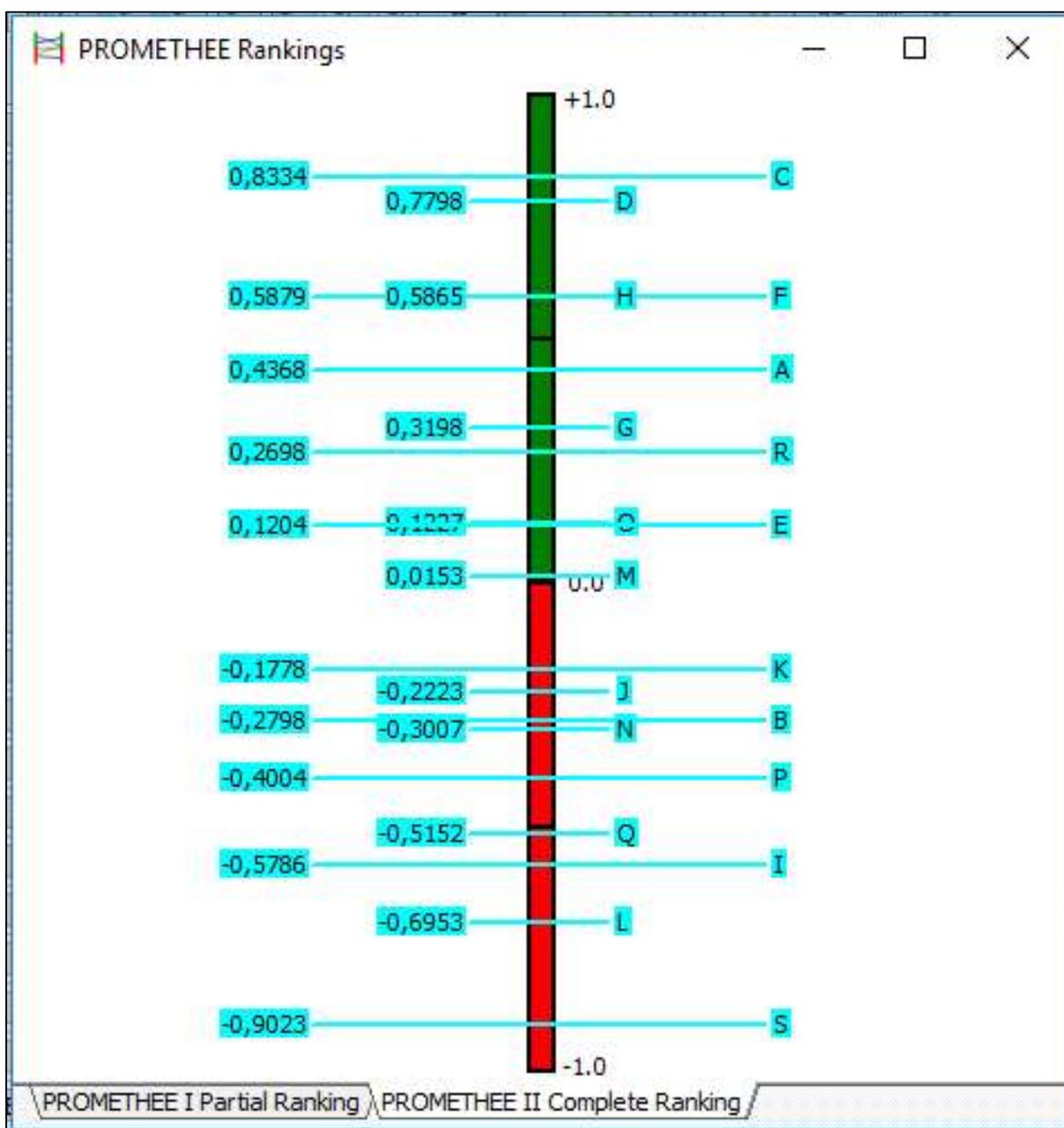
Como dito anteriormente, embora nosso objetivo neste trabalho não seja a classificação, uma das entregas do Promethee é a apresentação do *ranking* ou posicionamento. Como observa-se na tabela 12, na parte superior temos a empresa “C” como maior índice, com ϕ no valor de 0,8334, e na inferior a empresa “S”, com menor índice, com ϕ no valor negativo de -0,9023. Como vimos no tópico “Os Perfis das Alternativas”, podemos interpretar que o maior valor positivo de ϕ se trata da empresa que mais está alinhada aos critérios (supera as demais) e, por oposição, o maior valor negativo se trata da empresa que menos está alinhada aos critérios analisados (superada pelas demais).

A tabela 13 contém os mesmos índices, porém, estratificados pelas principais tecnologias: IoT, IoS, IoD, CPS, além de abordagens ligadas à formação e treinamento de pessoal (RH) e Estratégias de sua implementação. Da mesma forma, na parte superior temos a empresa “C” como maior índice, com ϕ no valor de 0,8230, e na inferior a empresa “S”, com menor índice, com ϕ no valor negativo de -0,8045. Assim podemos também interpretar que o maior valor positivo de ϕ se trata da empresa que mais está alinhada aos critérios (supera as demais) e, por oposição, o maior valor negativo se trata da empresa que menos está alinhada aos critérios analisados (superada pelas demais).

31 *Information and Communication Technology*

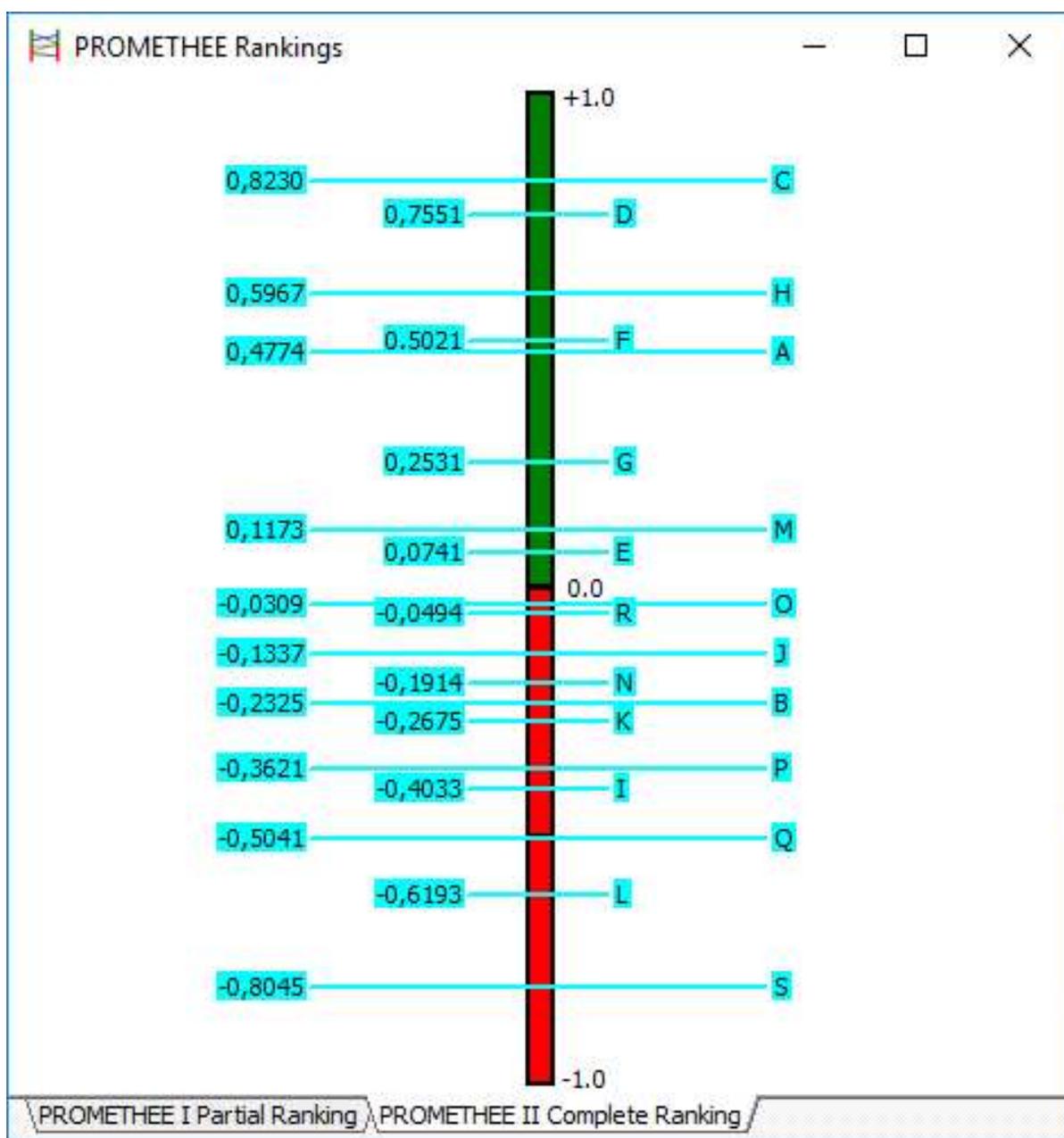
32 *Research and Development*

Tabela 12 - Índices de posicionamento por área ou departamentos



Fonte: Próprio autor

Tabela 13 - Índices de posicionamento por tecnologia



Fonte: Próprio autor

Também como entrega do *software* Promethee, nas tabelas 14 e 15 temos a mesma representação dos mesmos índices das tabelas 4 e 5 (método OPM3/Likert), agora considerando os cálculos do *software* na coluna à direita (índice Promethee), que representa os valores das tabelas 4 e 5 transformados pela tratativa do programa, agora alinhados na sequência das empresas (A até S).

Na figura 64 temos a representação gráfica do Plano GAIA, obtido do cálculo efetuado pelo *software* Promethee, onde a linha ou eixo vermelho (aqui chamado de eixo de

decisão ou de referência) indica a direção e sentido (considerar como uma seta o círculo na extremidade do eixo) que os critérios e as empresas devem perseguir para aumentar o índice do Grau de Maturidade. Para sua representação foi escolhido o plano 2D que contém os eixos “U-V” devido a melhor representação dos dados, através do índice de Qualidade de 78,2% calculado pelo *software*. Lembrando que para o cálculo do “peso” de cada uma das áreas ou departamentos, o *software* foi parametrizado em função da proporcionalidade da quantidade de perguntas específicas a cada tópico, sendo 48% para Manufatura, 10% para Comercial e 14% para cada um dos demais TIC, P&D e Administração, e considerada a Função de Preferência tipo “Usual”, uma vez que o objetivo neste trabalho não é o de ordenação para escolha única, mas sim de direcionamento para priorização dos esforços.

