

## AVALIAÇÃO DO GRAU DE MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0 NO SETOR DE AUTOPEÇAS BRASILEIRO COM AUXÍLIO DO DIAGNÓSTICO DO PROMETHEE<sup>1</sup>

Wilson Gasparotto Storolli<sup>a</sup>, Aníbal Tavares de Azevedo<sup>a</sup>,  
Francisco I. Giocondo César<sup>a,b</sup>, Ieda Kanashiro Makiya<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Faculdade de Ciências Aplicadas  
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Limeira-SP, Brasil

<sup>b</sup>Instituto Federal de São Paulo, Piracicaba-SP, Brasil

Recebido 30/07/2018, aceito 20/11/2018

### RESUMO

No mundo contemporâneo observa-se grandes mudanças conjunturais, ambientais, sociais e econômicas e, grande parte destas novas mudanças são derivadas do início da “4ª Revolução Industrial”, também conhecida como “Indústria 4.0” (I.4.0), que vem promovendo uma disruptura, criando mercados e desestabilizando os formatos tradicionais de realizar negócios. A I.4.0 é uma abordagem estratégica na integração de sistemas de controle avançados com tecnologia de internet, permitindo comunicação entre pessoas, máquinas, produtos e sistemas complexos. Este estudo tem por finalidade, de forma inédita, avaliar para uma determinada amostra, o Grau de Maturidade das indústrias no setor de autopeças brasileiro em relação à implementação da I.4.0, utilizando os métodos OPM3/Likert e o Método Multicritério Promethee, o qual pode identificar direcionamentos de possíveis necessidades de ações gerais e investimentos para essa adequação.

**Palavras-chave:** Indústria de autopeças, Indústria 4.0, Grau de maturidade, Estratégia.

### ABSTRACT

The contemporary world is facing a large change in environmental, social and economic dimensions and, most of them are now derived from the beginning of the "4th Industrial Revolution", also called the "Industry 4.0" (I.4.0), which comes promoting a disruption, creating markets and destabilizing the traditional formats of doing business. I.4.0 is a strategic approach to the integration of advanced control systems with internet technology, enabling communication between people, products and complex systems. This study aims in an unprecedented way, to evaluate, for a given sample, the degree of maturity of the Brazilian auto parts sector in relation to I.4.0 implementation, using the methods OPM3/Likert and the MCDA Promethee, which can identify directions of possible activities and investments need for the segment in the sense of adequacy.

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

---

\*Autor para correspondência: e-mail: wstorolli@gmail.com  
DOI: 10.4322/PODes.2018.012

<sup>1</sup>Todos os autores assumem a responsabilidade pelo conteúdo do artigo.

## 1. Introdução

Para avaliar o “grau de maturidade das indústrias do setor autopeças” em relação ao conceito da I.4.0, ou 4ª Revolução Industrial, é necessário entendê-lo, bem como entender as conjunturas do avanço da Indústria Automotiva, do segmento de Autopeças e da Sociedade no Brasil e no mundo.

Revolução Industrial é um movimento de natureza evolutiva da humanidade (Gerlitz, 2015), portanto, ela acontece como um movimento natural de desenvolvimento e não propriamente definido 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 no período entre 1870 e 1945 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 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, transportes, 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, cujo nome foi cunhado originalmente como “*Industrie 4.0*”. 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, 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 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 que promove debates com a sociedade brasileira, os Estados Unidos já estão em negociação 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, a definição de seu grau de maturidade no ambiente de autopeças brasileiro através dos modelos OPM3 e pelo método *Preference Ranking Organization METHod for the Enrichment of Evaluations*-Promethee é, de forma inédita, a principal contribuição deste estudo.

## 2. Problema

Este problema foi escolhido por ser de grande importância para o cenário industrial brasileiro, pois o setor de autopeças 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, uma vez que 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 alto nível de automação e conectividade (Gänsslen et al., 2015).

Agrega-se o fato do setor automotivo ser um segmento significativo para a economia brasileira e que vem se retraindo nos últimos anos, sendo que sua participação no Produto Interno Bruto-PIB em 2010 foi na ordem de 6,3%, caiu gradativamente até 2015 quando chegou a 4,1% (Gazeta do Povo, 2016) e terminou 2016 com 3,8% de participação. O setor sofre ainda ameaças de diminuição do crescimento através de novos modelos de negócios, tais como o aplicativo Uber, 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 e 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, onde observa-se que a juventude atual não tem como prioridade ter seu próprio carro, mas sim ter uma mobilidade mais inteligente e sustentável, portanto, isso representará uma queda nas vendas e uma necessidade na mudança do modelo de negócio focado em alternativas de novos estímulos e novos nichos de mercado para 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, que foi o precursor da indústria automotiva, teve uma inserção significativa no mercado internacional a partir do ano 2000 (Lacerda, 2015). Desde então o volume de exportações do mercado cresceu sucessivamente entre 2003 e 2008, 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\$11.42 Mi *Free On Board*-FOB, mas desde então, vem decrescendo e fechou o ano de 2015 com US\$7.56 Mi FOB, 2016 com US\$6.57 Mi FOB e 2017 com ligeiro aumento em US\$7.41 Mi FOB. Embora a balança comercial entre exportações e importações brasileiras venha melhorando percentualmente nos últimos anos, ela ainda é negativa. Passou de um déficit comercial de US\$152 Mi em 2007 para US\$5.34 Mi em 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 (4º maior importador) e Estados Unidos (2º maior importador), juntos compõem uma participação em 2015 de cerca de 23% do total de exportações brasileiras. Em uma análise da participação brasileira em nível global observa-se que 47% ou US\$ 3,56 Bi 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% (SINDIPEÇAS, e ABIPEÇAS, 2016; 2017).

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.

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.

### 3. Objetivo

Este artigo tem por objetivo avaliar o Grau de Maturidade das indústrias do setor de autopeças brasileiro em relação a I.4.0 por meio do método monocritério OPM3/Likert e pelo Método Multicritério Promethee, demonstrando a complementariedade e um contexto mais apropriado na aplicação dos dois métodos, gerando uma contribuição inédita ao setor.

Apesar das graves instabilidades políticas, sociais e econômicas atuais no Brasil, existe uma expectativa de retomada de desenvolvimento, atraindo assim, novos investimentos (Strachman, 2016), portanto, esse trabalho visa criar uma metodologia para dar melhor suporte a orientação de investimentos em áreas da I.4.0 para o setor de autopeças no Brasil.

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

1. Pode-se identificar o grau de maturidade da indústria no segmento de autopeças 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 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?

### 4. Modelo

Foi realizada uma revisão bibliográfica exploratória para identificar os fatores necessários e as tendências para a implementação dos conceitos da I.4.0, em seguida foram estabelecidos os critérios para avaliar o grau de maturidade da indústria em relação a uma estratégia ou modelo de gestão. 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 revisão (*survey*) exploratória-descritiva. De acordo com Forza (2002), uma revisão 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.

Foram definidos 5 grupos de questionários para a revisão:

1. No grupo 1 buscou-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, considerado mais adequado ao segmento em estudo, sua localização, origem do capital investido, etc.
2. No grupo 2 buscou-se identificar uso das principais técnicas e ferramentas da I. 4.0 / *Smart Factory*.
3. No grupo 3 procurou-se identificar as principais Estratégias de Negócio no ambiente I.4.0.
4. No grupo 4 procurou-se pela percepção de mercado quanto ao efeito do conceito da I.4.0 no processo de competitividade mundial.
5. No grupo 5 buscou-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 final e consolidação do mesmo. Após a consolidação do questionário, o mesmo 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, obtendo um retorno de 33 de respondentes (22%) de 19 empresas (42,2%).

