

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

JAIME SCHNEIDER

**MEDIÇÃO DO NÍVEL DE MATURIDADE DO USO DE TECNOLOGIA EM UM
AMBIENTE DA INDÚSTRIA 4.0**

BENTO GONÇALVES

2018

JAIME SCHNEIDER

**MEDIÇÃO DO NÍVEL DE MATURIDADE DO USO DE TECNOLOGIA EM UM
AMBIENTE DA INDÚSTRIA 4.0**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador Prof. Dr. Gabriel Vidor

BENTO GONÇALVES

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade de Caxias do Sul
Sistema de Bibliotecas UCS - Processamento Técnico

S358m Schneider, Jaime
Medição do nível de maturidade do uso de tecnologia em um
ambiente da indústria 4.0 / Jaime Schneider. – 2018.
113 f. : il. ; 30 cm
Dissertação (Mestrado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa
de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2018.
Orientação: Gabriel Vidor.
1. Automação industrial. 2. Modelos de capacitação e maturidade
(Software). 3. Sistemas de Execução de Fabricação. 4. Inovações
tecnológicas. 5. Indústria automobilística. I. Vidor, Gabriel, orient. II.
Título.

CDU 2. ed.: 681.5

Catálogo na fonte elaborada pela(o) bibliotecária(o)
Ana Guimarães Pereira - CRB 10/1460

JAIME SCHNEIDER

**MEDIÇÃO DO NÍVEL DE MATURIDADE DO USO DE TECNOLOGIA EM UM
AMBIENTE DA INDÚSTRIA 4.0**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Bento Gonçalves, 03 de dezembro de 2018

Banca Examinadora

Prof. Dr. Gabriel Vidor - Orientador
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Guilherme Bergmann Borges Vieira
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Dr. Ademar Galelli
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Dra. Maria Beatriz Nunes de Oliveira Borsa – Convidado Externo
GKN Driveline – Coordenadora de Lançamento de Projetos

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por permitir que eu tivesse saúde, coragem e perseverança para realizar mais este desafio na minha vida acadêmica e profissional e poder concluir o mestrado.

Agradeço a minha família pela compreensão e auxílio em todos momentos desta caminhada no programa de mestrado e finalmente na construção desta dissertação. À minha esposa Verlania que soube me acompanhar e apoiar neste momento de grande dedicação. Às minhas filhas Clarice e Júlia pela compreensão nos momentos de ausência. Foram, sem dúvida, fundamentais neste processo, sendo meu suporte para que eu pudesse conciliar as atividades profissionais e acadêmicas.

Às empresas Randon pelo apoio durante a realização do Mestrado e na pesquisa realizada nesta dissertação. Meus colegas de trabalho pela ajuda e incentivo durante a jornada do mestrado, na realização dos trabalhos durante o programa de mestrado e principalmente nesta dissertação.

Ao professor orientador, Dr. Gabriel Vidor, que não mediu esforços para contribuir com seu conhecimento na realização da dissertação. Além da contribuição nas técnicas de pesquisa mais adequadas aplicadas nesta dissertação, a relação professor-aluno evoluiu para uma amizade duradoura.

Aos professores do Mestrado que, cada um ao seu jeito, auxiliaram na construção de meu conhecimento. Aos professores Dr. Ademar Galelli, Dr. Guilherme Bergmann Borges Vieira e Dra. Maria Beatriz Nunes de Oliveira Borsa por dispenderem de seu tempo e sabedoria para avaliar e melhorar meu trabalho.

*“O futuro não é homens contra máquinas,
É homens com máquinas”*
Erik Brynjolfsson

RESUMO

A manufatura está em transformação em uma velocidade nunca antes vista. A velocidade e o impacto é tal que se fala numa nova revolução industrial, a quarta, a indústria 4.0. Essa transformação é impulsionada por tecnologias facilitadoras, os pilares tecnológicos da indústria 4.0. Tecnologias como manufatura aditiva, realidade aumentada, big data, robótica colaborativa ou autônoma, integração vertical e horizontal, internet das coisas, segurança digital, computação na nuvem e sistemas ciber físicos, compõem os pilares tecnológicos da i4.0. Este trabalho tem como objetivo medir a maturidade no uso dessas tecnologias em empresas do ramo automotivo. Para a medição foi definido um modelo de maturidade para cada tecnologia medida, tendo um modelo como referência. Com os resultados obtidos através da medição de maturidade foi possível identificar quais tecnologias de destaque nas empresas e onde estão as lacunas, tecnologias que necessitam de atenção e investimentos. Os níveis de maturidade também foram comparados entre as empresas. Com isso se identificou quais empresas apresentam resultados mais maduros. Com as análises realizadas foi possível concluir que um software de MES pode mudar o nível de maturidade de várias tecnologias e também a necessidade das empresas em se ter um ambiente de experimentação de tecnologias ainda por elas desconhecidas.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Pilares tecnológicos, Modelo de maturidade. Setor automotivo.

ABSTRACT

Manufacturing is in transformation at a speed never seen before. The speed and impact is such that one speaks of a new industrial revolution, the fourth, industry 4.0. This transformation is driven by enabling technologies, the technological backbone of industry 4.0. Technologies such as additive manufacturing, augmented reality, big data, collaborative or autonomous robotics, vertical and horizontal integration, internet of things, digital security, cloud computing and cyber physical systems, make up the technological pillars of i4.0. This work aims to measure the maturity in the use of these technologies in automotive companies. A maturity model was defined for each measured technology, having a model as reference. With the results obtained through the measurement of maturity, it was possible to identify which technologies are prominent in companies and where the gaps are, technologies that need attention and investments. The maturity levels were also compared among companies, which identified which companies have more mature results. With the analysis, it was possible to conclude that MES software can change the level of maturity of several technologies and also the companies need to have an environment of experimentation on technologies still unknown to them.

Keywords: Industry 4.0, Technological pillars, Maturity models. Automotive sector.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Número de publicações/ano.....	18
Figura 2 – Gráfico com número de publicações após o filtro.....	19
Figura 3 - Os quatro estágios da revolução industrial.....	23
Figura 4 - Indústria 4.0 e a <i>Smart Factory</i>	24
Figura 5 - Pilares tecnológicos da Indústria 4.0.....	25
Figura 6 - OS “V” do Big Data.....	27
Figura 7 – Robôs autônomos auxiliando na montagem de veículos.....	28
Figura 8 – <i>Digital twin</i>	30
Figura 9 – Modelo de integração vertical/horizontal.....	30
Figura 10 – Sequência de passos para a manufatura aditiva.....	34
Figura 11 – Aplicação da realidade aumentada.....	35
Figura 12 – Modelo de maturidade M2DDM.....	37
Figura 13 – Modelo de Maturidade.....	42
Figura 14 - <i>Roadmap</i> para a implementação da indústria 4.0.....	48
Figura 15 – Resultado Randon Implementos Caxias do sul.....	98
Figura 16 – Resultado Randon Implementos Araraquara.....	99
Figura 17 – Resultado Randon Autopeças – JOST Brasil.....	100
Figura 18 – Resultado Randon Autopeças – Master.....	101
Figura 19 – Resultado Randon Autopeças – Fras-le.....	102
Figura 20 – Comparação entre os resultados encontrados.....	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Total de artigos.....	17
Tabela 2 – Artigos após o filtro <i>Smart factory</i>	18