Observa-se neste Plano GAIA da figura 64 que o eixo de referência tem um comprimento mediano dentro do gráfico (maior do que os eixos de 4 dimensões e menor que o eixo de Administração), o que indica um índice médio de confiabilidade desta linha. Observa-se ainda que as linhas representativas das áreas (deptos.) estão aproximadamente alinhadas à referência, com exceção da Administração, que pode ser interpretado pelo fato de ser um quesito mais estratégico do que técnico como as demais. Observa-se também que ela é mais longa que as demais, o que significa que variações nesta área são mais importantes ao tomador de decisão. A proximidade das demais linhas ocorre pelo fato de terem preferências de ações parecidas, ou seja, apresentam aproximadamente as mesmas prioridades e estão alinhadas de forma equilibrada. Essa proximidade é maior entre as áreas Comercial e P&D e ambas estão mais distantes de Administração. Manufatura e TIC estão mais alinhadas com a referência, portanto, ações nesta área afetam mais diretamente no índice de maturidade. Já a ortogonalidade da linha (vetor) Administração com as demais representa que não há relação de preferência sobre as demais, ou seja, ações nesta área têm baixa relação com as demais. O fato de não haver oposição de sentidos nas linhas define que não existem critérios conflitantes, ou seja, nenhum quesito é inversamente correlacionado aos demais.

Tabela 14 - Resultados da avaliação por área ou depto. das empresas com o Promethee II

| Cenário1 (por área) | Manufatura | Comercial | TIC | PD | Administração | média empresa | Índice Promethee |
|---------------------|------------|-----------|-------|-------|---------------|---------------|------------------|
| A | 0,339 | 0,250 | 0,438 | 0,375 | 0,125 | 0,319 | 0,437 |
| B | 0,143 | 0,083 | 0,000 | 0,000 | 0,188 | 0,103 | -0,280 |
| C | 0,506 | 0,500 | 0,479 | 0,479 | 0,417 | 0,486 | 0,833 |
| D | 0,357 | 0,333 | 0,500 | 0,375 | 0,813 | 0,440 | 0,780 |
| E | 0,232 | 0,500 | 0,000 | 0,438 | 0,000 | 0,224 | 0,120 |
| F | 0,250 | 0,583 | 0,313 | 0,500 | 0,375 | 0,345 | 0,588 |
| G | 0,214 | 0,333 | 0,500 | 0,625 | 0,063 | 0,302 | 0,320 |
| H | 0,339 | 0,083 | 0,500 | 0,188 | 0,625 | 0,353 | 0,587 |
| I | 0,030 | 0,028 | 0,042 | 0,000 | 0,313 | 0,066 | -0,579 |
| J | 0,071 | 0,083 | 0,125 | 0,125 | 0,375 | 0,129 | -0,222 |
| K | 0,098 | 0,000 | 0,219 | 0,406 | 0,281 | 0,172 | -0,178 |
| L | 0,000 | 0,000 | 0,250 | 0,000 | 0,125 | 0,052 | -0,695 |
| M | 0,214 | 0,083 | 0,375 | 0,125 | 0,063 | 0,190 | 0,015 |
| N | 0,125 | 0,042 | 0,031 | 0,156 | 0,125 | 0,108 | -0,301 |
| O | 0,214 | 0,083 | 0,000 | 0,250 | 0,625 | 0,233 | 0,123 |
| P | 0,051 | 0,042 | 0,047 | 0,125 | 0,281 | 0,092 | -0,400 |
| Q | 0,036 | 0,000 | 0,063 | 0,125 | 0,188 | 0,069 | -0,515 |
| R | 0,143 | 0,583 | 0,250 | 0,500 | 0,375 | 0,284 | 0,270 |
| S | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | -0,902 |
| GLOBAL | 0,177 | 0,190 | 0,217 | 0,252 | 0,297 | 0,211 | |

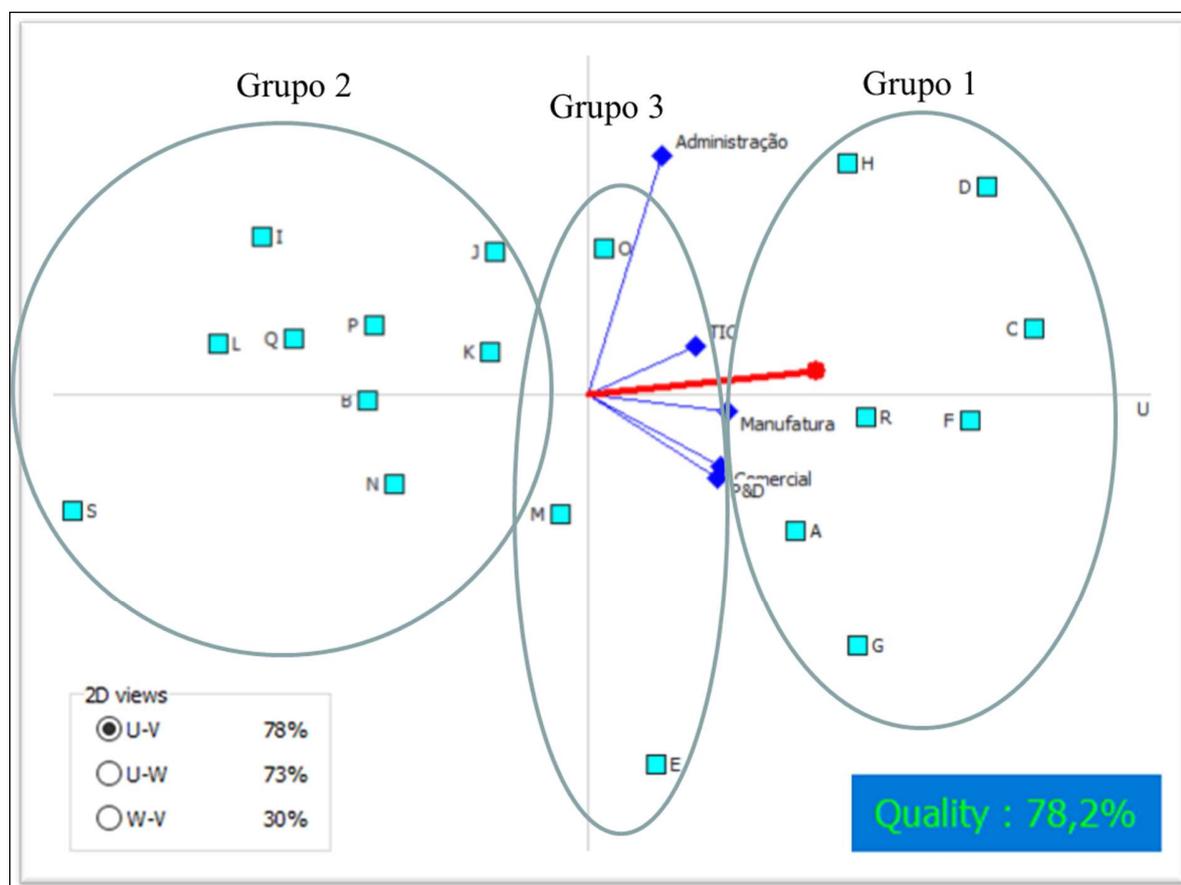
Fonte: Próprio autor

Ao observar o posicionamento das empresas na figura 64, percebe-se uma divisão em 3 grupos. O primeiro grupo compreende as empresas “A, C, D, F, G, H e R” (ordem alfabética), que são consideradas as mais alinhadas à referência, ou as que estão na direção correta para o aumento do grau de maturidade estudado. Estas também são as 7 empresas com maiores médias monocriteriais. O segundo grupo está em oposição ao primeiro, ou seja, são as empresas cujas ações (ou a falta delas) têm baixa ou nenhuma aderência aos conceitos da I.4.0, ou seja, não estão concentrando esforços em aspectos que impactam na implementação da I.4.0 e à elevação de seu grau de maturidade. Fazem parte deste grupo as empresas “B, I, J, K, L, N, P, Q e S”. No terceiro grupo intermediário estão “E, M e O”, empresas que, aparentemente, estão se movendo muito lentamente e com baixa aderência.

Ainda com referência a figura 64, no primeiro grupo percebe-se que a empresa “C” está melhor alinhada à direção do eixo de referência, devido ter maior equilíbrio e melhores pontuações em todas áreas (depts.), o que se confirma quando olhamos que a mesma possui a melhor média ponderada individual (0,486 na estratificação por área), enquadrando-a ao nível “em implementação” no grau de maturidade da I.4.0, de acordo com a tabela 2. Em situação oposta, no segundo grupo, temos a empresa “S” (microempresa) que está no quadrante oposto à referência (alto valor de ϕ negativo), o que também corrobora o fato dela possuir a menor média individual (zero). A empresa “D” está próxima de “C”, porém, está mais próxima às direções de Administração e TIC por haver uma maior relação com as mesmas (maior média ponderada nestas áreas). A empresa “H”, similarmente à “D”, tem maior proximidade com Administração, porém menor com as áreas Comercial e P&D. As empresas “A e G” possuem boa avaliação geral (acima da média), mas baixa proximidade com Administração e TIC. As empresas “R e F” estão

mais alinhadas com a referência, indicando um maior equilíbrio entre as áreas, e são mais organizadas em Manufatura.

Figura 64 - Representação gráfica dos grupos no Plano GAIA por área ou depto.



Fonte: Próprio autor

No terceiro grupo (central), a empresa “O” tem uma média intermediária com menor equilíbrio dos tópicos analisados, onde a proximidade com Administração é muito mais forte do que com as demais áreas. Similarmente, a empresa “E” tem média intermediária, porém, mais proximidade com as áreas Comercial e P&D e muito distante de Administração e TIC, ou próxima ao sentido contrário delas.

Com essas análises do Promethee (figura 64), temos uma visão mais ampla das relações e podemos de uma forma geral sugerir algumas ações estratégicas para que as empresas melhorem seus respectivos índices de maturidade na implementação da I.4.0, tais como:

- As empresas “C, F e R” estão bem alinhadas e equilibradas na direção da linha de referência por áreas (deptos.) e devem manter esse equilíbrio de forma crescente.
- As empresas “D, H, e O” devem priorizar esforços e atenção nas áreas de Manufatura, Comercial e P&D, o que as levará a um melhor alinhamento de rota.
- As empresas “A, E e G” devem dar mais atenção a questões de informática (TIC) e de administração (gestão, formação e estratégia), para que possam fazer uma correção de rota.