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 monocriterial do *Organizational Project Management Maturity Model-OPM3* (PMI, 2004) e uma escala Likert de 5 pontos (Dalmoro e Vieira, 2013

), bem como o cálculo do “coeficiente alpha ( $\alpha$ ) de Cronbach” para avaliar a confiabilidade das respostas (Gliem e Gliem, 2003), identificando-se um índice que seja compatível com a cultura de KPIS’s, ou indicadores de performance, utilizada no segmento, e pelo método Promethee (Mareschal e Brans, 1988; Brans e Marechal, 2016) para dar uma interpretação multicriterial 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 como pilotos do conceito, quando aplicados as principais técnicas, ferramentas e estratégias. Para a quantidade de opções de respostas foi definida a escala Likert de 5 pontos, considerada a mais adequada para a aplicação neste estudo. Além de questões técnicas foram abordadas também questões sobre estratégias de negócios, incluindo a visão de uso de energia renovável e inclusão do conceito no Plano Estratégico de Negócios e Operacional da empresa entrevistada, e de formação de pessoal.

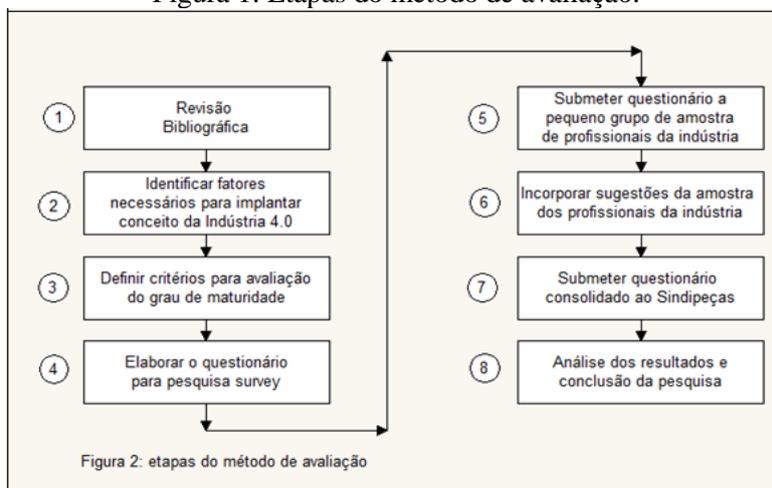
Posteriormente o questionário foi subdividido em 2 formatações, sendo a primeira um questionário “resumido” contendo um total de 26 questões obrigatórias para os respondentes, e um questionário de “complemento” ao resumido, contendo adicionais 13 perguntas opcionais, que juntas perfazem o total de 39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

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

#### 4.1. Fluxo do Processo de Pesquisa

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

Figura 1: Etapas do método de avaliação.



Fonte: Adaptado de Forza (2002).

A pesquisa utilizada foi uma revisão exploratória, quantitativa e descritiva, uma vez que o objetivo foi coletar informações ou opiniões de profissionais de um grupo específico, no caso do segmento da indústria de autopeças brasileiro, sendo que para a definição do índice do grau de maturidade da I.4.0 no setor foi utilizado o critério definido no Quadro 1.

Quadro 1: 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), Hartman (2016), César (2015) e Dalmoro e Vieira (2013).

Como adicional ao 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 Hermann et al. (2015).

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, e temos a limitação das respostas em índices de pontuação preestabelecidos que compreendem os limites das faixas especificadas no Quadro 1 (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. Para verificar a confiabilidade das respostas, foi calculado o “coeficiente alpha ( $\alpha$ ) de Cronbach”, cujo resultado foi de 0,9, considerado excelente conforme definido por George e Mallery (2003).

Os respondentes 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 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 *Multiple Criteria Decision Analysis*-MDCM Promethee, pelos motivos já indicados.

## 4.2. Técnicas e Ferramentas da I.4.0

Na sequência estão as principais Técnicas e Ferramentas da I.4.0 consideradas neste estudo, embora o seu universo não se restrinja apenas aos mesmos:

- IoT (*Internet of Things* ou Internet das Coisas): é o sistema que permite que os objetos (coisas), como etiquetas de *Radio-Frequency IDentification*-RFID, 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 (Fleisch, 2010).
- 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).
- 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 um pacote que compreende *Big Data*, *Big Data Analytics*, *Cyber Security* e sistemas relacionados à Tecnologia da Informação e Comunicação.
- 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).
- *Smart Factory* (Fábrica Inteligente): é a fábrica sensível ao contexto imerso, onde a CPS se comunica através da IoT ajudando as pessoas e máquinas na execução das suas tarefas com base na informação proveniente dos mundos físico e virtual (Hermann et al., 2015).
- Sensoriamento inteligente: é aquele que utiliza sensores com capacidade de auto calibração e auto identificação, utilizando, por exemplo, o padrão IEEE 1451, conectados por sistemas do tipo redes sem fio *Wireless Fidelity*-WiFi (Prytula, 2011).
- Rastreabilidade: 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 associado a um sistema de possível monitoramento contínuo e em tempo real, de localização e uso do objeto rastreado (ex: RFID).
- 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. Ex: Análise e Medição de Vibrações, Termografia, Análise de Óleo, etc. (Faria, 2013).
- AGV (*Automatic Guided Vehicle*): Veículo de movimentação autônoma, que se movimenta sem a condução humana em tempo real (pelos próprios autores).
- 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., 2013).
- *Big Data* (grande volume de dados) é o armazenamento de dados em termos de volume, variedade e velocidade, 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).
- *Big Data Analytics* (análise de grande volume de dados): 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).

### 4.3. Questionário

As questões foram elaboradas para buscarem identificar como as seguintes técnicas e ferramentas interagem e se integram diretamente e de forma prática a máquinas, equipamentos, aparelhos (coisas) ou a sistemas existentes, como uma das premissas da I.4.0:

- MRP (*Materials Requirements Planning*)
- MES (*Manufacturing Execution System*)
- ERP (*Enterprise Resource Planning*)
- SCM (*Supply Chain Management*)
- PMS (*Pallet Management System*)
- FMS (*Flexible Manufacturing System*)
- AGV (*Automatic Guided Vehicle*)
- CRM (*Customer Relationship Management*)
- RFID (*Radio-Frequency IDentification*), NFC (*Near Field Communication*), *Bluetooth*.
- Ferramentas de sistemas digitais portáteis no controle do processo (celulares, tablets, etc).
- Sensoriamento inteligente
- AR (*Augmented-Reality* ou Realidade Aumentada)
- OEM (*Original Equipment Manufacturer*, ou Fabricante do Equipamento Original)
- PDM (*Product Data Management*)
- PLM (*Product Lifecycle Management*)
- CAD-*Computer-Aided Design* (desenho assistido por computador)
- CAE-*Computer Aided Engineering* (engenharia assistida por computador)
- CAM-*Computer-Aided Manufacturing* (manufatura assistida por computador)
- CAPP-*Computer Aided Process Planning* (planejamento de processos assistido por comp.)
- Manufatura Aditiva (Impressão 3D)
- Manutenção Preditiva
- Softwares de simulação no desenvolvimento de produtos e/ou processos
- *Data Mining* (mineração de dados)
- *Cyber Security* (segurança cibernética)

## 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, e o método Promethee 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

### 5.1. Análise 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 S), os resultados (índices de pontuação com base no Quadro 1) foram compilados, agrupados e organizados em 2 duas formas: Por área ou departamento das organizações na Tabela 1 e por tecnologia na Tabela 2.