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Modelo de maturidade Schumacher.....	39
Quadro 2 – Modelos de Maturidade.....	44
Quadro 3 – Modelos de estrutura da indústria 4.0.....	52
Quadro 4 – Modelo proposto.....	55
Quadro 5 – Resultado Randon Implementos Caxias.....	73
Quadro 6 – Resultado Randon Implementos Araraquara.....	80
Quadro 7 – Resultado Randon Autopeças – JOST Brasil.....	86
Quadro 8 – Resultado Randon Autopeças – Master.....	90
Quadro 9 – Resultado Randon Autopeças – Fras-le.....	96
Quadro 10 – Comparativo de resultados.....	104

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMP	<i>Advanced Manufacturing Partnership</i>
BCG	<i>Boston Consulting Group</i>
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CPS	<i>Cyber Physical Systems</i>
I4.0	Indústria 4.0
MES	<i>Manufacturing Execution System</i>
PIB	Produto Interno Bruto
TA	Tecnologia da Automação
TI	Tecnologia da Informação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	15
1.2	JUSTIFICATIVA	17
1.2.1	Justificativa teórica.....	17
1.2.2	Justificativa prática	20
1.3	QUESTÃO DE PESQUISA	21
1.4	OBJETIVOS	21
1.4.1	Objetivo geral.....	21
1.4.2	Objetivos específicos.....	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
2.1	INDÚSTRIA 4.0.....	22
2.2	PILARES TECNOLÓGICOS.....	25
2.2.1	Big Data	26
2.2.2	Robôs autônomos.....	28
2.2.3	Simulação.....	29
2.2.4	Integração do sistema horizontal e vertical.....	30
2.2.5	Internet das coisas.....	31
2.2.6	Segurança digital.....	32
2.2.7	Computação na nuvem.....	33
2.2.8	Manufatura aditiva.....	33
2.2.9	Realidade aumentada.....	35
2.3	SISTEMAS CIBER FÍSICOS.....	36
2.4	MODELOS DE MATURIDADE.....	37
2.4.1	Modelo de maturidade para manufatura baseada em dados.....	37
2.4.2	Modelo de maturidade para avaliar a indústria 4.0.....	39
2.4.3	Modelo de maturidade para fábricas que aprendem.....	40
2.4.4	Metodologia de modelagem de valor na manufatura.....	41
2.4.5	Modelo de avaliação para indústria 4.0.....	42
2.4.6	Resumo dos modelos de maturidade.....	44
2.5	MODELOS DE ESTRUTURA DA INDÚSTRIA 4.0.....	46

2.5.1	Implementação das fábricas inteligentes.....	46
2.5.2	Modelo de arquitetura de referência.....	47
2.5.3	<i>Road map</i> de implantação da indústria 4.0.....	47
2.5.4	Estrutura de diagnóstico.....	49
2.5.5	Resumo dos modelos de estrutura.....	51
2.6	IMPACTOS DA IMPLATAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0.....	52
3	MÉTODO	54
3.1	MÉTODO PARA MEDIR A MATURIDADE NO USO DAS TECNOLOGIAS.....	54
3.1.1	Sistemas ciber físicos.....	56
3.1.2	Integração vertical e horizontal.....	57
3.1.3	Internet das coisas.....	58
3.1.4	Robôs autônomos.....	59
3.1.5	Simulação.....	60
3.1.6	Big data.....	61
3.1.7	Computação na nuvem.....	63
3.1.8	Manufatura aditiva.....	64
3.1.9	Segurança digital.....	65
3.1.10	Realidade aumentada.....	67
3.2	APLICAÇÃO DO MÉTODO.....	68
4	RESULTADOS	69
4.1	DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	69
4.1.1	Randon Implementos Caxias do Sul.....	69
4.1.2	Randon Implementos Araraquara.....	76
4.1.3	Randon Autopeças - JOST Brasil.....	82
4.1.4	Randon Autopeças - Master.....	87
4.1.5	Randon Autopeças - Fras-le.....	93
4.2	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS ENCONTRADOS.....	98
4.3	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	104
4.4	IMPLICAÇÕES GERENCIAIS	105
5	CONCLUSÃO	107

1 INTRODUÇÃO

O tema indústria 4.0 foi primeiramente utilizado durante a Hannover Fair, em 2011, onde foi proposta uma nova tendência industrial com o desenvolvimento de fábricas inteligentes *smart factories*. As ditas *smart factories* integram os ativos de fabricação de hoje e de amanhã com sensores, plataformas de computação, tecnologia de comunicação, modelagem intensiva de dados, controle, simulação e engenharia preditiva. Utiliza os conceitos de sistemas ciber físicos, internet de coisas, computação na nuvem, computação orientada a serviços, inteligência artificial e ciência dos dados. Com abrangência global, proporciona cadeias de valor revolucionárias (KUSIAK, 2017).

Os avanços tecnológicos sempre impulsionaram as melhorias na produtividade industrial e o início das revoluções industriais. A primeira Revolução caracterizou-se pela tecelagem mecânica, uso de máquinas movidas a vapor e linhas férreas. A segunda revolução foi caracterizada pela produção em massa, linhas de montagem usando energia elétrica. A terceira revolução foi caracterizada por computadores e automação, com o surgimento do primeiro controlador de lógica programável (PLC), (STROZZI et al., 2017). As primeiras três revoluções industriais surgiram como resultado da mecanização, eletricidade e Tecnologia da Informação (TI). Agora, a introdução da Internet de Coisas e Serviços no ambiente de fabricação está iniciando uma quarta revolução industrial. No futuro, as empresas estabelecerão redes globais que incorporem suas máquinas, sistemas de armazenagem e instalações de produção sob a forma de Sistemas ciber físicos (*Ciber Phisycal System* (CPS)). (KAGERMANN et al., 2013).

No ambiente de fabricação, esses sistemas ciber físicos compreendem máquinas inteligentes, sistemas de armazenamento e instalações de produção capazes de trocar informações de forma autônoma, desencadear ações e controlar-se independentemente. Isso facilita melhorias fundamentais para os processos industriais envolvidos na fabricação, engenharia, uso de materiais e cadeia de suprimentos e gerenciamento do ciclo de vida. As fábricas inteligentes que já começaram a aparecer empregam uma abordagem completamente nova à produção (KAGERMANN et al., 2013).

Os produtos inteligentes são identificáveis de forma única, podem ser localizados em todos os momentos e conhecer sua própria história, status atual e rotas alternativas para atingir seu estado alvo. Os sistemas de fabricação incorporados são verticalmente conectados em rede com processos de negócios dentro de fábricas e empresas e conectados horizontalmente a redes

de valor dispersa que podem ser gerenciados em tempo real - desde o momento em que uma ordem é colocada até a logística de saída. (KAGERMANN et al., 2013).

Segundo Baur (2015), a Indústria 4.0 pode ser definida como a próxima fase na digitalização do setor de manufatura. Esta foi impulsionada por quatro tecnologias disruptivas: i) o surpreendente aumento nos volumes de dados, potência computacional e conectividade; ii) novas redes com grande área de abrangência e de baixa potência, surgimento de recursos analíticos e de inteligência de negócios; iii) novas formas de interação homem-máquina, como interfaces tácteis e sistemas de realidade aumentada; e iv) melhorias na transferência de instruções digitais para o mundo físico, como robótica avançada e impressão em 3-D. (BAUR, 2015).