- Para as demais empresas, todos os aspectos são importantes, porém seguindo boas práticas em termos de condução de negócios, sugerimos priorizar a definição de estratégias e capacitação do pessoal para introdução das tecnologias em todas as áreas.

Na tabela 15 temos o resultado da mesma pesquisa, com o mesmo critério da tabela 2, agrupado e calculado agora com a média aritmética ponderada de todas as questões conectadas às 4 principais tecnologias I.4.0, mais aspectos estratégicos e de formação de pessoal, fornecendo nova forma de ver os resultados. Na última coluna é possível ver o índice trabalhado pelo *software* Promethee.

A figura 65 procura evidenciar o nível de desenvolvimento de algumas tecnologias e atividades das empresas na adequação à I.4.0, sendo então considerado: IoT, IoS, IoD, CPS, além de abordagens ligadas à formação e treinamento de pessoal (RH) e estratégias de sua implementação. Para o cálculo do “peso” de cada uma das tecnologias, o *software* foi parametrizado em função da proporcionalidade da quantidade de perguntas específicas a cada tópico, sendo 48% para IoT, 11% para IoS, 15% para IoD, 15% para CPS, 4% para RH e 7% para Estratégia, e também foram consideradas as Funções de Preferência tipo “usual”.

Tabela 15 - Resultados da avaliação por tecnologia e atividades das empresas com o Promethee II

| Cenário2 (por tecn.) | IoT | IoS | IoD | CPS | RH | Estratégia | média empresa | Índice Promethee |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|---------------|------------------|
| A | 0,231 | 0,333 | 0,438 | 0,375 | 0,000 | 0,250 | 0,287 | 0,4774 |
| B | 0,192 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,250 | 0,111 | -0,2325 |
| C | 0,506 | 0,556 | 0,479 | 0,479 | 0,083 | 0,542 | 0,491 | 0,8230 |
| D | 0,308 | 0,417 | 0,500 | 0,375 | 0,750 | 1,000 | 0,426 | 0,7551 |
| E | 0,192 | 0,750 | 0,000 | 0,250 | 0,000 | 0,000 | 0,213 | 0,0741 |
| F | 0,212 | 0,750 | 0,313 | 0,313 | 0,000 | 0,750 | 0,334 | 0,5021 |
| G | 0,173 | 0,500 | 0,500 | 0,375 | 0,000 | 0,000 | 0,269 | 0,2531 |
| H | 0,385 | 0,250 | 0,500 | 0,125 | 0,250 | 0,625 | 0,362 | 0,5967 |
| I | 0,045 | 0,028 | 0,042 | 0,000 | 0,167 | 0,458 | 0,071 | -0,4033 |
| J | 0,096 | 0,083 | 0,125 | 0,125 | 0,250 | 0,500 | 0,139 | -0,1337 |
| K | 0,000 | 0,125 | 0,219 | 0,375 | 0,125 | 0,500 | 0,144 | -0,2675 |
| L | 0,000 | 0,000 | 0,250 | 0,000 | 0,000 | 0,250 | 0,056 | -0,6193 |
| M | 0,192 | 0,167 | 0,375 | 0,125 | 0,000 | 0,125 | 0,195 | 0,1173 |
| N | 0,106 | 0,042 | 0,031 | 0,188 | 0,000 | 0,250 | 0,107 | -0,1914 |
| O | 0,096 | 0,333 | 0,000 | 0,313 | 0,750 | 0,875 | 0,222 | -0,0309 |
| P | 0,041 | 0,083 | 0,047 | 0,070 | 0,313 | 0,313 | 0,081 | -0,3621 |
| Q | 0,000 | 0,083 | 0,063 | 0,125 | 0,000 | 0,375 | 0,065 | -0,5041 |
| R | 0,000 | 0,583 | 0,250 | 0,750 | 0,250 | 0,625 | 0,269 | -0,0494 |
| S | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | -0,8045 |
| GLOBAL | 0,146 | 0,268 | 0,217 | 0,230 | 0,155 | 0,425 | 0,204 | |

Fonte: Próprio autor

Para a representação do Plano GAIA da figura 65, também foi escolhido o plano 2D que contém os eixos “U-V”, devido a melhor representação dos dados através do índice de Qualidade de 72,3%, calculado pelo *software*.

Observa-se então que os eixos das tecnologias estão todos próximos, sendo que a tecnologia IoS está mais alinhada à linha de referência, corroborando a melhor média ponderada individual entre as tecnologias. A ortogonalidade dos eixos de tecnologia com os de Estratégia e RH indicam que as empresas estão mais focadas em tecnologia, independentemente de

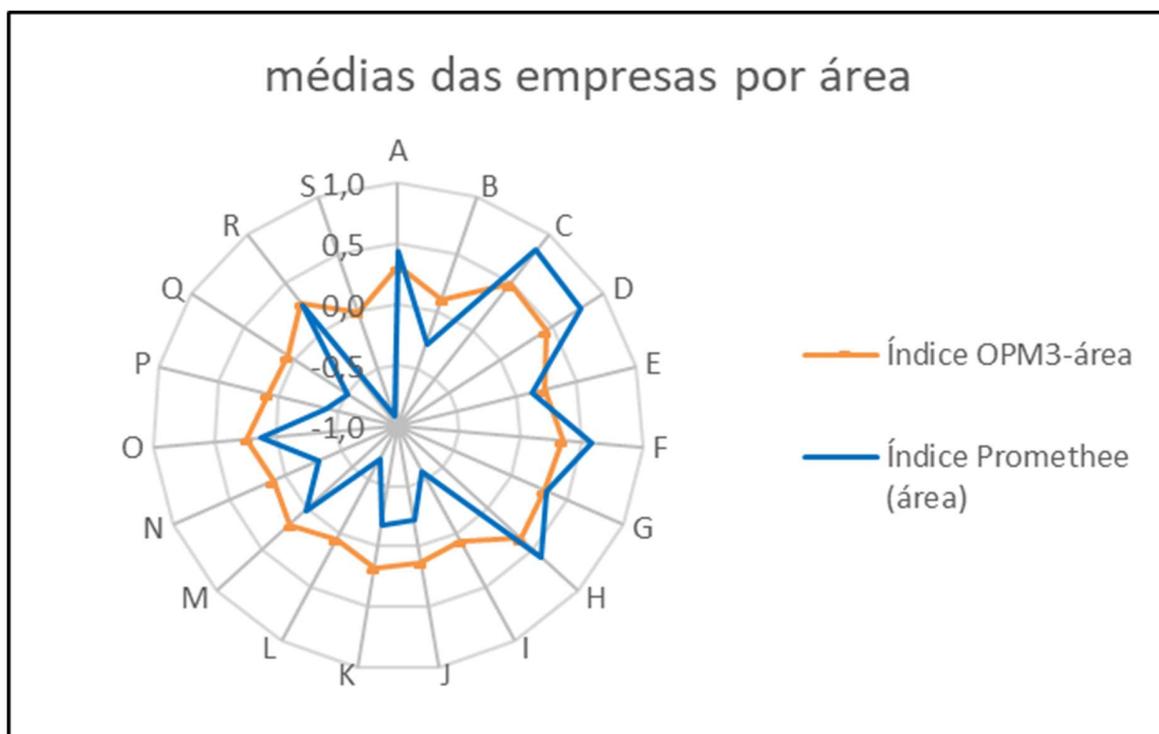
preferências do RH e da Estratégia. Da mesma forma, o fato de não haver oposição de sentidos entre os vetores define que não existem critérios conflitantes, ou seja, nenhum quesito é inversamente correlacionado aos demais.

Ao observar o posicionamento das empresas na figura 65, percebe-se que “C e F” estão mais bem alinhadas à direção da referência também no cenário “tecnologia”, indicando que possuem um bom equilíbrio nas ações, embora um pouco afastadas de Estratégia e RH. Em situação oposta, temos a empresa “S” que está muito distante e sentido oposto à referência (ϕ negativo). As empresas “D, R e H”, possuem bons índices, mas com pequeno desequilíbrio já que estão mais próximas à Estratégia e RH e um pouco mais afastadas das tecnologias. A empresa “O” que está no grupo 3 (intermediário) no cenário por áreas ou departamentos, aqui aparece ligeiramente deslocada, se aproximando mais ao grupo 1 e possui uma estreita relação com RH. A empresa “K” também tem estreita relação com RH e aqui aparece migrando do grupo 2 para o 3, porém com menores índices quando comparado a “O”. As empresas “A” e “G” são similares e possuindo mais equilíbrio e proximidade às ações tecnológicas e pouco com Estratégia e RH. As empresas “M” e “E” possuem baixos índices e estão em oposição à RH e Estratégia. As empresas “J e K” nesta abordagem migram do grupo 2 (oposição) para o 3 (intermediário).

Com essas análises do Promethee (figura 65), temos uma visão mais ampla das relações e podemos de uma forma geral sugerir algumas ações estratégicas para melhorarem o índice de maturidade na implementação da I.4.0, tais como:

- As empresas “D, H, K, O e R” devem priorizar esforços e atenção nas tecnologias (IoT, IoS, IoD e CPS), o que as levará em correção de rota.
- As empresas “A, C, F e G” devem dar um pouco mais de atenção a questões de estratégia e formação de pessoal (RH), embora estejam mais alinhadas à rota da linha de referência.
- Para as demais empresas, todos os aspectos são importantes, porém seguindo uma razão lógica em termos de condução de negócios, sugerimos priorizar em definir estratégias e capacitação do pessoal para introdução das tecnologias.

Figura 66 - Índices Promethee x Índice OPM3/Likert (escala -1+1) por área (depto.)