Na compilação por área da Tabela 1, 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.

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: o IoT se integrando com o MRP ou MES na Manufatura, ou com o CRM na área Comercial nos processos de relação com clientes; o 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, RH e direção geral.

Os resultados foram então apurados por empresa, com a média aritmética ponderada de todas as questões conectadas a essas 5 áreas e com base no critério definido no Quadro 1.

No formato de estratificação por tecnologia da Tabela 2, temos o resultado da mesma pesquisa, com o mesmo critério do quadro 1, 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.

Posteriormente esses mesmos dados das Tabelas 1 e 2 foram disponibilizados nos Gráficos 1, 2 e 3, possibilitando uma análise mais detalhada e o cruzamento de interpretações dos resultados.

O Gráfico 1 representa o grau de maturidade com os índices médios de cada empresa nas estratificações por área e por tecnologia, além da média final de cada empresa.

O Gráfico 2 representa o grau de maturidade com os índices estratificados por tecnologia para cada empresa.

O Gráfico 3 representa o grau de maturidade com os índices estratificados por área para cada empresa.

Tabela 1: Pontuação estratificada por área ou departamentos das empresas respondentes (A-S).

| Área<br>Empresa | Manufatura | Comercial | TIC   | P&D   | Administração | média das<br>empresas por<br>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: Elaborada pelos autores.

Tabela 2: Pontuação estratificada por tecnologia das empresas respondentes (A-S).

| Tecnologia<br>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: Elaborada pelos autores.

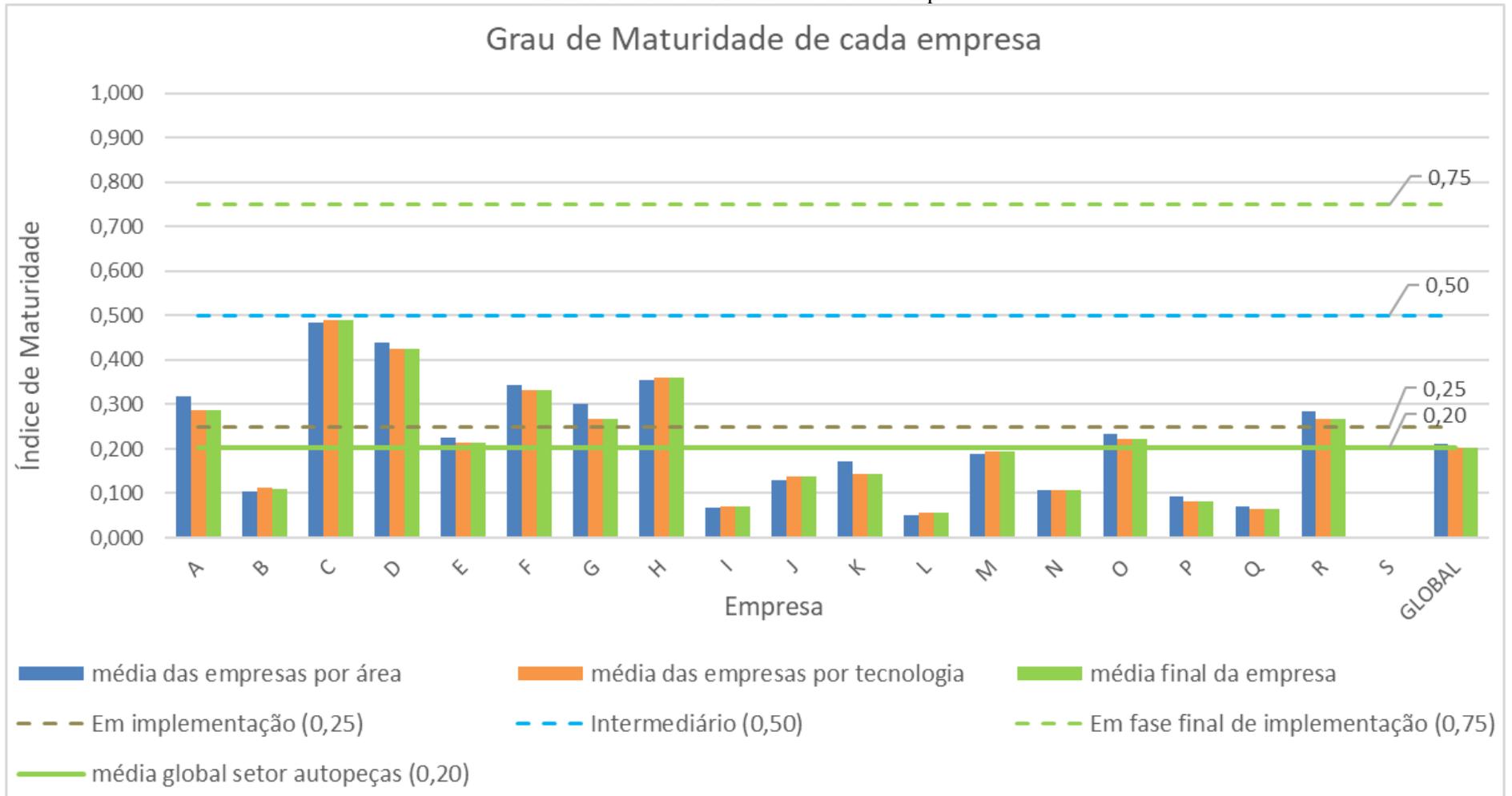
## 5.2. Principais Observações

Observa-se no cruzamento dos Gráficos 1 e 2, que as empresas de maiores índices de pontuação nas auto avaliações, enquadrando-se no nível “em implementação” (pontuação > 0,25), ou seja, as empresas “A, C, D, F, G, H e R”, 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 a essas empresas, temos a “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 da “E” está próxima da média global do setor, e a da “G”, que foi uma exceção se posicionando acima de 0,25, o que nos leva a pensar 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.