De acordo com Rüßmann et al. (2015), a Indústria 4.0 transformará o design, fabricação, operação e serviço de produtos e sistemas de produção. A conectividade e a interação entre partes, máquinas e humanos tornarão os sistemas de produção até 30% mais rápidos e 25% mais eficientes e elevarão a personalização em massa para novos níveis. Essas mudanças e muitas outras, certamente serão de grande alcance, afetando todos os cantos da fábrica e a cadeia de suprimentos (BAUR, 2015).

No passado, a tecnologia, especialmente a automação, foi um dos principais fatores para aumentar a produtividade. A indústria de manufatura está atualmente enfrentando grandes desafios devido a uma variedade de fatores, tais como mudanças demográficas em curso, volatilidade externa e a crescente complexidade de produtos e processos. Nesse contexto, a inovação tecnológica, em tempo real, adaptativa e descentralizada, juntamente com uma grande mudança nas habilidades e qualificações, desempenha um papel importante nesta nova revolução (KARRE et al., 2017). As fábricas tornam-se mais inteligentes, mais eficientes, mais seguras e mais sustentáveis, graças à combinação e integração de tecnologias e dispositivos de produção, sistemas de informação e comunicação, dados e serviços em infraestrutura de rede (STROZZI, 2017).

De acordo com Baur (2015), mercados voláteis, redes globais e interindustriais estão criando um ambiente de mercado radicalmente mais dinâmico que exige mais flexibilidade. Além disso, a mudança global para uma sociedade totalmente em rede está em andamento. O mundo se torna cada vez mais digital. Esse é o grande negócio do futuro. A conexão digital em rede e o uso intensivo são os principais atributos de uma produção mais inteligente.

Segundo Rüßmann et al. (2015), a indústria 4.0 é constituída de nove tendências tecnológicas. Esses conceitos já são usados atualmente, no entanto com a Indústria 4.0, eles vão transformar a manufatura. Com esses avanços será possível: integrar células isoladas; otimizar

fluxos produtivos; integrar homens e máquinas e juntamente com uma maior automação dos processos obter melhores eficiências. As nove tendências tecnológicas são: a) Big data; b) Robôs autônomos; c) Simulação; d) Integração vertical e horizontal; e) Internet das coisas; f) Segurança digital; g) Computação na nuvem; h) Manufatura aditiva e i) Realidade aumentada.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O fórum Econômico mundial de 2016 teve como tema “Para dominar a Quarta revolução Industrial”. Esse evento resultou em um trabalho publicado em 2016 intitulado “*The Fourth Industrial Revolution*”. Nesse livro, o professor Klaus Schwab sugere que o mundo está passando pela quarta revolução industrial, a qual implica transformação de toda a humanidade. Ainda segundo o professor Schwab, estão acontecendo mudanças profundas em todos os setores, marcadas pelo surgimento de novos modelos de negócios, pela descontinuidade dos operadores e pela reformulação da produção, do consumo, dos transportes e sistemas logísticos.

No âmbito dos países, o tema indústria 4.0, *smart factory* ou manufatura avançada vem sendo amplamente debatido. Desde 2011, o governo dos Estados Unidos iniciou uma série de discussões, ações e recomendações no nível nacional, intitulada “*Advanced Manufacturing Partnership (AMP)*”, para garantir que os EUA estejam preparados para liderar a próxima geração da manufatura (REIF et al., 2014). Em 2012, o governo alemão aprovou o plano de ação “*High-Tech Strategy 2020*”, que anualmente coloca bilhões de euros para o desenvolvimento de tecnologias de ponta. Como um dos dez projetos futuros deste plano, o “*Industrie 4.0*” representa as ambições alemãs no setor de manufatura (KAGERMANN et al., 2013). O governo francês iniciou uma revisão estratégica em 2013, denominada “*La Nouvelle France Industrielle*”, na qual 34 iniciativas setoriais são definidas como as prioridades da política industrial da França (CONSEIL NATIONAL DE L’INDUSTRIE, 2013). Em 2013, o governo do Reino Unido apresentou um plano de longo prazo para seu setor de manufatura até o ano de 2050, denominado “*Future of Manufacturing*”, (FORESIGHT, 2013). Em 2014, o governo da Coreia do Sul anunciou a “*Innovation in fabrication 3.0*” que enfatizou quatro estratégias de propulsão e atribuições para um novo salto da fabricação coreana (KANG et al., 2016). O governo chinês emitiu a estratégia “*Made in China 2025*”, prioriza dez campos no setor de manufatura para acelerar a informatização e a industrialização (LI, 2015). O governo japonês adotou o 5º Plano Básico de Ciência e Tecnologia, onde foram prestadas atenções particulares ao setor de manufatura (CABINET OFFICE, 2015).

No Brasil, em documento publicado pela CNI (Confederação Nacional da Indústria) em 2016 (CNI 2016), entende-se que o desenvolvimento da Indústria 4.0 envolve desafios que incluem os investimentos em equipamentos que incorporem essas tecnologias, adaptação de layouts, de processos e das formas de relacionamento entre empresas ao longo da cadeia produtiva, criação de novas especialidades e desenvolvimento de competências, entre outros. Poucas empresas estarão preparadas para enfrentar todas essas mudanças de uma vez. Existem, por outro lado, milhares de empresas que deverão participar do processo de difusão dessas novas tecnologias paulatinamente. Nesse contexto, o foco de uma iniciativa visando o desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil deve ser o de empresas que já estão no novo paradigma. Estimular as demais a apressarem sua inserção na nova onda, sob risco de não conseguirem sobreviver no novo ambiente competitivo, deve ser o foco dessa iniciativa, (CNI 2016).

Diversas consultorias têm estimado os impactos que o avanço da digitalização da economia poderá ter sobre a competitividade do país. A Accenture, por exemplo, estima que a implementação das tecnologias ligadas à Internet das Coisas nos diversos setores da economia deverá impactar o PIB brasileiro em aproximadamente US\$ 39 bilhões até 2035. O ganho pode alcançar US\$ 210 bilhões, caso o país crie condições para acelerar a absorção das tecnologias relacionadas, o que depende de melhorias no ambiente de negócios, na infraestrutura, programas de difusão tecnológica e aperfeiçoamento regulatório (CNI 2016).

O ambiente escolhido para a aplicação do trabalho foi nas unidades industriais do grupo de empresas Randon. O grupo Randon possui 70 anos de existência e é composto por empresas de atuação na indústria automotiva. Cada unidade do grupo possui suas particularidades e estão em níveis diferentes de maturidade. Os seus gestores indicaram de que a organização deve compreender do que se trata a indústria 4.0 e implementar suas tecnologias a fim de melhorar a sua competitividade. A estratégia da organização contempla o desafio de melhorar a sua produtividade e, por consequência, sua competitividade, por meio do uso da automação.

As unidades definidas para a aplicação do trabalho foram: Randon Implementos matriz; Randon Implementos unidade de Araraquara; e as unidades da Randon Autopeças; JOST Brasil; Fras-le e Master. Essas unidades apresentam características diferentes entre elas: A Randon Implementos matriz tem a fábrica mais antiga, contrastando com a unidade de Araraquara recentemente inaugurada. Enquanto a JOST é a unidade mais automatizada do grupo, Fras-le e Master contemplando em seus parques industriais equipamentos moderno com equipamentos mais antigos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Nessa seção são apresentadas as justificativas teórica e prática para a desenvolvimento do trabalho. Na parte teórica procurou-se apresentar a relevância do trabalho para o meio acadêmico. Já a justificativa prática teve como objetivo entender importância deste trabalho para empresa onde ele será aplicado.