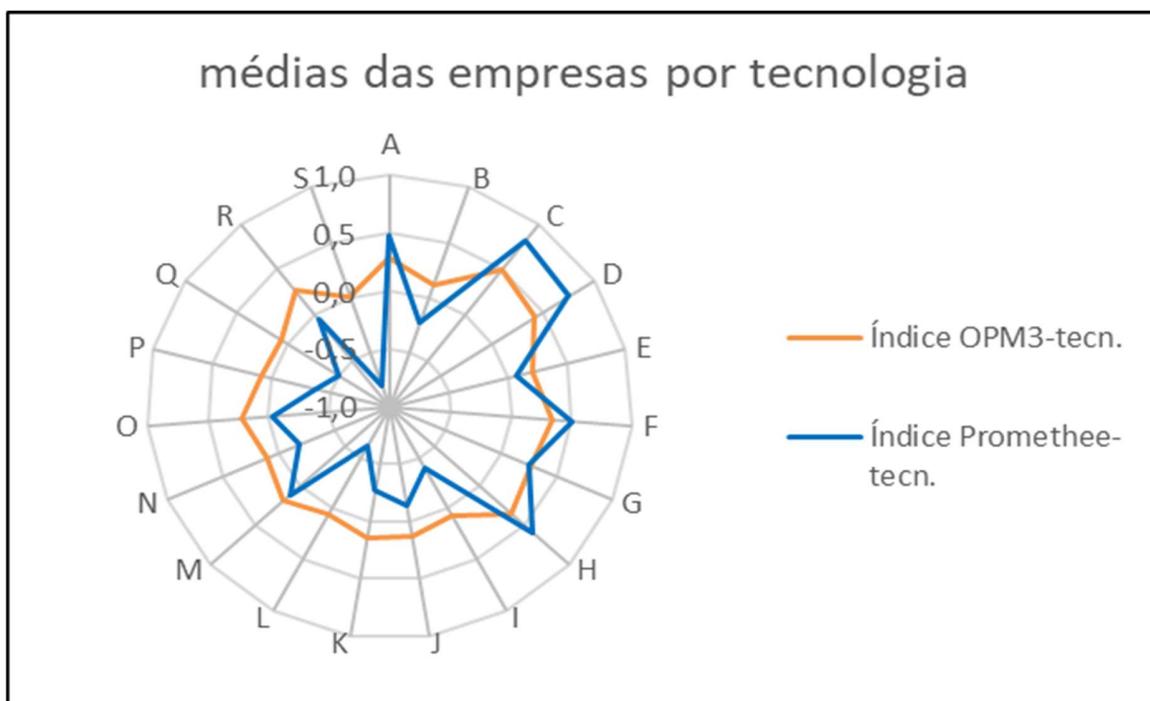


Fonte: Próprio autor

A importância dessa verificação na prática é a de certificar que ambos métodos estão proporcionalmente indicando as mesmas variações dimensionais entre alternativas e critérios, embora com visibilidades diferentes, um dos principais benefícios deste estudo, o que dá maior confiabilidade aos resultados.

Observa-se que o resultado do OPM3 fornece um indicador que identifica o posicionamento geral médio do segmento estudado, mas embora o detalhamento de seus resultados possam identificar o posicionamento individual de cada empresa, é com o gráfico GAIA do Promethee que conseguimos identificar no estudo de forma mais clara e assertiva o posicionamento individual de cada empresa em relação às demais.

Figura 67- Índices Promethee x Índice OPM3/Likert (escala -1+1) por tecnologia



Fonte: Próprio autor

6. Considerações Finais

Fez-se uma compilação das respostas das 39 perguntas do questionário, dos 33 respondentes de 19 empresas, representadas pelas letras “A até S”, cujos resultados foram estratificados, agrupados e organizados por “área ou departamento” e por “tecnologia”, mostrados em tabelas e gráficos.

Utilizando-se o método OPM3 com escala Likert, observa-se no cruzamento dos gráficos do estudo de caso (Figuras 49, 52 e 53), que 37% das empresas se encontram na faixa de pontuação de 0,25-0,50, nível de implementação (empresas A, C, D, F, G, H e R), e que 63% estão abaixo da pontuação 0,25, enquadrando em nível inicial (empresas B, E, I, J, K, L, M, N, O, P, Q e S). Observou-se que a maioria das empresas com melhores avaliações na pesquisa tiveram também boas avaliações no quesito “estratégia”, e que as áreas administrativas das empresas (entenda-se alta direção, para definições estratégicas de mercado ou interdepartamentais) receberam as maiores avaliações, seguido por P&D, TIC, Comercial e por último a Manufatura. Observa-se ainda que a tecnologia de Internet de Serviços (IoS) é a tecnologia mais difundida, corroborando a forte difusão de serviços no conceito da I.4.0, seguida pela CPS, IoD e IoT.

Pela Análise Multicriterial do método Promethee, identifica-se o posicionamento similar de 3 grupos de empresas, ou seja, o grupo 1 que compreende as empresas que estão na direção correta para o aumento do grau de maturidade estudado (empresas A, C, D, F, G, H, O e R), o grupo 2 que está em oposição ao primeiro e representa as empresas cujas ações (ou a falta delas) têm baixa ou nenhuma aderência aos conceitos da I.4.0, ou seja, estão concentrando esforços em aspectos que não impactam na implementação da I.4.0 e à sua elevação do grau de maturidade (empresas E, J, K e M), e o grupo 3 que contém as empresas que, aparentemente, estão se movendo muito lentamente e com baixa aderência à I.4.0 (empresas B, I, L, N, P, Q e S). Essa análise responde à questão número 2 do objetivo (É possível identificar um diagnóstico com direções de ações para implementar os conceitos da I.4.0?).

Observa-se ainda que, apesar de algumas similaridades de resultados, o índice monocriterial do OPM3 representa apenas o grau de maturidade em uma dimensão única e que indica a necessidade ou urgência de ações gerais para o segmento de autopeças, sendo que o método multicritério Promethee torna-se importante em uma segunda etapa, quando deseja-se saber quais áreas (deptos.) ou tecnologias devem ter investimento prioritário para melhoria significativa de cada empresa em relação às demais listadas no estudo, sendo as principais:

- As empresas “C, F e R” estão bem alinhadas e equilibradas na direção da linha de referência por áreas (deptos.) e devem manter esse equilíbrio de forma crescente.
- As empresas “D, H, e O” devem priorizar esforços e atenção nas áreas de Manufatura, Comercial e P&D, o que as levará a um melhor alinhamento de rota.
- As empresas “A, E e G” devem dar mais atenção a questões de informática (TIC) e de administração (gestão, formação e estratégia), para que possam fazer uma correção de rota.
- As empresas “D, H, K, O e R” devem priorizar esforços e atenção nas tecnologias (IoT, IoS, IoD e CPS), o que as levará em correção de rota.
- As empresas “A, C, F e G” devem dar um pouco mais de atenção a questões de estratégia e formação de pessoal (RH), embora estejam mais alinhadas à rota da linha de referência.
- Para as demais empresas, todos os aspectos são importantes, porém seguindo uma razão lógica em termos de condução de negócios, sugerimos priorizar em definir estratégias e capacitação do pessoal para introdução das tecnologias em todas as áreas.

O método Promethee permite também contribuir na identificação das forças, fraquezas e possíveis associações de cada uma das empresas, portanto, para qualquer avaliação e tomada de ações em busca de maior maturidade dos conceitos da I.4.0, é proposto que se utilize em conjunto as avaliações obtidas pelos métodos OPM3/Likert e Promethee multicriterial.

Observa-se também que os índices estratificados por área ou departamento das empresas são muito similares aos estratificados por tecnologia.

Como resumo do resultado proposto pelo estudo de caso, temos pela Análise Monocriterial OPM3/Likert o indicador final com resultado global de “0,20” (Figura 49 e tabela 5), portanto, com base no critério definido na tabela 2 e para a amostra realizada, o segmento de "autopeças brasileiro está com um Grau de Maturidade em “nível inicial” de implementação dos conceitos da Indústria 4.0. Esse resultado responde à pergunta número 1 do objetivo (Pode-se identificar o grau de maturidade da indústria em relação ao conceito I.4.0, através de um indicador?).

Adicionalmente o estudo revela que o Planejamento Estratégico (Estratégia para implantação da I.4.0) com um índice global 0,425 (Figura 50) tem um Grau de Maturidade de nível “em implementação”. Isso demonstra que em média as empresas estão discutindo ou ao menos alguma preocupação em colocar ações para se adequarem aos conceitos da I.4.0 no plano de negócios. Essa análise responde à pergunta 3 do objetivo para o segmento de autopeças brasileiro (É possível identificar a partir do questionário, se a I.4.0 faz parte do planejamento estratégico das empresas do setor Autopeças Brasileiro e se impactam no indicador proposto?).

Outro resultado obtido é que 79% dos respondentes desconhecem ou não utilizam alguma política governamental de incentivo às empresas do setor para este tema (Figura 63), o que demonstra o atraso de medidas e de divulgação das poucas existentes até o ano de 2017. Essa análise responde à pergunta 4 do objetivo para o segmento de autopeças brasileiro (A partir deste estudo é possível as empresas identificarem a existência de política governamental clara em relação a I.4.0?).

Finalmente, respondendo à pergunta número 5 do questionário (Existe uma percepção de que se utilizando os conceitos da I.4.0, a competitividade da empresa irá melhorar dentro do segmento de Autopeças?), o estudo aponta que 73% dos respondentes concordam que há uma percepção dentro das organizações, que a utilização dos conceitos da I. 4.0 irá aumentar a competitividade da empresa (Figura 62). Essa alta percepção dos líderes do segmento de autopeças brasileiro é importante, porém, deixou novamente o alerta de que a expectativa é de que a I.4.0 irá potencializar a competitividade de países com maior nível de automatização, e que isso é válido para todos os segmentos em todo o mundo, portanto, faz-se necessário um movimento de adequação nesta direção.

Entendo que esses resultados devem receber duas abordagens do autor. A primeira é que os resultados surpreendem de certa forma, pois embora ainda exista subjetividade nas interpretações, com a minha familiaridade do segmento de autopeças brasileiro há mais de 20 anos, acredito que algumas empresas ainda não estão nos níveis declarados. A segunda é que, por outro lado, como existe a possibilidade de muitos respondentes terem considerado a implementação dos conceitos em apenas alguma área ou setor, chamados de piloto, prática esta recomendada pela própria agência alemã Acatech (KAGERMANN et al., 2013), os resultados finais reais considerando as organizações completas tendem a ser menores, conforme minha percepção.

Com a realização do estudo de caso pode-se comprovar a utilidade do método para o segmento de autopeças, e que há embasamento técnico e matemático para que possa ser utilizado e expandido para outros segmentos, mesmo que com ajustes, adequações e melhorias.

6.1. Recomendações de Trabalhos Futuros

Outras pesquisas em diversos segmentos podem ampliar a consolidação da metodologia e, devido a contemporaneidade do início do desenvolvimento do tema Indústria 4.0, devido às aceleradas alterações de modelos e conduções de negócios, e ao acelerado desenvolvimento tecnológico, características iniciais da 4ª Revolução Industrial, será necessário atualizações de abordagens, de técnicas e de ferramentas na adequação ao modelo proposto.