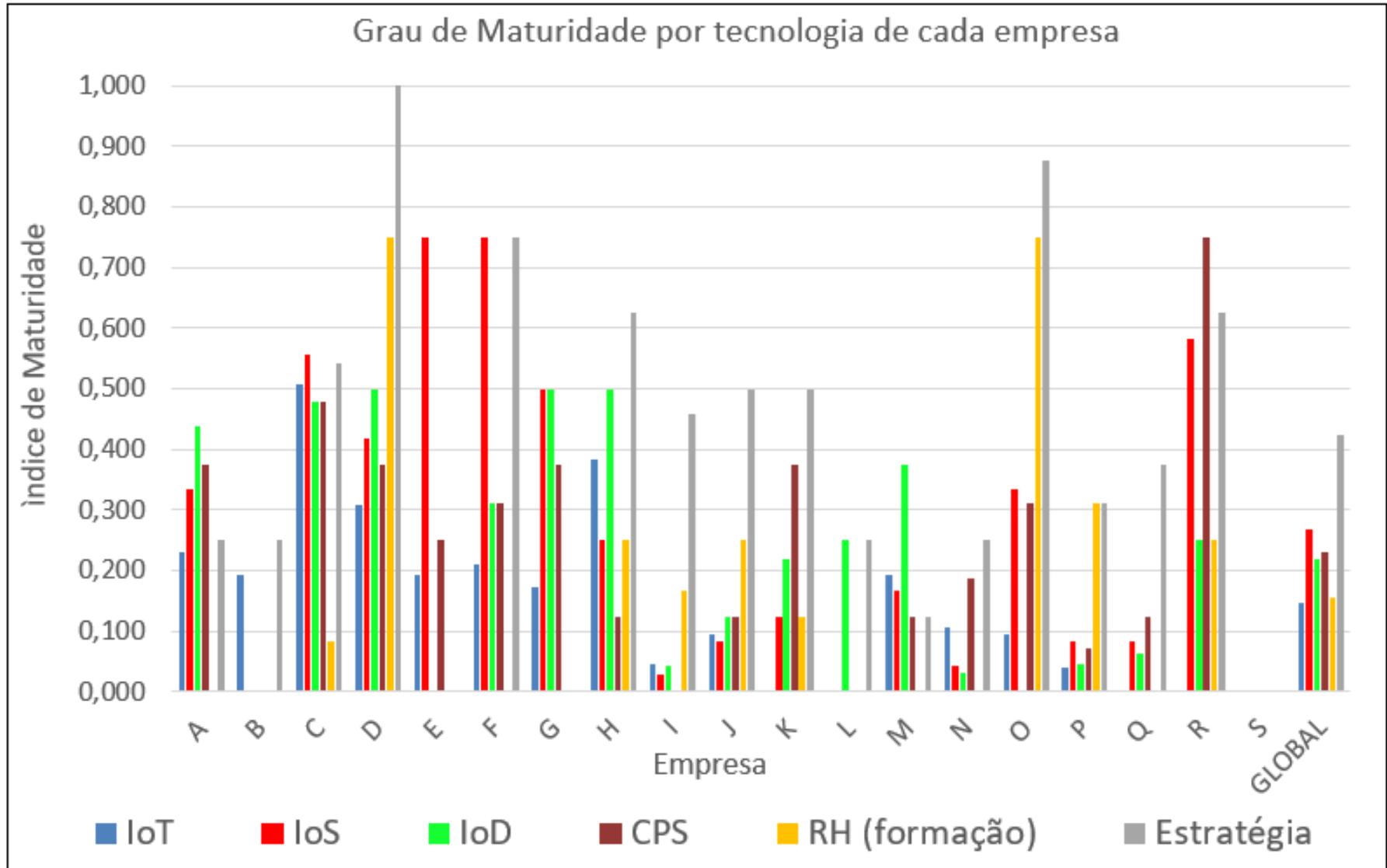
Observa-se também, que no cruzamento dos Gráficos 1 e 3, as áreas administrativas das empresas (entenda-se alta direção, para definições estratégicas ou interdepartamentais) receberam as maiores avaliações, seguido por P&D, TIC, Comercial e por último a Manufatura.

Gráfico 1: Grau de Maturidade de cada empresa.



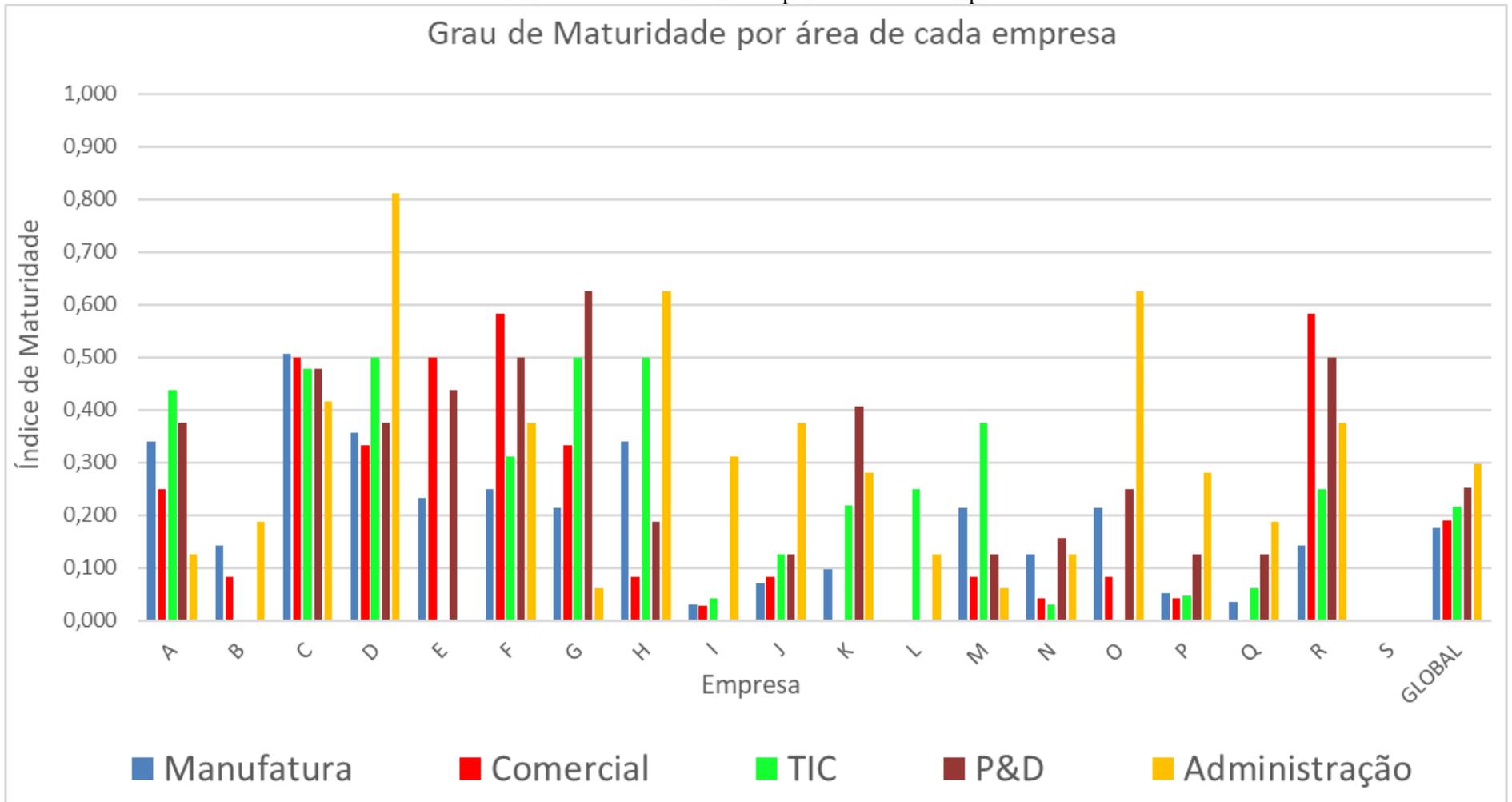
Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 2: Grau de Maturidade por tecnologia de cada empresa.



Fonte: Elaborado pelos autores.