1.2.1 Justificativa teórica

Com o objetivo de confirmar o crescimento no campo da ciência do tema, foi realizada uma pesquisa nos artigos publicados nas plataformas: Science Direct, Emerald e Taylor & Francis, com o tema Indústria 4.0. Como objetivo da análise, buscou-se entender como o tema está sendo trabalhado pelo meio acadêmico, quais são os autores, países e instituições de referência, quais tecnologias fazem parte da quarta revolução industrial que estão sendo mais estudadas e quais são os objetivos dos trabalhos publicados.

A primeira busca foi realizada utilizando o termo “*Industry 4.0*”. Como resultado desta busca foram obtidos 788 artigos conforme a Tabela 1.

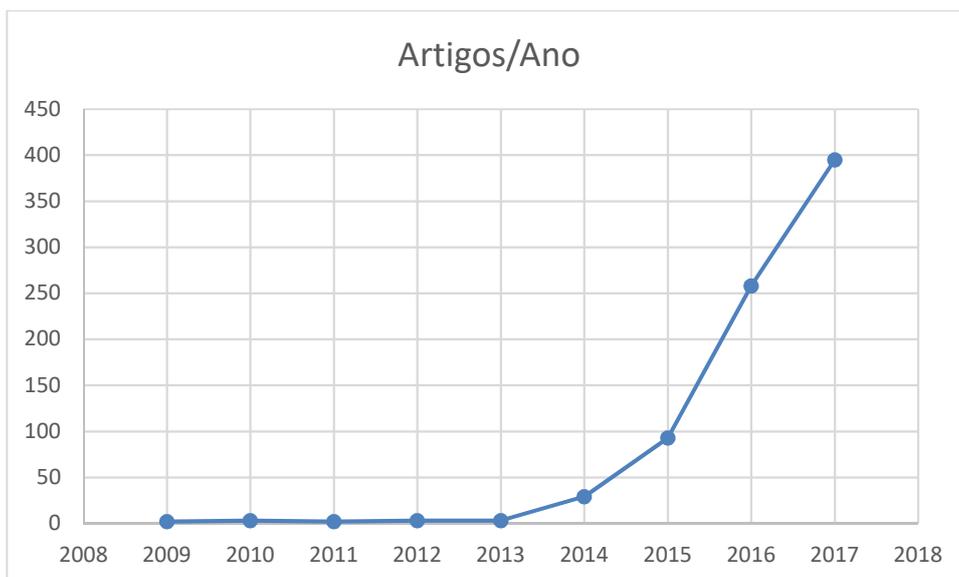
Tabela 1 – Total de artigos

Ano	Science Direct	Taylor & Francis	Emerald	Total
2009	2	0	0	2
2010	2	1	0	3
2011	1	1	0	2
2012	0	2	1	3
2013	2	0	1	3
2014	24	3	2	29
2015	82	9	2	93
2016	230	24	4	258
2017	309	58	28	395
Total	652	98	38	788

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

O que pode ser constatado é um aumento significativo nas publicações a partir de 2015. Esse aumento é melhor observado no gráfico da Figura 01.

Figura 1 – Número de publicações/ano



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Com o objetivo de reduzir a quantidade de artigos estudados, buscou-se realizar alguns filtros. O primeiro foi identificar os artigos que tratavam do tema “*Smart Factory*”. O tema “Indústria 4.0” vem sendo utilizado para as mais diversas aplicações. A intenção desse filtro é de separar apenas artigos que tratem de aplicações nas fabricas.

Tabela 2 - Artigos após o filtro “*Smart Factory*”.

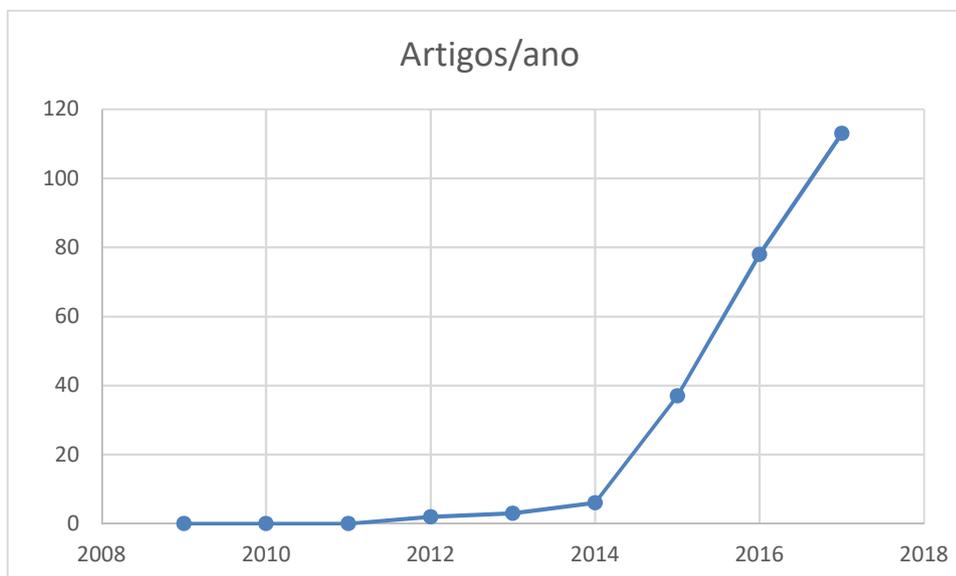
Ano	Science Direct	Taylor & Francis	Emerald	Total	%/total de artigos
2009	0	0	0	0	0%
2010	0	0	0	0	0%
2011	0	0	0	0	0%
2012	0	0	0	0	0%
2013	0	0	0	0	0%
2014	0	0	0	0	0%
2015	34	2	1	37	40%
2016	68	9	1	78	30%
2017	78	28	7	113	29%
Total	180	39	9	228	29%

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Houve uma redução da quantidade de artigos: do total encontrado, um percentual de 29% tratam da Indústria 4.0 mais voltado para a área fabril. É possível observar que se trata de um assunto mais recente, haja vista que as primeiras publicações nas plataformas pesquisadas

foram em 2012. A tendência de crescimento nas publicações se repete demonstrando a atualidade e o interesse do tema no meio acadêmico.

Figura 2 – Gráfico com o número de publicações após o filtro.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Nos temas tratados nos estudos pesquisados destaca-se a apresentação de modelos de maturidade. Como Schumacher et al. (2016), que propõem um modelo de maturidade com nove dimensões: i) estratégia; ii) liderança; iii) governança; iv) cultura; v) pessoas; vi) produtos; vii) clientes; viii) operações; e ix) tecnologia. Esse modelo foi implantado em uma empresa e os autores propõem um *roadmap* para a melhor implantação. Em outro estudo a respeito de modelo de maturidade Gökalp et al. (2017) faz um levantamento dos estudos de modelos de maturidade e propõe um modelo que tenta otimizar os existentes. Weber et al. (2017), apresentam um modelo chamado pelos autores de M2DDM (*Maturity Model for Data-Driven Manufacturing*). Este modelo é composto por 5 níveis sendo: nível 0 – não existe integração; nível 1 – dados e sistemas integrados; nível 2 – integração através do ciclo de vida; nível 3 – orientado a serviços; nível 4 – gêmeos digitais e nível 5 – fábrica auto otimizada.