7. Referências Bibliográficas

ALMEIDA, D., SANTOS, M.A.R. E COSTA, A.F.B. **Aplicação do Coeficiente Alfa de Cronbach nos Resultados de um Questionário para Avaliação de Desempenho da Saúde Pública.** XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO Maturidade e desafios da Engenharia de Produção: competitividade das empresas, condições de trabalho, meio ambiente – ENEGEP 2010, São Carlos, SP, Brasil, p. 3, p. 1-12, outubro de 2010.

ÁLVARES, A.J. E FERREIRA, J.C.E. **Uma Metodologia para Integração CAD/CAPP/CAM voltada para manufatura remota de peças rotacionais via web.** 2º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação – ABCM, FEMEC-UFU Uberlândia-MG, 18 a 21 de maio de 2003.

ANDERL, R. **Industrie 4.0 - Advanced Engineering of Smart Products and Smart Production.** Technological Innovations in the Product Development, 19th International Seminar on High Technology, Piracicaba, Brasil, P. 1-14, October 2014.

ANFAVEA. **Anuário da Industria Automobilística Brasileira.** Estatístico responsável Sérgio Yukio Sawada, publicado por ANFAVEA-Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores, p. 1-150, 2016.

BARTJE, J. **The top 10 IoT application areas – based on real IoT projects,** Publicado em August 16, 2016, acessado em 14 de setembro de 2017 em <<https://iot-analytics.com/top-10-iot-project-application-areas-q3-2016/>>, 2016.

BASU, R. **Implementing Six Sigma and Lean: a practical guide to tools and techniques.** Elsevier. First edition 2009, Elsevier Ltd, p. 1-335, 2009.

BETTER. **Big Data from Space!** Disponível em: <<https://www.ec-better.eu/pages/big-data-from-space>> Acessado em: 19 jan. 2018.

BLOEM, J., VAN DOON, M., DUIVESTSTEIN, S. EXCOFFLER, D. MAAS, R. E VAN OMMEREN, E. **The fourth industrial revolution: things to tighten the link between IT and OT.** Production by Sogeti VINT - LINE UP boek en media bv, Groningen, p. 1-40, 2014.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDES. **Financiamento / Quem pode ser cliente.** Acessado em 16/12/2016 em https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/erro-404!/ut/p/z/1/04_iUIDg4tKPAFJABpSA0fpReYllmemJJZn5eYk5-hH6kVFm8eaB7s4ejiaGPgYhBgYGjsb-jiZm5pZGYT6m-l76UfgVFGQHKgIAR0SquQ!!, 2016.

BOSCH. **Future production with Industry 4.0.** Publicado em 29 de junho de 2016 e acessado em 22 de julho de 2017 em <<https://www.youtube.com/watch?v=ISk64bJ35yM>>, 2016.

BRANS, J.P. E MARESCHAL, B. **Geometrical representations for MCDA.** Elsevier Science Publishers B.V. European Journal of Operational Research 24, p. 228-238, 1988.

BRANS, J.P. E MARESCHAL, B. **MULTIPLE CRITERIA DECISION ANALYSIS**. Chapter 5 PROMETHEE METHODS, p. 64-194, 2005.

BRANS, J.P., VINCKE, PH. E MARESCHAL, B. **How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method**. European Journal of Operational Research, Elsevier Science Publishers B.V. 24 (1986) 228-238, North-Holland, 1986.

BROOKES, N., BUTLER, M., DEY, P. E CLARK, R. **The use of maturity models in improving project management performance: an empirical investigation**. International Journal of Managing Projects in Business, v. 7, n. 2, 2014.

CAMARGO, E. **Design Solutions - Conheça os principais softwares de simulação e suas aplicações**. Postado em 11 de novembro de 2012, acessado em 17 de dezembro de 2018 em <<http://www.cadxpert.com.br/ideias/conheca-os-principais-softwares-cae-e-suas-aplicacoes/>>, 2012.

CANALTECH. **Wi-Fi, Bluetooth ou NFC: qual é melhor e quando devo usar cada um?** Publicado em 2016 e acessado em 23 de março de 2017 em <<https://www.youtube.com/watch?v=ZxfUUiydkA4>>, 2016.

CÉSAR, F.I.G. **Proposta de um Método de Avaliação da Sustentabilidade em Empresas que operam com a Produção Enxuta**. Tese de Doutorado defendida e aprovada na Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, p. 1-209, 24 de junho de 2015.

CHIPTRONIC. **Conheça os 2 tipos de transponder**. Publicado em 3 de dezembro de 2018, acessado em 14 de dezembro de 2018 em <<https://chiptronic.com.br/blog/conheca-os-2-tipos-de-transponder>>, 2018.

CHOI, S.S., JUNG, K. AND NOH, S.D. **Virtual reality applications in manufacturing industries: Past research, present findings, and future directions**. CE-Concurrent Engineering: Research and Applications, Vol. 23(1), p. 40–63, 2015.

COMPUTER WORLD. **IT Trends**, Acessado em 22 de maio de 2018 em <<https://computerworld.com.br/2018/04/24/onde-e-como-realidade-aumentada-tem-sido-utilizada-no-setor-industrial/>>, 2018.

Confederação Nacional da Indústria-CNI. **Desafios para a Indústria 4.0 no Brasil**. Conselho Temático Permanente de Política Industrial e Desenvolvimento Tecnológico–COPIN. Presidente Robson Braga de Andrade. C748d, Confederação Nacional da Indústria, Desafios para a indústria 4.0 no Brasil / Confederação Nacional da Indústria. – Brasília: CNI, 2016, 34 p.: il.1. Digitalização da Economia. 2. Indústria 4.0. I. Título C DU: 329, 2016.

COSTA, R.M. **A indústria automobilística no Brasil e o Plano Nacional de Exportações**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Fundação de Economia e Estatística (FEE), Indic. Econ. FEE, Porto Alegre, v. 44, n. 1, p. 17-32, 2016.

COUTINHO, D. **O que é Realidade Virtual? Entenda melhor como funciona a tecnologia.** Publicado em 29 de setembro de 2015, acessado em 22 de julho de 2017 em <<https://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2015/09/o-que-e-realidade-virtual-entenda-melhor-como-funciona-a-tecnologia.html>>, 2015.

CUSTODIO, R. **Technology, connectivity and manufacturing – A new industrial revolution.** Roland Berger, 31ª Feira Internacional da Mecânica, São Paulo, p. 1-19, 17 de maio de 2016.

DEVERHUM. **Tendências do SCM (Supply Chain Management) no Brasil.** Acessado em 2 de setembro de 2017 em <<http://deverhum.com.br/blog/tendencias-do-scm-supply-chain-management-no-brasil/>>, 2017.

DIAMANDIS, P. **Os 6 Ds da jornada exponencial de uma nova tecnologia digital.** Publicado na Revista Exame - Ed. 1145, Ano 51, No. 17, Setembro de 2017.

DOMBROWSKI, U., WAGNER, T. **Mental strain as field of action in the 4th industrial revolution.** Variety Management in Manufacturing. Proceedings of the 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems. Published on 2014 by Elsevier B.V., Procedia CIRP 17, p. 100–105, 2014.

ELCO. **COBOTS – Robôs colaborativos: quais as vantagens em linha de produção.** Publicado em 02 de julho de 2018 por ELCO-Automação Industrial, acessado em 24 de setembro de 2018 em <<https://elcoindustria.com.br/cobots-robos-colaborativos-linha-producao/>>, 2018.

FARIA, N.A.C.C. **Elaboração e implementação de um plano geral de manutenção preditiva, preventiva e curativa na Lipor – Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto.** Dissertação de Mestrado na FEUP-Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão, p. 1-101, 28/01/2013.

FERREIRA, A.B.H. **Princípio.** Novo Dicionário da Língua Portuguesa, 2ª edição, Rio de Janeiro, Nova Fronteira, p. 1 393, apud <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Princípio>>, acessado em 2017, 1986.

FINCHER, A. E GINGER, L. **The project management maturity model.** Project Management Institute 28th Annual Seminar/Symposium, Chicago, IL, p. 48-55, 1997.

FLEICH, E. **What is the Internet of Things? An economic perspective.** Auto-ID Labs White Paper WP-BIZAPP-053, p. 1-27, 2010.

FORZA, C. **Survey research in operations management: a process-based perspective.** International Journal of Operations & Production Management, v. 22 Issue: 2, p.152-194, 2002.

GÄNSSLEN, S., LOSBICHLER, H., HORVÁTH, P. E MICHEL, U. **Industrie 4.0, Controlling in the Age of intelligent Networks. Dream Car of the Dream Factory of the ICV 2015.** ICA – International Controller Association, p. 1-43, 2015.

GAZETA DO POVO. **Indústria automotiva perde espaço no PIB.** Disponível em <<http://www.gazetadopovo.com.br/economia/industria-automotiva-perde-espaco-no-pib-88y1fwqsunhox78ebi30d4a4k>>, acessado em 29 Agosto de 2016.

GEHM FILHO, A. **CRM: O que é CRM e como ele pode impulsionar o crescimento das suas vendas.** Publicado em 18 de abril de 2019 e acessado em 22 de maio de 2019 em <<https://crmpiperun.com/blog/o-que-e-crm/>>, 2019.

GEORGE, D. E MALLERY, P. **SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference.** 11.0 update (4th ed.), Boston: Allyn & Bacon, P. 231, 2003.

GERHARD SCHUBERT GMBH. **MES (Manufacturing Execution System).** Acessado em <https://www.gerhard-schubert.fr/fr/mes_manufacturing_execution_system/29>, em 24 de outubro de 2018.

GERLITZ, L. **Design for product and service innovation in Industry 4.0 and emerging smart society.** JOURNAL OF SECURITY AND SUSTAINABILITY ISSUES, 2029-7017 print/ISSN 2029-7025 online, 2015 December, v. 5, n. 2, p. 181-198, 2015.

GLIEM, J.A. E GLIEM, R.R. **Calculating, interpreting, and reporting Cronbach's alpha reliability coefficient for Likert-type scales.** Presented at the Midwest Research-to-Practice Conference in Adult, Continuing, and Community Education, The Ohio State University, Columbus, OH, p. 82-88, October 8-10, 2003.

GOMEZ, R. **CRM - Customer Relationship Management - Gestão de Relacionamento com o Cliente.** Postado em 27 de junho de 2014, acessado em 28 de março de 2017 em <<http://inglesa.blogspot.com/2014/06/crm-customer-relationship-management.html>>, 2014.

GOOGLE. **Arquitetura do PMS-Pallet Management System.** Autor desconhecido, acessado em 14 de fevereiro de 2018 em <www.google.com.br>, 2018.

HARTMAN, K.G. **CMM & Organizational Process Maturity.** Technology Leadership & Information Security, disponível em <www.kennethghartman.com/cmm-organizational-process-maturity/>, acessado em 05 Dezembro 2016, 2014.