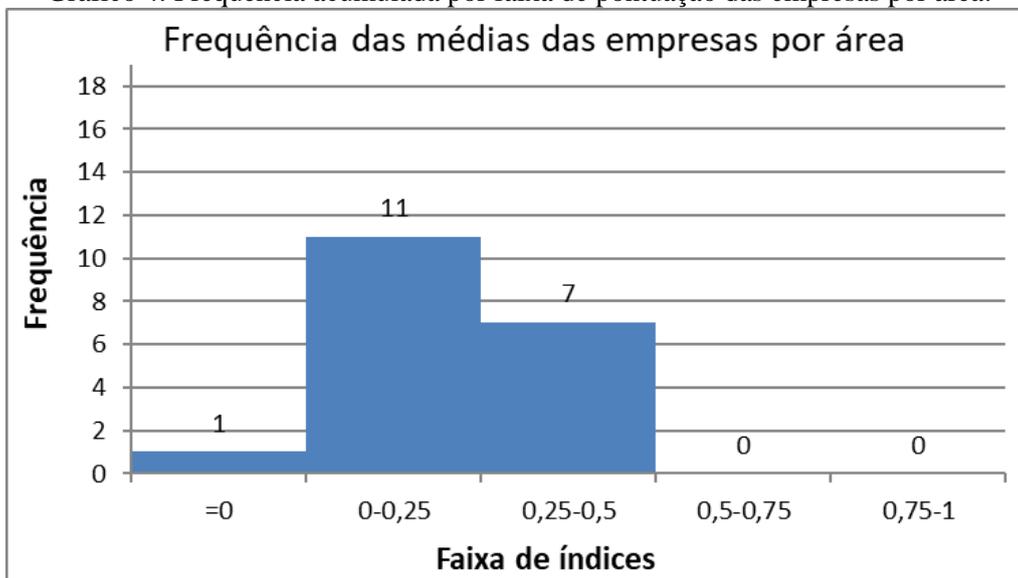
Gráfico 3: Grau de Maturidade por área de cada empresa.



Fonte: Elaborado pelos autores.

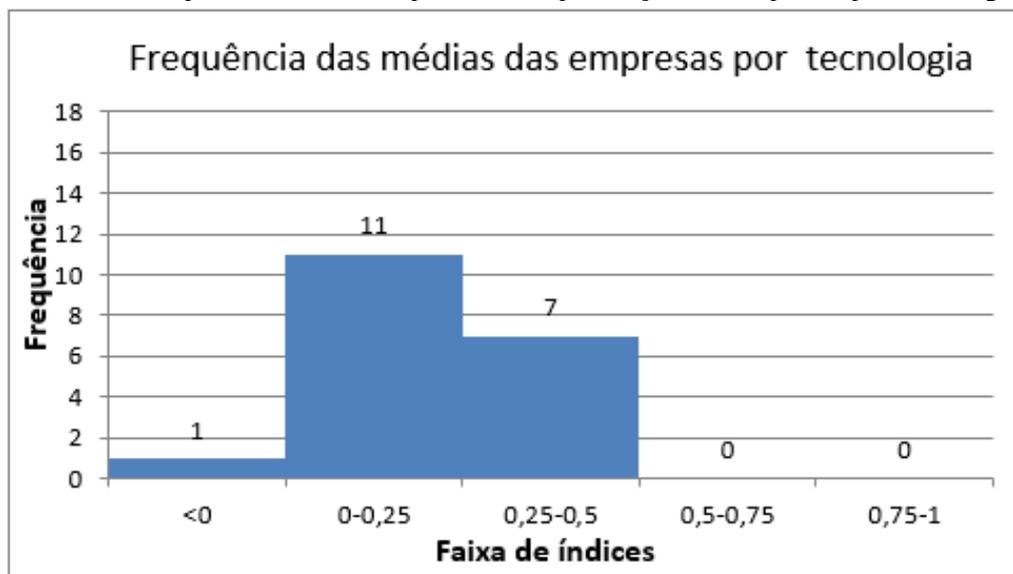
Nos Gráficos 4 e 5, mostra-se a frequência acumulada dos resultados da pesquisa estratificados pela faixa de índices definida no quadro 1, e observa-se que tanto para a estratificação por área como por tecnologia, 12 das 19 das empresas (63%) estão abaixo da pontuação 0,25 e 7 delas (37%) se encontram na faixa de pontuação de 0,25-0,50, portanto, existe uma grande margem de melhoria de no segmento, se ações forem tomadas neste sentido.

Gráfico 4: Frequência acumulada por faixa de pontuação das empresas por área.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 5: Frequência acumulada por faixa de pontuação das empresas por tecnologia.

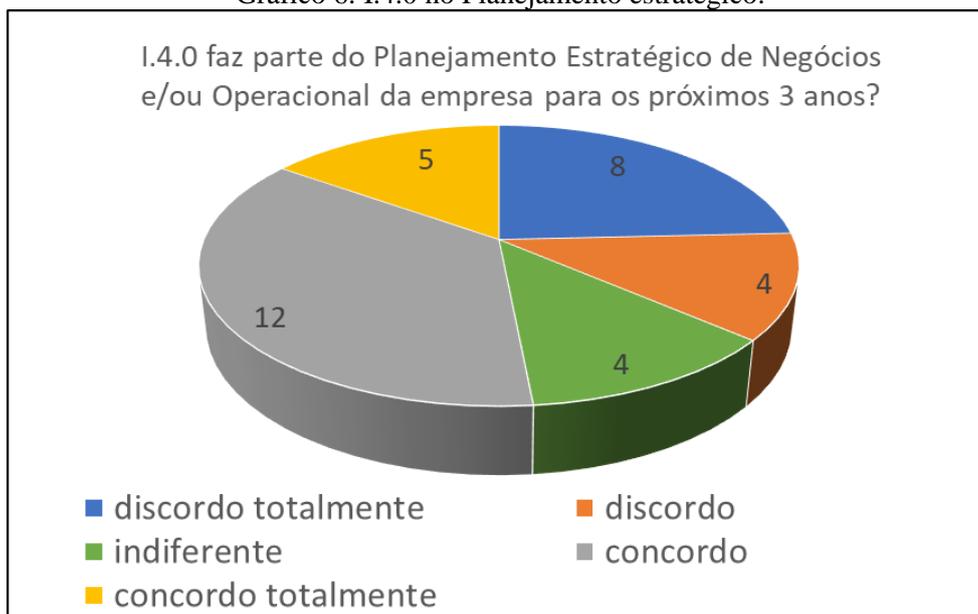


Fonte: Elaborado pelos autores.

Propõe-se também a análise de algumas características dos respondentes e respectivas empresas, através dos Gráficos 6 a 8, pois estão relacionadas com as questões do estudo como resultados secundários.

No Gráfico 6 observa-se que 17 dos 33 respondentes (52%) dizem concordar que o tema I.4.0 faz parte do Planejamento Estratégico de Negócios e/ou Operacional da empresa para os próximos 3 anos, 12 deles (36%) discordam, e 4 (12%) não conseguem identificar sua existência.