Quanto a modelos de estrutura, a literatura apresenta exemplos, alguns tratando da implementação de tecnologias isoladas, como Gierej (2017), que apresenta um modelo para a implantação de tecnologias de internet das coisas, ou Shafiq (2015), com uma proposta dos sistemas ciber físicos. Alguns autores, como Wang (2015), propõem uma implementação de forma gradual com a utilização da massificação de dados big data e os recurso da nuvem. Sarvari (2017) propõe um *roadmap* de implantação, que inicia com a definição da estratégia

por parte da organização, definição de tecnologias, geração de ideias, portfólio de projetos, priorização, cronograma e implementação. Küpper (2016), por sua vez, apresenta outro modelo de *roadmap* de implantação, que os autores chamam de fábrica do futuro, propondo ações de curto, médio e longo prazo.

1.2.2 Justificativa prática

Atualmente o termo Indústria 4.0 vem sendo bastante debatido no meio industrial. Eventos como feiras, congressos, seminários e simpósios são organizados em torno desse tema. Frequentemente exemplos de empresas que atingiram sucesso por meio das tecnologias dessa nova revolução, são apresentados e discutidos. Fornecedores de máquinas, equipamentos e softwares apresentam inúmeras soluções para as demandas das empresas industriais. Essas soluções na maioria das vezes, conforme defendido por essas fornecedoras de tecnologia, são a solução para os problemas da empresa e o seu passaporte para ingressar na I4.0.

As empresas do grupo Randon seguem nessa mesma tendência. Há muita oferta de soluções tecnológicas, todas se vendendo como fundamentais para o futuro da organização. Entretanto, sem um diagnóstico claro de onde o investimento nessas tecnologias tem maior potencial de trazer resultado.

Atualmente são 19 unidades industriais, cada uma com suas particularidades, portanto, níveis de maturidade diferente. A proposta deste trabalho, contempla entre seus objetivos aplicar modelos de medição do nível de maturidade no uso das tecnologias da indústria 4.0. Esta aplicação será realizada nas unidades industriais do grupo Randon. Após a medição, outro objetivo é avaliar os níveis de maturidade das tecnologias e das empresas, identificando os pontos fortes e as oportunidades. Com o resultado do trabalho será possível detectar onde estão as suas maiores lacunas. Qual unidade tem maior deficiência, onde o potencial de ganho pode ser maior e em qual tecnologia o investimento deve ser realizado.

Atualmente a literatura apresenta alguns métodos de avaliação de maturidade e modelos de implementação da Indústria 4.0. No entanto, estes métodos e modelos tratam a indústria 4.0 como algo único, que pode ser medido e implementado de uma só vez. Neste trabalho a proposta é de desmembrar. Medir cada tecnologia separadamente.

1.3 QUESTÃO DE PESQUISA

Baseado nas discussões apresentadas anteriormente, entende-se como questão de pesquisa para este trabalho: Como medir o nível de maturidade no uso de tecnologia em um ambiente de Indústria 4.0?

1.4 OBJETIVOS

Nessa seção são apresentados os objetivos geral e específicos do trabalho.

1.4.1 Objetivo geral

O objetivo geral é medir o nível de maturidade no uso das tecnologias em um ambiente de Indústria 4.0.

1.4.2 Objetivos específicos

Do objetivo geral derivam-se os específicos como sendo:

- a) Identificar as tecnologias da Indústria 4.0, definindo quais irão compor o modelo de medição de maturidade;
- b) Definir os modelos de medição de maturidade para cada tecnologia escolhida;
- c) Aplicar os modelos de medição do nível de maturidade no uso das tecnologias em um grupo de empresas do setor automotivo;
- d) Avaliar os níveis de maturidade das tecnologias e das empresas, identificando os pontos fortes e as oportunidades.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

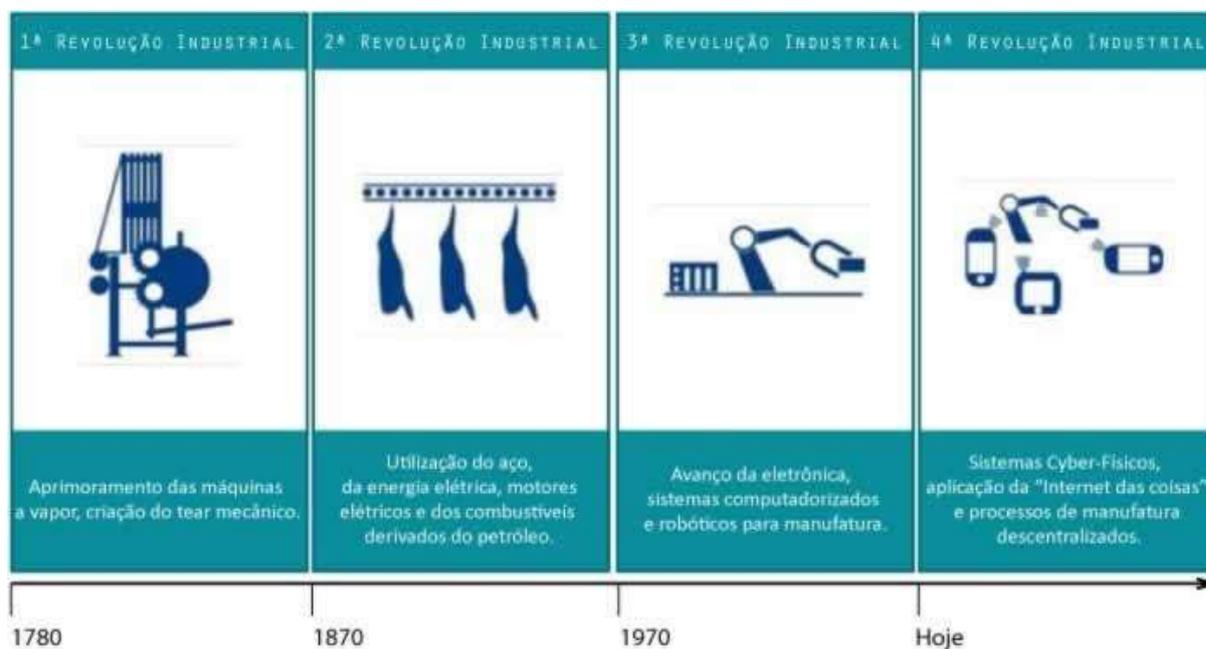
Neste capítulo são apresentados conceitos e definições necessários ao desenvolvimento do trabalho. Primeiramente são desenvolvidos os conceitos dos principais autores na área da chamada Indústria 4.0, para posteriormente apresentar os pilares tecnológicos que compõem esse tema. Estão compondo esta seção modelos de maturidade e implementação da Indústria 4.0. Essa seção é findada com a descrição dos impactos que a aplicação dessas tecnologias pode ter nas empresas e na vida das pessoas.