HERMANN, M., PENTEK, T. E OTTO, B. **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review.** Working Paper No. 01 / 2015, p. 3-16, 2015.

HERMANN, M., PENTEK, T. E OTTO, B. **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios.** 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences, p. 3928-3937, 2016.

HOLANDA, A.B. **Técnica.** Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa, 5. ed. Editora Positivo, acessado em fevereiro de 2018 em <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Técnica>>, 2010.

HOPPEN, J. **7 características importantes para diferenciar BI, Data Mining e Big Data.** Publicado em 27 de abril de 2015, acessado em 19 de setembro de 2017 em <<https://aquare.la/7-caracteristicas-importantes-para-diferenciar-bi-data-mining-e-big-data/>>, 2015.

HUGOS M. **Essentials of Supply Chain Management**. Fourth edition, Published by John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, acessado em 29 de setembro de 2018 em <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=bvNKDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR11&dq=Ganeshan+e+Harrison+1995&ots=E1jXke-41z&sig=kSQvEDZ4_wp2LHiBVxl1f6TwKWg#v=onepage&q=Ganeshan%20e%20Harrison%201995&f=false>, 2018.

I-SCOOP BVBA. **What the Internet of Everything really is – a deep dive**. Acessado em 8 de novembro de 2017 em <<https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/internet-of-everything/>>, 2018.

IDC. **The Digital Universe of Opportunities: Rich Data and the Increasing Value of the Internet of Things**. EMC Digital Universe with Research & Analysis by IDC, accessed in September 2017 on <<https://www.emc.com/leadership/digital-universe/2014iview/internet-of-things.htm>>, 2014.

IDEAL MARKETING. **Chegou a hora de saber o que é Big Data e tornar a sua empresa líder em tecnologia, conhecimento e crescimento!** Publicado em 4 de Maio de 2018, acessado em 2 de setembro de 2018 em <<https://www.idealmarketing.com.br/blog/o-que-e-big-data/>>, 2018.

KAGERMANN, H., WAHLSTER, W. E HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0**. Copy editing by Linda Treugut, M.A. from acatech – National Academy of Science and Engineering, p. 1-82, 2013.

LACERDA, A.C.C. **Evolução da inserção do Brasil na cadeia de valor da indústria automotiva (1990-2014)**. Monografia do curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Santa Catarina, p. 1-65, 2015.

LANDIS, J.R. E KOCH, G.G. **The measurement of observer agreement for categorical data**. *Biometrics*. 33:159, Apud Vieira, S. (2015), acessado em 22 de janeiro de 2018 em <<http://soniavieira.blogspot.com/2015/10/alfa-de-cronbach.html>>, 1977.

LEE, J.H., LEE, S.H., KIM, K. E SUNG, H.J. **Structure of the turbulent boundary layer over a rod-roughened wall**. 2009 Elsevier Inc., Volume 30, Issue 6, p. 1087-1098, December 2009.

LEONTITSIS, A. E PAGGE, J. **A simulation approach on Cronbach's alpha statistical significance**. Published by Elsevier B.V. *Mathematics and Computers in Simulation* 73 (2007) p. 336–340, 2007.

LÉVY, P. **Welcome to virtuality**. *Digital Creativity* 8 (1) 3-10 © Intellect Ltd 1997, Published online on 30 May 2008, *Digital Creativity*, Vol. 8, No. 1, p. 1-10, April 1997.

LIKERT, R. **A technique for the measurement of attitudes**. *Archives of Psychology*, 22 140, 55, 1932.

LONG, M. **FlexSim Bottling Line**, posted on July, 24th' 2012, accessed in January, 15th 2019 on <<https://archive.flexsim.com/downloads.php?do=file&id=279>>, 2012.

LUKAC, D. **The fourth ICT-based Industrial Revolution “Industry 4.0” - HMI and the case of CAE/CAD innovation with EPLAN P8**. 23rd Telecommunications forum TELFOR 2015, Serbia, Belgrade, p. 835-838, November 24-26, 2015.

MACHADO, R.T.M. **Rastreabilidade, Tecnologia da Informação e Coordenação de Sistemas Agroindustriais**. Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, p. 1-239, 2000.

MANTZANAKIS, S. E CHRISTOFILOPOULOS, E. **China 2025 Research and Innovation Landscape**. Dragon-Star report, Emetris www.emetris.gr, Phemonoe www.phemonoe.eu, PRAXI Network <http://help-forward.gr/en/>, p. 1-82, May 2015.

MDIC Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **MDIC quer coordenar a política nacional para a Indústria 4.0**. Diretor Substituto da Secretaria de Inovação e Novos Negócios, José Henrique Videira Menezes. Acessado em fevereiro de 2017 e disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=_tURel5ho_A>, 2016.

MELL, P. E GRANCE, T. **The NIST Definition of Cloud Computing**. Recommendations of the NIST-National Institute of Standards and Technology, Special Publication 800-145, Computer Security Division, Information Technology Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899-8930, p. 1-7, published on September 2011.

METZNER, V.C.V., SILVA, R.F. E CUGNASCA, C.E. **Modelo de rastreabilidade de medicamentos utilizando identificação por radiofrequência, redes de sensores sem fio e o conceito de Internet das Coisas**. ANPET – XXVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Curitiba-PR, p. 1-11, 2014.

Miller, G. A. **The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information**. Psychological Review, 63, 81-97, 1956.

MILOSLAVSKAYA, N. E TOLSTOY, A. **Big Data, Fast Data and Data Lake Concepts**. 7th Annual International Conference on Biologically, Inspired Cognitive Architectures, BICA 2016, published by Elsevier B.V., Procedia Computer Science, Volume 88, p. 300–305, 2016.

MIORANDI, D., SICARI, S., PELLEGRINI, F. E CHLAMTAC, I. **Internet of Things: vision, application and research challenges**. Ad Hoc Networks journal homepage: www.elsevier.com/locate/adhoc, Ad Hoc Networks 10, p. 1497–1516, 2012.

MIRAZ, M.H., ALI, M. E PICKING, P.S.E.R. **A Review on Internet of Things (IoT), Internet of Everything (IoE) and Internet of Nano Things (IoNT)**. P. 219-224, 2015.

NEUMANN, R. **Connected Industry at Bosch**. Publicado nos ANAIS DO 21º SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE ALTA TECNOLOGIA, UNIMEP Piracicaba, SP, 06 de outubro de 2016, p. 92-120, p. 106, 2016.

OGAWA, M. **II Workshop a Indústria 4.0 e a Revolução Automotiva**. Deloitte Touche Tohmatsu, p.1-29, 2017.

OMEGA CUBE TECHNOLOGIES. **MRP & Scheduling with ERP and Machine Monitoring**. Publicado em 01 de Janeiro de 2017, acessado em 7 de fevereiro de 2017 em <<https://www.omegacube.com/2017/07/01/mrp-scheduling-erp-machine-monitoring/>>, 2017.

PALMA, J.M.B., BUENO, U.S., STOROLLI, W.G., SCHIAVUZZO, P.L., CESAR, F.I.G. E MAKIYA, I.K. **Os princípios da Indústria 4.0 e os impactos na sustentabilidade da cadeia de valor empresarial**. Slide de apresentação no 6th International Workshop Advances in Cleaner Production, Brazil, São Paulo, May 24th to 26th 2017.

PARAGON DECISION SCIENCE. **O que é Simulação?** Acessado em 8 de dezembro de 2018 em <<https://www.paragon.com.br/academico/o-que-e-simulacao/>>, 2018.

PEITZKER, S. **Industry 4.0: Towards a value-stream organization**. Publicado em 17 de novembro de 2015 em Bosch Connected World Blog, acessado em 22 de julho de 2017 em <<https://blog.bosch-si.com/industry40/industry-4-0-towards-value-stream-organization/>>, 2015.

PETERS, N. **How is the HVMC driving the new industrial revolution?** Posted on May 10th' 2017 by The Manufacturer, accessed on 11 October 11th' 2017 on <<https://www.themanufacturer.com/articles/how-is-the-hvmc-driving-the-new-industrial-revolution/>>, 2017.

PFOHL, H.C., YASHI, B. E KURNAZ, T. **The impact of industry 4.0 on the Supply Chain**. Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL). Published in Innovations and Strategies for Logistics and Supply Chains, p. 30-58, on August 2015.

PHOTOBUCKET. **FMS (Flexible Manufacturing System)**. Acessado em 29 de agosto de 2018 em <<http://administracaoensitec.blogspot.com/2010/06/fms-flexible-manufacturing-system.html>>, 2018.

PIXABAY. **Indústria-tecnologia-máquina**. Autor desconhecido, acessado em 15 de Agosto de 2018 em <<https://pixabay.com/pt/photos/industria-tecnologia-maquina-3d-3225119/>>, 2018.

PLACERES, C. **Manufatura Avançada: A era das fábricas inteligentes**. Publicado nos ANAIS DO 21º SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE ALTA TECNOLOGIA, UNIMEP Piracicaba, SP, p. 122-142, p. 126, 06 de outubro de 2016.

PMI. **Organizational Project Management Maturity Model (OPM3) – Knowledge Foundation**. PMI-Project Management Institute, 3o. Ed. Newtown Square, Pennsylvania USA, p. 19, p. XIII, 2013.

PRIYADARSHI, A. **Thrive Global - Benefits of Using Product Lifecycle Management**. Published on September 14th, 2018, accessed on November 25th, 2018 on <<https://thriveglobal.com/stories/the-advice-this-duo-would-give-other-entrepreneurs-that-want-to-succeed-in-business-and-life/>>, 2018.

PRYTULA, L. **Sensor inteligente**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Projeto de diplomação Sensor Inteligente, p. 1-74, julho de 2011.

PUHLMANN, H.F.W. **Introdução à tecnologia de identificação RFID**. Publicado em 31 de março de 2015, acessado em 28 de setembro de 2017 em <<https://www.embarcados.com.br/introducao-a-rfid/>>, 2015.

ROCKWELL AUTOMATION. **Eventos**. Acessado em 22 de maio de 2018 em <https://www.rockwellautomation.com/pt_BR/events/>, 2018.

RUSSOM, P. **Big Data Analytics**. TDWI Best Practices Report, fourth quarter 2011, The Data Warehousing Institute, p. 1-38, 2011.

RZ SISTEMAS. **Conheça mais sobre o Sistema ERP e como ele pode te ajudar**. Acessado em 22 de setembro de 2018 em <<https://www.rzsistemas.com.br/sistema-erp/>>, 2018.