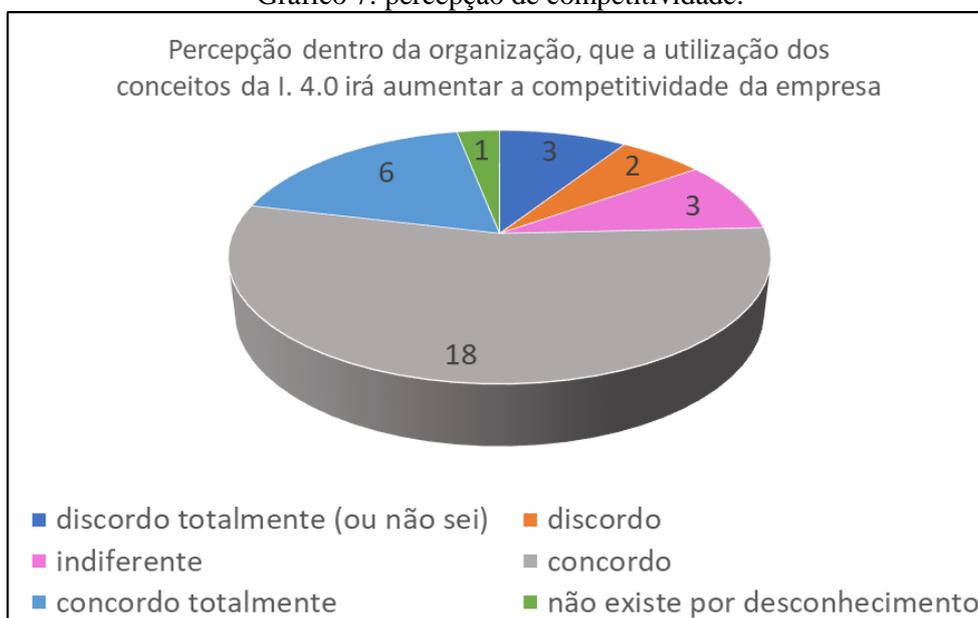
Gráfico 6: I.4.0 no Planejamento estratégico.



Fonte: Elaborado pelos autores.

No Gráfico 7, observa-se que 24 dos 33 respondentes (73%) dizem concordar 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 e 4 (12%) não souberam opinar.

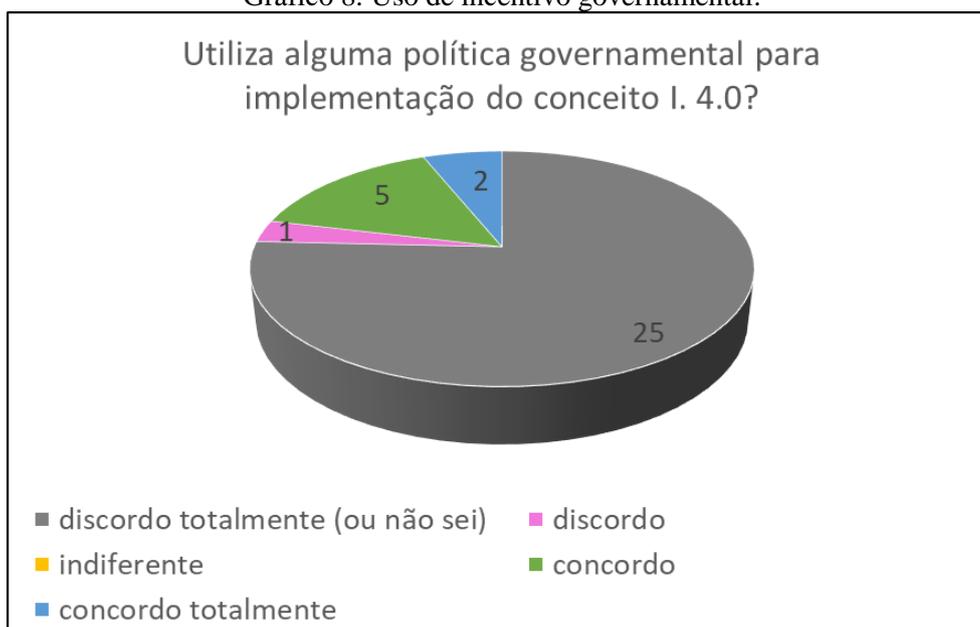
Gráfico 7: percepção de competitividade.



Fonte: Elaborado pelos autores.

No Gráfico 8, observa-se que 26 dos 33 respondentes (79%) dizem que suas empresas não utilizam nenhuma política governamental para implementação do conceito I.4.0, sendo que os 7 restantes (21%) dizem fazerem uso.

Gráfico 8: Uso de incentivo governamental.



Fonte: Elaborado pelos autores.

### 5.3. Método Promethee

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 maior visibilidade de diagnóstico e prognóstico de ações, identificando qual área 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 investimentos que necessitem ser realizados de forma gradativa.

Nas Tabelas 3 e 4, temos a mesma representação dos índices das Tabelas 1 e 2 (método OPM3/Likert), agora considerando os cálculos do Promethee na coluna à direita (índice Promethee), que representa os valores das Tabelas 1 e 2 transformados pela tratativa do software.

Na Figura 2, temos a representação gráfica do plano *Graphical Analysis for Interactive Aid-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 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.

Observa-se neste plano Gaia da Figura 2 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 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. 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 Administração 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 existe critérios conflitantes, ou seja, nenhum quesito é inversamente correlacionado aos demais.

Tabela 3: Resultados da avaliação por área ou departamento das empresas com o Promethee 2.

| 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         |                  |

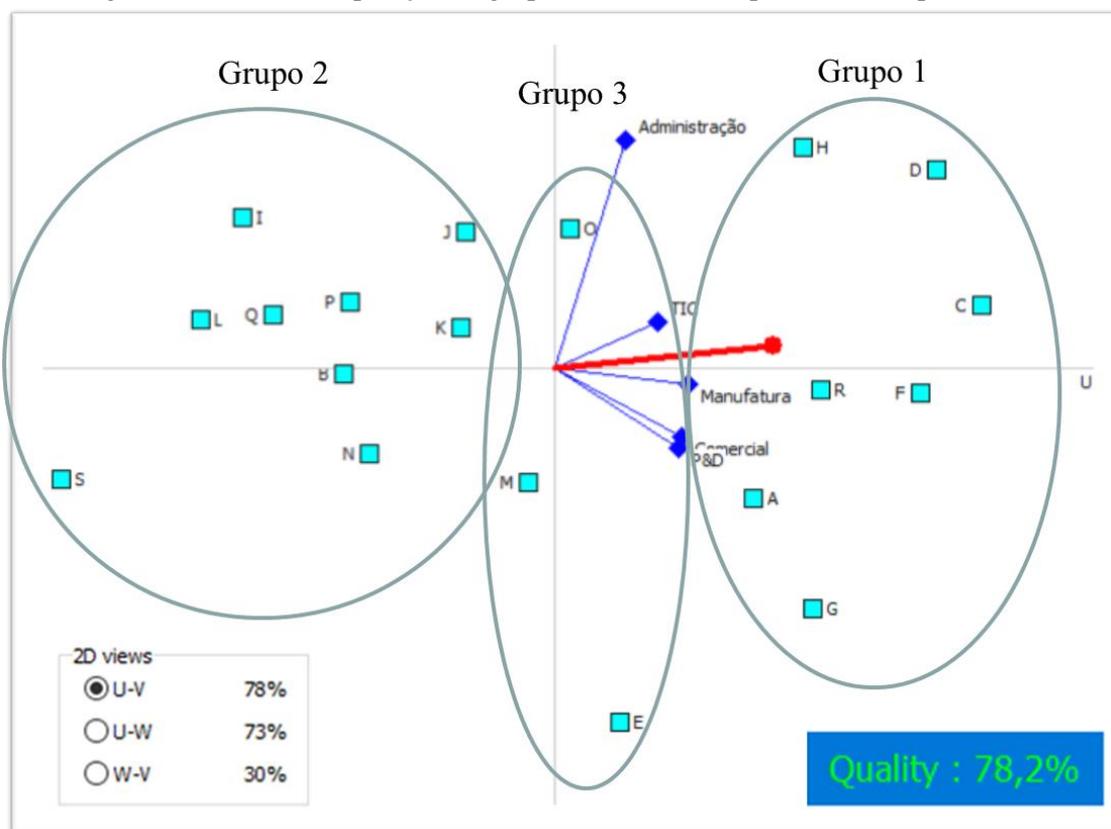
Fonte: Elaborada pelos autores.