2.1 INDÚSTRIA 4.0

A industrialização iniciou-se com a introdução da fabricação mecânica no final do século XVIII, conhecida como primeira revolução industrial, ocasionando uma revolução na maneira como os produtos eram fabricados. Um exemplo de sua utilização é a máquina mecânica de tear, que proporcionou o aumento da produtividade. Posteriormente, ocorreu a segunda revolução industrial que começou por volta da virada do século XX e envolveu o emprego de energia elétrica e a divisão de trabalho; um exemplo foi o motor a combustão. Já a terceira revolução industrial, ficou caracterizada pelo emprego de componentes eletrônicos e da tecnologia da informação (TI) para se atingir uma maior automatização dos processos de fabricação, tendo sido iniciada no começo dos anos 70 e continuando nos dias atuais. Por fim, a quarta revolução industrial, denominada pelo governo alemão como “Indústria 4.0”, é uma nova era da indústria, centralizada na utilização de recursos de informação e tecnologia da comunicação para que, assim, seja possível melhorar o processo de manufatura e negócio (KAGERMANN et al., 2013).

Na Figura 3 são demonstrados os quatros estágios da revolução industrial e a sua evolução tecnológica.

Figura 3 - Os quatro estágios da revolução industrial.



Fonte: Adaptado de Kagermann et al. (2013).

O termo Indústria 4.0 ficou conhecido em 2011, quando uma associação de representantes do governo, empresas e academia promoveu a ideia de uma abordagem a fim de aprimorar a competitividade da indústria alemã. Desse modo, o governo alemão apoiou a iniciativa e anunciou que a Indústria 4.0 seria parte do projeto **“High-Tech Strategy 2020 for Germany”**, com o propósito de levar a Alemanha à liderança na inovação tecnológica. E criou-se, assim, um grupo de trabalho para a Indústria 4.0, de modo que a primeira recomendação que escreveu a visão da Indústria 4.0 foi publicada em abril de 2013 (KAGERMANN et al., 2013). Ainda Segundo Kagermann et al. (2013), a Indústria 4.0 cria o que tem sido chamado de *smart factory*, que é uma fábrica inteligente com uma estrutura modular em que os sistemas ciber físicos monitoram processos físicos, criando-se uma cópia virtual do mundo físico e tomam decisões descentralizadas. Fazem o uso intenso de sistemas ciber físicos e Internet das coisas (IoT), que se comunicam entre si e com humanos em tempo real. Os serviços internos da fábrica inteligente e entre as organizações que compõem o ciclo são oferecidos e praticados no âmbito da cadeia de valor.

Na Figura 4 é possível observar a integração da fábrica inteligente com toda a cadeia de valor.

Figura 4 – Indústria 4.0 e a *Smart Factory*



Fonte: Adaptado de Kagermann et al. (2013).

Os avanços tecnológicos impulsionaram aumentos dramáticos na produtividade industrial desde o início da Revolução Industrial. O motor a vapor movimentava as fábricas no século XIX, a eletrificação levou à produção em massa no início do século XX, e a indústria tornou-se automatizada na década de 1970. Nas décadas que se seguiram, no entanto, os avanços tecnológicos industriais foram apenas incrementais, especialmente em comparação com os avanços que transformaram a TI, as comunicações móveis e o comércio eletrônico, (RÜBMANN et al., 2015).

Agora, no entanto, o que se apresenta é a quarta onda de avanço tecnológico: o surgimento da nova tecnologia industrial digital conhecida como Indústria 4.0, uma transformação que é alimentada por nove avanços tecnológicos fundamentais. Essa transformação, sensores, máquinas, peças e sistemas de TI serão conectados ao longo da cadeia de valor além de uma única empresa. Esses sistemas conectados, também conhecidos como sistemas ciber físicos, podem interagir uns com os outros usando protocolos padrão baseados na Internet e analisar dados para prever falhas, se configurar e se adaptar às mudanças. (RÜBMANN et al., 2015).

A Indústria 4.0 possibilitará a coleta e análise de dados em máquinas, permitindo processos mais rápidos, mais flexíveis e mais eficientes para produzir bens de alta qualidade a custos reduzidos. Isso, por sua vez, aumentará a produtividade da manufatura, economia em termos de turnos de trabalho, fomentará o crescimento industrial e modificará o perfil da força de trabalho - em última instância, alterando a competitividade de empresas e regiões.

2.2 PILARES TECNOLÓGICOS

De acordo com Rüßmann et al. (2015), em relatório da empresa Boston Consulting Group (BCG), existem nove tendências tecnológicas que os autores consideram ser os blocos de construção da Indústria 4.0. Segundo os autores estas tendências são os pilares do avanço tecnológico da indústria 4.0. Estes nove avanços que formam a base para a Indústria 4.0 já são utilizados na fabricação, mas com a Indústria 4.0, eles vão transformar a produção: células isoladas e otimizadas se juntarão, tornando-se totalmente integradas, automatizadas e otimizadas no fluxo de produção, levando a maiores eficiências e mudanças nas relações de produção tradicional entre fornecedores, produtores e clientes, bem como entre humanos e máquinas. A figura 5 apresenta uma descrição dos nove pilares da Indústria 4.0, conforme relatório da BCG.

Figura 5 - Pilares tecnológicos da Indústria 4.0.



Fonte: Adaptado de Rüßmann et al. (2015).

2.2.1 Big Data

De acordo com Kache (2015), a informação é o motor na tomada de decisão corporativa em níveis estratégicos, táticos e operacionais. No entanto, a quantidade de informações e dados gerados através das empresas está crescendo rapidamente (McAFEE, BRYNJOLFSSON, 2012). O *Big Data* pode ser definido como a aplicação de estatísticas avançadas a qualquer tipo de comunicação eletrônica (KACHE, 2015).

NIST (2015) define o termo *big data* como um enorme conjunto de dados, em que a grande massa de dados é estruturada e necessita de análise em tempo real. O objetivo é identificar padrões comportamentais dentro dos dados, que eventualmente permitem prever o comportamento futuro em certa medida (SHMUELI e KOPPIUS, 2011).

A análise baseada em grandes conjuntos de dados surgiu recentemente no mundo da fabricação, tendo como principais objetivos otimizar a qualidade da produção, economia de energia e melhora o serviço dos equipamentos. Em um contexto da Indústria 4.0, a coleta e avaliação abrangente de dados de diferentes fontes, equipamentos de produção e sistemas, bem como sistemas de gerenciamento de empresas e clientes, tornar-se-ão padrão para suportar a tomada de decisões em tempo real (RÜßMANN et al., 2015). O *Big data* Tem potencial para desencadear uma "revolução de gerenciamento" (McAFEE, BRYNJOLFSSON, 2012).

Conforme Azevedo (2017), o termo *big data* trata a inabilidade das tradicionais arquiteturas de dados. Manuseia grande quantidade de dados com eficiência, sendo requerida uma arquitetura escalável para, de modo eficaz, armazenar, manipular e analisar.

De acordo com Azevedo (2012), as características do *big data* implicam em uma nova arquitetura conhecida como “Vs” do *big data*, que são: Volume (tamanho do conjunto de dados); Variedade (dados a partir de múltiplos repositórios, domínios ou tipos); Velocidade (taxa do fluxo de dados); Variabilidade (Coerência no conjunto de dados); e Valor. A Figura 6 representa os Vs do *big data*.

Figura 6 – OS Vs do Big Data.