SALDANHA, L. **CAD, CAE E CAM: Qual a diferença entre eles?** Publicado por 4i Engenharia em 16 de março de 2017, acessado em 24 de Agosto de 2017 em <<https://www.4ieng.com.br/single-post/2017/03/16/CAD-CAE-E-CAM-Qual-a-diferenca-entre-eles>>, 2017.

SANTOS, A.R. **Definições e Conceitos de Supply Chain Management (definição e conceito de Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos)**. Apud Leandro Callegari Coelho, postado em 27 de janeiro de 2010 em <<https://www.logisticadescomplicada.com/definicoes-e-conceituacao-de-scm-gerenciamento-da-cadeia-de-suprimentos/>>, 2010.

SCHLAEPFER, R.C., KOCH, M. **Industry 4.0-Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies**. Deloitte AG, 2015, Designed and produced by The Creative Studio at Deloitte, Zurich, 45774A, p. 1-32, p. 4, 2015.

SCHWAB, K. **A Quarta Revolução Industrial**. 1ª edição, World Economic Forum, p. 1-159, 2016.

SEBRAE - NA / DIEESE. **Anuário do trabalho nas micro e pequena empresa 2013**. Identificação tipo e porte da empresa, acessado em 10 de outubro de 2016 no portal <www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Anuario%20do%20Trabalho%20Na%20Micro%20e%20Pequena%20Empresa_2013.pdf>, p. 17, 2013.

SEURING, S. E MULLER, M. **From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management**. Elsevier Ltd, Journal of Cleaner Production 16 (2008), p. 1699–1710, 2008.

SILVA, J.A., FERNANDES, J.G., OCCHIPINTI, L.M., TOMAZINI, L.R., POLOTO, P., RODRIGUES, R., SILVA, R.R. E SILVEIRA, S.R. **NEAR FIELD COMMUNICATION**. Publicado pela Facens - Faculdade de Engenharia de Sorocaba em <https://www.academia.edu/15720653/Resumo_da_tecnologia_NFC>, novembro de 2014.

SINDIPEÇAS e ABIPEÇAS. **Desempenho do Setor de Autopeças**. Publicado por Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores-SINDIPEÇAS e Associação Brasileira da Indústria de Autopeças-ABIPEÇAS, p. 1-62 na edição 2016, p. 1-64 na edição 2017.

SLACK N., CHAMBERS, S. E JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2ª Edição, p. 449-480, 2002.

SOARES FILHO, A. **O que acontece em 1 minuto de Internet (2018)?** Acessado em 10 de janeiro de 2019 em <<https://clickstobricks.com.br/o-que-acontece-em-1-minuto-de-internet-2018>>, 2019.

SOLMS, R.V. E NIEKERK, J.V. **From information security to cyber security**. Published by Elsevier Ltd., computers & security 38, p. 97-102, 2013.

SSM. **Impacto da I.4.0 no TBL da sustentabilidade**. Consultoria Independente SSM - Smart Strategy Management, 2017.

STEPHENSON, B. **The end of products, the end of ownership. Is this the future of business?** License and Republishing by World Economic Forum, published on June, 23rd 2016 accessed in September, 9th 2017 on <<https://www.weforum.org/agenda/2016/06/how-can-the-internet-of-things-inspire-a-shift-to-a-circular-economy>>, 2016.

STRACHMAN, E. **The Brazilian Economic Growth and its Constraints – 1930-2015: a historic-structural analysis**. Online at <<https://mpira.ub.uni-muenchen.de/72697>>, MPRA-Munich Personal RePEc Archive, MPRA Paper nº 72697, p. 1-16, postado em 23 de julho de 2016.

STREINER, D.L. **Being Inconsistent About Consistency: When Coefficient Alpha Does and Doesn't Matter**. JOURNAL OF PERSONALITY ASSESSMENT, 80(3), p. 6, p. 217–222, 2003.

TNG BRASIL. **O que é MES?** Acessado em 22 de março de 2017 em <<https://tgnbrasil.com.br/o-que-e-mes-manufacturing-execution-system/>>, 2017.

TURCK INC. **RFID IN AN AUTOMATED GUIDED VEHICLE**. Acessado em 12 de setembro de 2018 em <<https://www.turck.us/en/rfid-in-an-automated-guided-vehicle-6880.php>>, 2018.

VIEIRA, K.M. E DALMORO, M. **Dilemas na Construção de Escalas Tipo Likert: o Número de Itens e a Disposição Influenciam nos Resultados?** XXXII Encontro da ANPAD-RJ, p. 1-16, de 6 a 10 de setembro de 2008.

WITTEN, I.H. E FRANK, E. **Review of data mining: practical machine learning tools and techniques**. 2ª ed. San Francisco, California: Morgan Kaufmann, p. 1-525, 2002.

WORLD ECONOMIC FORUM. **The Future of Electricity - New Technologies Transforming the Grid Edge**. P. 1-32, published on March 2017.

WU, H.K., LEE, S., W.-Y., CHANG, H.-Y. E LIANG, J.-C. **Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education**. 2012 Elsevier Ltd., Computers & Education 62, p. 41–49, 2012.

ZHOU, K., LIU, T. E ZHOU, L. **Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges**. 2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), p. 2147-2152, 2015.

8. Apêndices

8.1. Questionário - 1ª parte

INDÚSTRIA 4.0

Avaliação do Grau de Maturidade da Indústria 4.0 no setor de Autopeças Brasileiro

Orientações gerais:

1. As respostas poderão considerar a adequação completa da empresa, ou mesmo a utilização do conceito Indústria 4.0 (I.4.0) em apenas um processo piloto na organização.
2. O espaço “Comentário” poderá ser utilizado pelo respondente, caso queira justificar ou complementar a sua resposta.
3. Anotar com um “X” no número de sua escolha

Questionário Reduzido

Grupo 1a - Identificação do profissional, da empresa respondente e da abordagem:

1- Nome do respondente: _____
 e-mail: _____ fone: (____) _____
 Empresa avaliada: _____
 Localização da empresa (cidade / estado): _____
 Data da avaliação: ____ / ____ / ____

2- Qual o porte ou tamanho de sua empresa ou organização em número de funcionários?
 (conforme definição do Sebrae)

0 = Micro (até 19 empregados) / 1 = Pequena (de 20 até 99 empregados) / 2 = Média (de 100 até 499 empregados) / 3 = Grande (de 500 ou mais)

Comentário: _____

3- Qual o seu principal cargo ou função profissional na empresa?

0 = assistência / 1 = líder / 2 = supervisor / 3 = gerente / 4 = diretoria / 5 = outro (especificar no comentário)

Comentário: _____

4- Qual é a sua mais alta formação educacional completa?
(indique no comentário no caso de cursos em andamento)

0 = ensino médio / 1 = superior / 2 = pós-graduado/MBA / 3 = mestrado / 4 = doutorado/ 5 =
Outro (especificar no comentário)

Comentário: _____

5- Qual é o principal departamento ou setor que você trabalha em sua empresa?

0 = TI/Comunicações / 1 = P&D/Eng^a Produto / 2 = Eng^a Processos/Logística / 3 =
Manufatura/Produção/PCP / 4 = Manutenção/Inst.Indl. / 5 = Financeiro / 6 = Suprimentos / 7 =
Vendas/Marketing / 8 = Qualidade / 9 = RH/Jurídico / 10 = Outro (especificar no comentário)

Comentário: _____

6- Qual o seu conhecimento ou sua familiaridade com o conceito da 4ª Revolução Industrial ou Indústria 4.0?

0 = nenhuma = 0% / 1 = parcial 25% / 2 = parcial 50% / 3 = parcial 75% / 4 = total 100%

Comentário: _____

Grupo 2a – Técnicas e Ferramentas do conceito Indústria 4.0 / Smart Factory:

IoT (*Internet of Things*)

7- Sua empresa utiliza a IoT (*Internet of Things* ou Internet das Coisas), através do uso de ferramentas ou sistemas de gestão da produção, do tipo MRP (*Materials Requirements Planning*), MES (*Manufacturing Execution System*), ou similares, integrado diretamente a máquinas, equipamentos ou aparelhos (coisas)?

0= inicial (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1= em implementação / 2= intermediário / 3= em fase final de implementação / 4= implementado

Comentário: _____

8- Sua empresa utiliza a IoT, através do uso de ferramentas ou sistemas de gestão da cadeia de fornecimento, do tipo SCM (*Supply Chain Management*), ou similares, integrado além dos fornecedores até seus clientes, diretamente com máquinas, equipamentos ou aparelhos (coisas)?

0= inicial (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1= em implementação / 2= intermediário / 3= em fase final de implementação / 4= implementado

Comentário: _____

9- Sua empresa utiliza a IoT, através do uso de ferramentas ou sistemas do tipo PMS (*Pallet Management System*) de gerenciamento de paletes conectados diretamente ao sistema de produção (máquinas, equipamentos, linhas de montagem etc.)?

0= inicial (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1= em implementação / 2= intermediário / 3= em fase final de implementação / 4= implementado

Comentário: _____

10- Sua empresa utiliza a IoT, através do uso da técnica ou sistema AGV (*Automatic Guided Vehicle*) para movimentação autônoma na logística e/ou produção? (especificar no comentário o tipo, exemplo: empilhadeiras, carrinhos de abastecimento, equipamentos, bancadas, máquinas etc.)

0= inicial (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1= em implementação / 2= intermediário / 3= em fase final de implementação / 4= implementado

Comentário: _____

11- Sua empresa utiliza a IoT, através do uso de ferramentas ou sistemas de gestão de relacionamento com clientes, do tipo CRM (*Customer Relationship Management*), ou similares, integrado além dos clientes, também diretamente a máquinas, equipamentos ou aparelhos (coisas)?

0= inicial (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1= em implementação / 2= intermediário / 3= em fase final de implementação / 4= implementado

Comentário: _____

12- Sua empresa utiliza a IoT, através do uso de ferramentas ou sistemas de identificação inteligente para produtos e/ou processos de manufatura, do tipo RFID (*Radio-Frequency IDentification*), NFC (*Near Field Communication*), Bluetooth ou similares?