Ao observar o posicionamento das empresas na Figura 2, 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, estão concentrando esforços em aspectos que não 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.

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, 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 o quadro 1. Em situação oposta, no segundo grupo, temos a empresa “S” (microempresa) que está no quadrante oposto à referência (alto Ø negativo), o que também corrobora o fato da mesma 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 bem alinhadas com a referência, indicando um maior equilíbrio entre as áreas, e são mais organizadas em Manufatura.

Figura 2: Detalhe da separação de grupos no Plano Gaia por área ou departamento.



Fonte: Elaborada pelos autores.

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.

Com essas análises do Promethee, 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 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 uma razão lógica 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 4, tem-se o resultado da mesma pesquisa, com o mesmo critério do Quadro 1, 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.

A Figura 3 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.

Tabela 4: Resultados da avaliação por tecnologia e atividades das empresas com o Promethee 2.

| 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: Elaborada pelos autores.

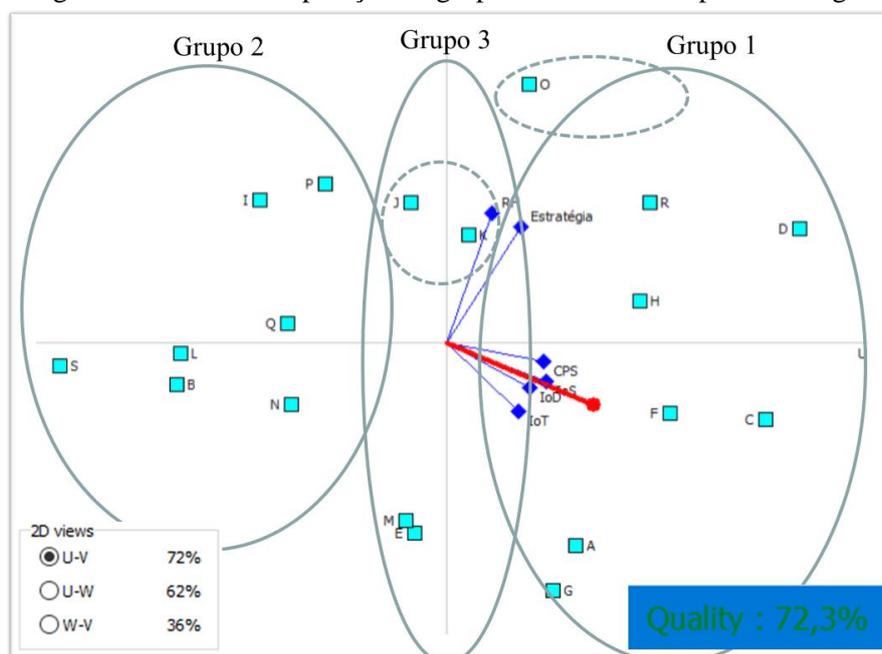
Observa-se então na representação gráfica do plano GAIA da Figura 3, que os eixos das tecnologias estão todos próximos, sendo que a tecnologia IoS está mais alinhada à linha de referência, corroborando a melhor média ponderada individual entre as tecnologias. A ortogonalidade dos eixos de tecnologia com os de Estratégia e RH indicam que as empresas estão mais focadas em tecnologia, independentemente das demais.

Ao observar o posicionamento das empresas, percebe-se que “C e F” estão melhor alinhadas à direção da referência também no cenário “tecnologia”, indicando que possuem um bom equilíbrio nas ações, embora um pouco afastados de Estratégia e RH. Em situação oposta, temos a empresa “S” que está muito distante e sentido oposto à referência ( $\emptyset$  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, 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 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, 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 3: Detalhe da separação de grupos no Plano Gaia por tecnologia.



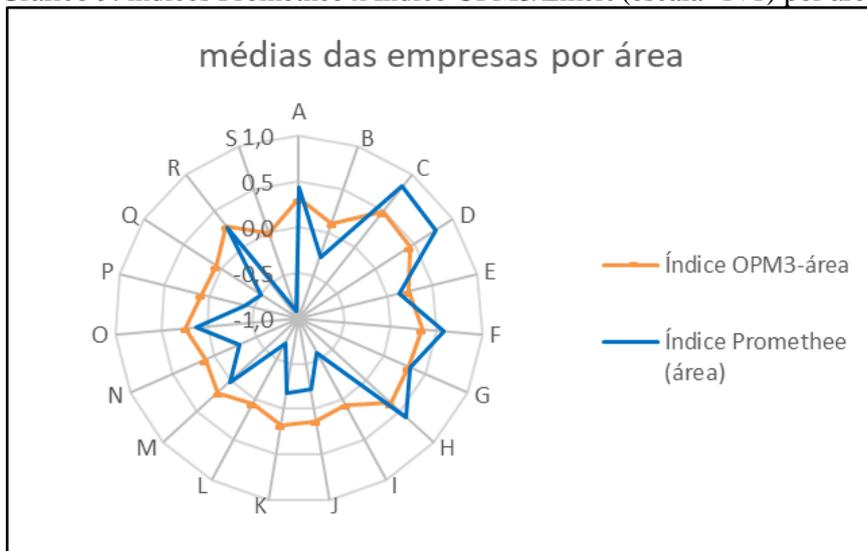
Fonte: Elaborada pelos autores.

#### 5.4. Comparações da Análise OPM3/Likert & Promethee

Foram utilizados os 2 métodos para verificar se são complementares e se podem contribuir um com o outro em diferentes aspectos nas análises.