Fonte: Adaptado de IBM (2017)

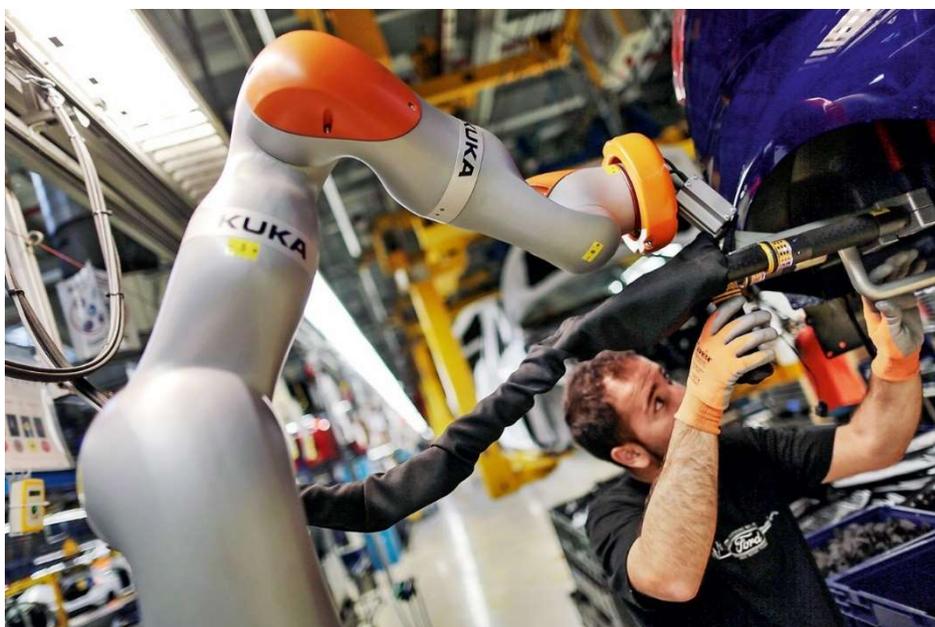
Recentemente, as indústrias ficaram interessadas no potencial do *big data*, de maneira que muitas empresas anunciaram grandes planos para acelerar a pesquisa de *big data* e suas aplicações. Em sua relação com a Internet das coisas, os sensores são incorporados em vários dispositivos e máquinas, sendo que tais sensores coletam vários tipos de dados: ambientais, logísticos, geográficos, serviços de utilidade pública e outros, gerando uma massa crítica para o *big data* (CHEN et al., 2014).

O Grande desafio da indústria 4.0 é coletar todos os dados considerados relevantes, processá-los, transformando-os em conhecimento. Esta atividade, requer sistemas tecnologicamente evoluídos, providos de capacidade de processamento em tempo real e algoritmos sofisticados. Alcançar o conhecimento e a sabedoria abre horizontes para além do imaginário, sendo um grande motor do mundo e do caminho para a indústria do futuro, (COELHO, 2016).

2.2.2 Robôs autônomos

De acordo com Rüßmann et al. (2015), os fabricantes de muitas indústrias usam há muito tempo robôs para auxiliar em tarefas complexas. No entanto, os robôs estão evoluindo para uma utilidade ainda maior. Eles estão se tornando mais autônomos, flexíveis e cooperativos. Eventualmente, eles irão interagir uns com os outros e trabalhar com segurança junto a humanos e aprender com eles. Esses robôs custarão menos e terão uma maior variedade de capacidades do que as usadas na fabricação hoje.

Figura 7 – Robôs autônomos auxiliando na montagem de veículos.



Fonte: Kuka (2018).

A robótica autônoma, também é mencionada como um pilar importante da indústria 4.0, nas chamadas *Smart Factorys*. Recentemente, vários tipos de robótica autônoma foram desenvolvidos. Tem a função de suportar o trabalho de construção em aplicações entre os mais variados segmentos, não somente a indústria automotiva. Utilizar robôs na indústria não é um conceito novo, mas, na indústria 4.0 eles ganham habilidades além dos seus antecessores, conseguindo incorporar novas capacidades para trabalhar sem um supervisor humano sendo capazes de trabalhar para automatizar e coordenar uma série de tarefas logísticas e de produção. Além de reduzir os custos, estes robôs representam um aumento na produção. (OESTERREICH, TEUTEBERG 2016).

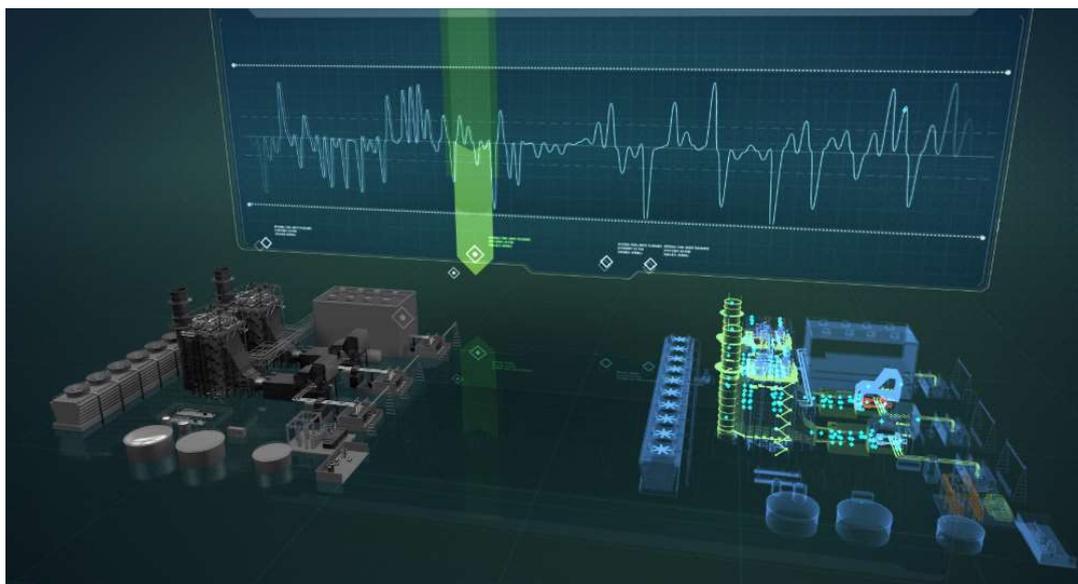
A Indústria 4.0 promoverá mudanças significativas na forma como os trabalhadores realizam seus trabalhos. Modelos de trabalho totalmente novos serão criados, enquanto outros ficarão obsoletos. Embora a medida em que a Indústria 4.0, especialmente a robótica, substituirá o trabalho humano, continue sendo uma questão de debate entre os especialistas, encontra-se um consenso de que os fabricantes usarão cada vez mais a robótica e outros avanços para ajudar os trabalhadores. Nesse sentido, alguns especialistas argumentam contra a noção de que todos os trabalhos de fabricação podem ser automatizados (RÜßMANN et al., 2015).

2.2.3 Simulação

Na fase de engenharia, simulações tridimensionais de produtos, materiais e processos de produção já são usadas, mas, no futuro, as simulações serão mais utilizadas nas operações da planta. Essas simulações aproveitarão dados em tempo real para refletir o mundo físico em um modelo virtual, que pode incluir máquinas, produtos e humanos. Isso permite que os operadores testem e otimizem as configurações da máquina para o próximo produto em linha no mundo virtual antes da mudança física, diminuindo os tempos de configuração da máquina e aumentando a qualidade. (RÜßMANN et al., 2015).