0= inicial (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1= em implementação / 2= intermediário / 3= em fase final de implementação / 4= implementado

Comentário: _____

13- Sua empresa utiliza a IoT, através do uso de técnicas ou sistema de rastreabilidade e monitoramento automático e contínuo para produtos e respectivos processos de manufatura? (conexão com as etiquetas do tipo RFID, NFC, Bluetooth e similares)

0= inicial (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1= em implementação / 2= intermediário / 3= em fase final de implementação / 4= implementado

Comentário: _____

Obs: O conceito de rastreabilidade aqui será expandido tornando-se mais inteligente, sendo caracterizado como um sistema de identificação que permite resgatar as informações de origem e a história do produto e/ou processo de manufatura, associado a um sistema de possível monitoramento contínuo e em tempo real, de localização e uso do objeto rastreado (ex: RFID)

14- Sua empresa utiliza a IoT, através do uso de técnicas ou sistemas de automatização e/ou robotização na produção?

0= inicial (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1= em implementação / 2= intermediário / 3= em fase final de implementação / 4= implementado

Comentário: _____

15- Sua empresa utiliza a IoT, através do uso de ferramentas de sistemas digitais portáteis no controle do processo? (celulares, tablets etc.)?

0= inicial (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1= em implementação / 2= intermediário / 3= em fase final de implementação / 4= implementado

Comentário: _____

IoS (*Internet of Service*)

16- Sua empresa utiliza a IoS (*Internet of Service* ou Internet de Serviço) para compra de produtos, componentes ou serviços diretamente através do portal digital de fornecedores?

0= inicial (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1= em implementação / 2= intermediário / 3= em fase final de implementação / 4= implementado

Comentário: _____

17- Sua empresa utiliza a IoS através de venda de produtos OEM (*Original Equipment Manufacturer*, ou Fabricante do Equipamento Original) e/ou reposição e/ou serviços de assistência técnica diretamente pelo portal digital da empresa?

0= inicial (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1= em implementação / 2= intermediário / 3= em fase final de implementação / 4= implementado

Comentário: _____

IoD (*Internet of Data*)

18- Sua empresa utiliza a IoD (*Internet of Data* ou Internet de Dados), através do uso de ferramenta ou sistema *Big Data* para armazenamento de dados de informática?

0= inicial (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1= em implementação / 2= intermediário / 3= em fase final de implementação / 4= implementado

Comentário: _____

Obs: O conceito de *Big Data* é o armazenamento de dados internos da corporação e os dados externos ligados ao negócio (toda cadeia de valor, de fornecedores a clientes)

19- Sua empresa utiliza a IoD, através do uso de sistema de nuvem (*Cloud Computing*) para armazenamento de dados de informática (*Big Data*)?

0= inicial (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1= em implementação / 2= intermediário / 3= em fase final de implementação / 4= implementado

Comentário: _____

CPS (Cyber-Physical System)

20- Sua empresa utiliza a CPS (*Cyber-Physical System*), através do uso de ferramenta ou sistema do tipo PDM (*Product Data Management*), ou similar, permitindo o armazenamento e controle de arquivos, estruturação e visualização do produto e suas partes, gerenciamento dos dados de projeto do produto em CAD/CAE/CAM/CAPP, e fornecendo dados para o fluxo de informações em Tempo Real e integrado em toda a organização?

0= inicial (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1= em implementação / 2= intermediário / 3= em fase final de implementação / 4= implementado

Comentário: _____

21- Sua empresa utiliza a CPS, através do uso da ferramenta Manufatura Aditiva (Impressão 3D) para fabricação de protótipos e/ou peças de produção?

0= inicial (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1= em implementação / 2= intermediário / 3= em fase final de implementação / 4= implementado

Comentário: _____

22- Sua empresa utiliza a CPS, através do uso da técnica Manutenção Preditiva nos processos de manufatura?

0= inicial (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1= em implementação / 2= intermediário / 3= em fase final de implementação / 4= implementado

Comentário: _____

Obs: Manutenção Preditiva é um método aplicado através de programas especiais (ex: Análise e Medição de Vibrações, Termografia, Análise de Óleo etc.), com a finalidade de indicar as condições reais durante o funcionamento das máquinas com base em dados que informam o seu desgaste ou processo de degradação.

Grupo 3 – Princípios e Estratégia de Design e de Negócio da Indústria 4.0:

23- Em sua empresa existe utilização de plano de eficiência energética ou uso de energia renovável?

0= inicial (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1= em implementação / 2= intermediário / 3= em fase final de implementação / 4= implementado

Comentário: _____

24- Existe em sua empresa um plano de treinamento ou formação interna e/ou externa para entendimento e/ou implementação do conceito da I. 4.0?

0= inicial (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1= em implementação / 2= intermediário / 3= em fase final de implementação / 4= implementado

Comentário: _____

25- O projeto Indústria 4.0 faz parte do Planejamento Estratégico de Negócios e/ou Operacional da empresa para os próximos 3 anos?

0 = discordo totalmente / 1 = discordo / 2 = indiferente / 3 = concordo / 4 = concordo totalmente

Comentário: _____

Grupo 4 - Percepção de mercado quanto ao conceito da Indústria 4.0:

26- Existe a percepção dentro da organização, que a utilização dos conceitos da I. 4.0 irá aumentar a competitividade da empresa?

0 = discordo totalmente (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1 = discordo / 2 = indiferente / 3 = concordo / 4 = concordo totalmente

Comentário: _____

8.2.Questionário - 2ª parte

INDÚSTRIA 4.0

Avaliação do Grau de Maturidade da Indústria 4.0 no setor de Autopeças Brasileiro

Complemento do Questionário Reduzido

Grupo 1b - Identificação do profissional e da empresa respondente:

27- Qual é a origem do capital de investimento de sua empresa ou organização?

0 = não sei / 1 = nacional / 2 = estrangeira / 3 = misto / 4 = outro (justificar no comentário)

Obs: para os casos de capital estrangeiro ou misto, favor descrever o(s) país(es) de origem do(s) mesmo(s) no comentário abaixo.

Comentário: _____

Grupo 2b – Técnicas e Ferramentas do conceito Indústria 4.0 / *Smart Factory*:

IoT (Internet of Things)

28- Sua empresa utiliza a IoT (*Internet of Things* ou Internet das Coisas), através do uso de ferramentas ou sistema de gestão integrando todas as áreas da empresa), do tipo ERP (*Enterprise Resource Planning*), ou similares, integrado diretamente a máquinas, equipamentos ou aparelhos (coisas)?

0= inicial (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1= em implementação / 2= intermediário / 3= em fase final de implementação / 4= implementado

Comentário: _____

29- Sua empresa utiliza a IoT, através do uso de ferramentas ou sistemas do tipo FMS (*Flexible Manufacturing System*) para flexibilização automática da cadeia de produção / *set-up* integrado diretamente a máquinas, equipamentos ou aparelhos (coisas)?

0= inicial (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1= em implementação / 2= intermediário / 3= em fase final de implementação / 4= implementado

Comentário: _____

30- Sua empresa utiliza a IoT, através do uso de técnicas ou sistemas sensoriameto inteligente na automatização dos processos de manufatura?

0= inicial (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1= em implementação / 2= intermediário / 3= em fase final de implementação / 4= implementado

Comentário: _____

Obs: sensoriameto inteligente é aquele que utiliza sensores com capacidade de auto calibração e auto identificação, utilizando, por exemplo, o padrão IEEE 1451, conectados sem fios por sistemas tipo wifi

31- Sua empresa utiliza a IoT, através do uso de ferramentas ou sistema AR (*Augmented-Reality*) e/ou VR (*Virtual Reality*) na organização?

0= inicial (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1= em implementação / 2= intermediário / 3= em fase final de implementação / 4= implementado

Comentário: _____

Obs: *Augmented-Reality* ou Realidade Aumentada é a integração de informações virtuais nas visualizações do mundo real, como por exemplo, através de uma câmera, *smart-glasses*, etc. *Virtual Reality* ou Realidade Virtual é uma tecnologia de interface capaz de enganar os sentidos de um usuário, por meio de uma imersão em um ambiente virtual, criado a partir de um sistema computacional.

IoS (*Internet of Service*)

32- Sua empresa utiliza a IoS (*Internet of Services* ou Internet de Serviços), através do uso de ferramentas ou sistemas de *softwares* de simulação no desenvolvimento de produtos e/ou processos de manufatura? (especificar no comentário)

0= inicial (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1= em implementação / 2= intermediário / 3= em fase final de implementação / 4= implementado

Comentário: _____

IoD (*Internet of Data*)

33- Sua empresa utiliza a IoD (*Internet of Data* ou Internet de Dados) através do uso de técnica ou sistema *Big Data Analytics* para análise estratégica dos dados do *Big Data*?

0= inicial (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1= em implementação / 2= intermediário / 3= em fase final de implementação / 4= implementado

Comentário: _____

Obs: O conceito de *Big Data Analytics* é a análise dos dados do *Big Data*, traduzidos em informações que auxiliem na tomada de decisões estratégicas na cadeia de valor da organização.

34- Sua empresa utiliza a IoD, através do uso de técnica ou sistema *Cyber Security* para segurança dos dados de informática?

0= inicial (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1= em implementação / 2= intermediário / 3= em fase final de implementação / 4= implementado

Comentário: _____

CPS (*Cyber-Physical System*)

35- Sua empresa utiliza a CPS (*Cyber-Physical System*), através do uso de ferramentas ou sistema do tipo PLM (*Product Lifecycle Management*) abrangendo todas as funcionalidades dos sistemas PDM/EDM/GED, CAD/CAE/CAM/CAPP, de gestão de projeto e está intimamente integrado com os sistemas ERP (ou os sistemas CRM e SCM), fornecendo dados para o fluxo de informações em Tempo Real, durante a vida do produto e integrado em toda a organização?

0= inicial (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1= em implementação / 2= intermediário / 3= em fase final de implementação / 4= implementado

Comentário: _____

Grupo 5 - Política Governamental:

36- A empresa utiliza alguma política governamental para implementação do conceito I. 4.0, tais como linha de crédito ABDI (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial), incentivos financeiros, subsídios, suporte para o desenvolvimento e/ou treinamento etc.?

0 = discordo totalmente (ou “não existente” ou “não sei” – nestes 2 casos justificar no comentário) / 1 = discordo / 2 = indiferente / 3 = concordo / 4 = concordo totalmente

Comentário: _____

Grupo 1.c - Identificação do profissional, da empresa respondente e da abordagem:

37- Sua empresa utiliza algum princípio, técnica ou ferramenta não mencionada anteriormente, ou tem uma percepção diferente do tema que você considere significativo?

Comentário: _____

38- Em termos gerais, a abordagem de sua análise neste questionário considerou:

1 = parte da empresa / 2 = a empresa toda no Brasil / 3 = a empresa toda globalizada / 4 = outro
(descrever no comentário)

Comentário: _____

39- Você gostaria de deixar alguma sugestão sobre este questionário?

Comentário: _____