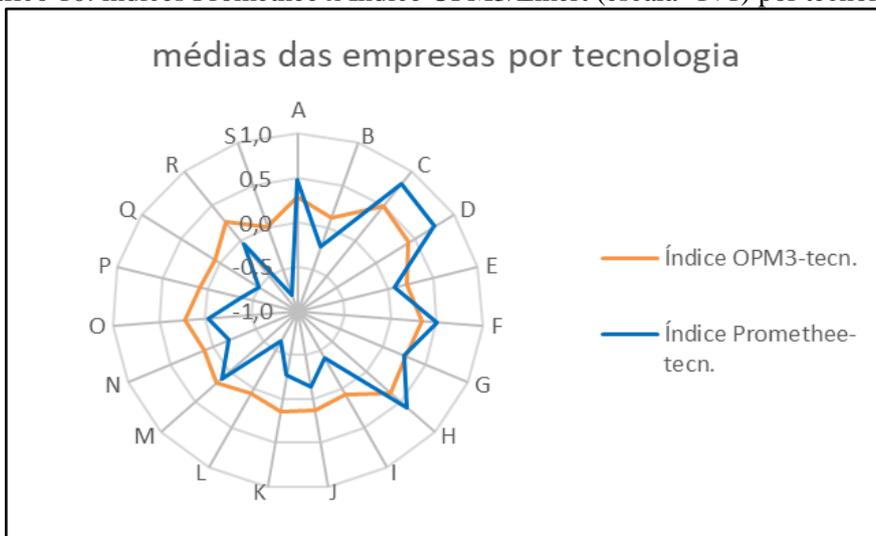
Os Gráficos 9 e 10 mostram, de forma diferente, os mesmos dados da pesquisa com as abordagens dos dois métodos juntos, onde observa-se além de uma distorção geométrica pelas diferenças de escala em suas formas originais, que o índice de posicionamento do Promethee (escala -1+1) intensifica algumas diferenças entre as empresas comparado aos índices OPM3/Likert (escala +0+1), isso devido à condição de multicritierialidade do mesmo e a diferente abordagem nas relações dos índices entre as empresas e os critérios de avaliação. Eles ainda corroboram a similaridade entre as estratificações por área e por tecnologia, e a complementaridade dos dois métodos.

Gráfico 9: índices Promethee x Índice OPM3/Likert (escala -1+1) por área.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 10: índices Promethee x Índice OPM3/Likert (escala -1+1) por tecnologia.



Fonte: Elaborado pelos autores.

## 6. Conclusões

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/Likert, observa-se no cruzamento dos gráficos, 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 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 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).

Conclui-se ainda que, apesar de algumas similaridades de resultados, o monocriterial do OPM3 representa apenas o grau de maturidade em único índice 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 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 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.

Conclui-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, temos pela Análise Monocriterial OPM3/Likert o indicador final com resultado global de “0,20” (Gráfico 1), portanto, com base no critério definido no quadro 1 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.

Adicionalmente o estudo revela que o Planejamento Estratégico com um índice global 0,425 (Gráfico 2) tem um Grau de Maturidade de nível “em implementação”, que 79% dos respondentes desconhecem ou não utilizam alguma política governamental de incentivo às empresas do setor para este tema (Gráfico 8), e 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 (Gráfico 7), e que com o método Promethee pode-se identificar uma direção de ações para implementar os conceitos da I.4.0.

**Agradecimentos.** Os autores agradecem à Faculdade de Ciências Aplicadas da UNICAMP, ao Professor Dr. Washington Alves de Oliveira pelo incentivo, aos colegas José Marcelo Palma e Ubiratã Bueno pelo suporte na coleta do questionário, aos respondentes e às empresas consultadas, e a todos que colaboraram na realização deste trabalho.

## Referências

- Anderl, R. *Industrie 4.0 - Advanced engineering of smart products and smart production*. In: *Technological Innovations in the Product Development 19th International Seminar on High Technology*, Piracicaba, Brasil. 2014.
- Brans, J. P. e Mareschal, B. *Promethee Methods, Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, (2nd edition). Springer, 2016.
- César, F. I. G. *Proposta de um método de avaliação da sustentabilidade em empresas que operam com a produção enxuta*. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba-SP, 2015.
- Custodio, R. *Technology, connectivity and manufacturing – A new industrial revolution*. Roland Berger Report, 2016.
- Dalmoro, M. e Vieira, K. M. Dilemas na construção de escalas Tipo Likert: o número de itens e a disposição influenciam nos resultados? *Revista Gestão Organizacional*, v. 6, n. 3, p. 161-174, 2013.
- Faria, N. *Elaboração e implementação de um plano geral de manutenção preditiva, preventiva e curativa*. Dissertação (Mestrado em Empresa) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.
- Fleisch, E. What is the Internet of Things? Auto-ID Labs report, 2010.
- Forza, C. Survey research in operations management: a process-based perspective. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 22, n. 2, p.152-194, 2002.
- Gänsslen, S., Losbichler, H., Horváth, P. e Michel, U. *Industrie 4.0, Controlling in the Age of intelligent Networks*, ICA – International Controller Association, 2015.
- Gazeta do Povo. *Indústria automotiva perde espaço no PIB*. 2016. Disponível em: [www.gazetadopovo.com.br/economia/industria-automotiva-perde-espaco-no-pib-88y1fwqsunhox78ebi30d4a4k](http://www.gazetadopovo.com.br/economia/industria-automotiva-perde-espaco-no-pib-88y1fwqsunhox78ebi30d4a4k). Acesso em: 29/08/2016.
- George, D. e Mallery, P. *SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference. 11.0 update (4th ed.)*. Boston: Allyn & Bacon, 2003.
- Gerlitz, L. Design for product and service innovation in Industry 4.0 and emerging smart society. *Journal of Security and Sustainability Issues*, 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. In: *Midwest Research to Practice Conference in Adult, Continuing, and Community Education*, Columbus, 2003. p. 82-88.

- Hartman, K. G. *CMM & Organizational Process Maturity. Technology Leadership & Information Security*. 2016. Disponível em: [www.kennethghartman.com/cmm-organizational-process-maturity/](http://www.kennethghartman.com/cmm-organizational-process-maturity/). Acesso em: 05/12/2016.
- Hermann, M., Tobias, P. e Boris, O. *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review*. Working Paper from Technische Universität Dortmund, 2015.
- Kagermann, H., Wahlster, W. e Helbig, J. *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. Final report of the Industrie 4.0 Working Group, Acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2013.
- Lacerda, A. C. C. *Evolução da inserção do Brasil na cadeia de valor de indústria automotiva*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2015.
- Machado, R. T. M. *Rastreabilidade, tecnologia da informação e coordenação de sistemas agroindustriais*. Tese (Doutorado em Administração) – Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2000.
- Mareschal, B. e Brans, J. P. Geometrical representations for MCDA. *European Journal of Operational Research*, v. 34, n. 1, p. 69-77, 1988.
- Metzner, V., Silva, R. e Cugnasca, C. Modelo de rastreabilidade de medicamentos utilizando identificação por radiofrequência, redes de sensores sem fio e o conceito de Internet das Coisas. In: *XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP*, 2014. p. 1-15.
- Miloslavskaya, N. e Tolstoy, A. Big data, fast data and data lake concepts. *Procedia Computer Science*, v. 88, p. 300-305, 2016.
- Prytula, L. *Sensor inteligente*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2011.
- Russom, P. *Big Data Analytics*, TDWI (The Data Warehousing InstituteTM) Report, 2011.
- Schwab, K. *A Quarta Revolução Industrial*, 1ª edição, World Economic Forum, 2016.
- SINDIPEÇAS e ABIPEÇAS - Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores e Associação Brasileira da Indústria de Autopeças. *Relatório de Desempenho do Setor de Autopeças*, 2016; 2017.
- Strachman, E. *The Brazilian Economic Growth and its Constraints*, Munich Personal RePEc Archive – MPRA report, 2016.
- Wu, H.-K., Lee, S. W.-Y., Chang, H.-Y. e Liang, J.-C. Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education*, v. 62, p. 41-49, 2013.
- Zhou, K., Liu, T. e Zhou, L. Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges. In: *12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery – FSKD*, Zhangjiajie. IEEE, 2015. p. 2147-2152.