As simulações podem ser usadas para resolver problemas operacionais. Esses problemas surgem da engenharia e as decisões nessa área podem ser apoiadas por simulação técnica, fazendo parte da fábrica digital. A simulação pode ser de um processo de produção completo ou orientada à máquina. Nesse caso concentra-se em células individuais de fabricação. Considerando robôs como recursos, o foco está na detecção de colisão, especialmente quando interagindo com um humano. Esse tipo de simulação se baseia em cinemática e gráficos (LACHENMAIER et al., 2017).

O atual avanço da simulação evoluiu para o chamado *Digital Twin*. O modelo de simulação das fábricas e processos de fabricação pode ser construído em ambiente virtual para quantificar e observar os projetos de sistemas alternativos. Nesse ambiente, os processos, produtos ou uma fábrica inteira podem serem simulados: existe uma cópia completa da empresa (TUEGEL et al., 2011).

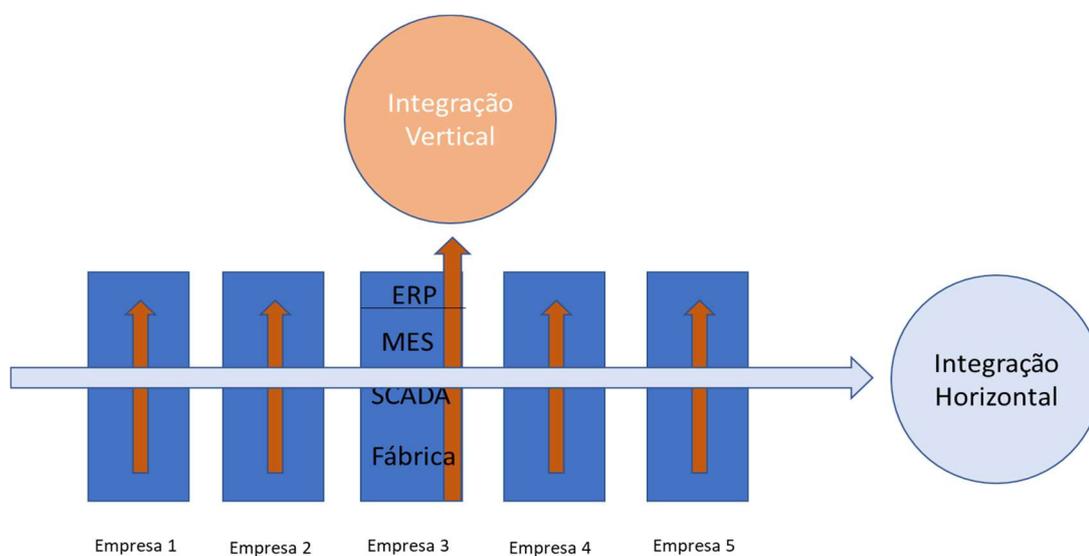
Figura 8 – *Digital Twin*

Fonte: GE Power (2018)

2.2.4 Integração do sistema horizontal e vertical

A integração horizontal está relacionada com a conexão entre a fábrica e toda cadeia de valor externa à planta. Enquanto isso, a integração vertical permite que todos os níveis da fábrica estejam conectados, do chão de fábrica até os executivos. Nesse cenário por exemplo é possível se ter manufatura em rede, logística adaptativa, auto organizada e uma engenharia integrada até o cliente, (KAGERMANN et al., 2013).

Figura 9 – Modelo de integração vertical/horizontal.



Fonte: Adaptado de Wang et al. (2015).

A maioria dos sistemas de TI de hoje não está totalmente integrada. Empresas, fornecedores e clientes raramente estão intimamente ligados. Também não são os departamentos como engenharia, produção e serviço. As funções da empresa para o nível de chão de fábrica não estão totalmente integradas. Mesmo a engenharia, de produtos ou industrial, ou ainda de automação, não possui integração completa. Mas, com a Indústria 4.0, as empresas, departamentos, funções e capacidades se tornarão mais coesas, à medida que as redes de integração de dados universais cruzados evoluem e possibilitem cadeias de valor verdadeiramente automatizadas (RÜßMANN et al., 2015).

Conforme Wang et al. (2015), para implementar a I4.0, três características principais devem ser consideradas: i) integração horizontal através de redes de valor; ii) integração vertical e sistemas de manufatura em rede, e iii) integração digital de ponta a ponta ao longo de todo o processo. O cenário para a integração vertical é a fábrica, portanto, a integração vertical significa implementar a fábrica inteligente, que é altamente flexível e configurável.

2.2.5 Internet das Coisas

De acordo com Gieriej (2017), a revolução digital muda a percepção da economia e dos negócios. Hoje em dia, o objetivo da maioria dos provedores de TI é oferecer sistemas tanto quanto possível inteligentes. O aumento do uso de tecnologias móveis e computação em nuvem inicia mudanças no design e formas de usar aplicativos. A possibilidade de comunicação entre máquinas sem intervenção humana e análise dos dados adquiridos permite monitorar e automatizar muitos processos. Ele leva à crescente importância da internet das coisas (IoT).

O conceito de internet das coisas foi usado pela primeira vez por um empresário britânico, Kevin Ashton, em 1999. Ele usou para nomear o sistema de comunicação do mundo material com computadores usando sensores. Este conceito envolve a combinação de dispositivos claramente identificáveis através de uma rede informática. Os objetos têm assim a possibilidade de coleta, processamento ou troca de dados direta ou indireta. Além de smartphones e tablets, os dispositivos conectados dentro da IoT também são aparelhos domésticos, iluminação e aquecimento, também dispositivos portáteis (AZEVEDO, 2017).

Na última década, a internet das coisas recebeu atenção significativa da indústria, bem como da academia. As capacidades da IoT para integração de redes clássicas e objetos em rede são os principais motivos desse interesse (AZEVEDO, 2017). A ideia básica da IoT é conectar todas as coisas do mundo material à internet e o objetivo final é construir um ambiente inteligente que nos rodeia, onde as coisas podem se comunicar de maneira semelhante à da

comunicação entre seres humanos, fazer decisões por si só e agir em conformidade sem instruções explícitas, e até mesmo saber o que se necessita, quer ou gosta (ZHANG et al., 2015).

Hoje, apenas alguns dos sensores e máquinas de um fabricante são conectados em rede e fazem uso da computação incorporada. Eles geralmente são organizados em uma pirâmide de automação vertical em que sensores e dispositivos de campo com controles de inteligência e automação limitados alimentam um sistema de controle de processo de fabricação geral. Mas, com a Internet Industrial das Coisas, mais dispositivos, às vezes incluindo até produtos não acabados, serão enriquecidos com a computação incorporada e conectados usando tecnologias padrão. Isso permite que os dispositivos de campo se comuniquem e interajam uns com os outros e com controladores mais centralizados, conforme necessário. Também descentraliza a análise e a tomada de decisões, possibilitando respostas em tempo real. (ZHANG et al., 2015).

2.2.6 Segurança Digital

De acordo com Rübmann et al. (2015), muitas empresas ainda contam com sistemas de gerenciamento e produção que não estão conectados ou fechados. Com a maior conectividade e uso de protocolos de comunicação padrão que vêm com a Indústria 4.0, a necessidade de proteger sistemas industriais críticos e linhas de fabricação de ameaças à segurança cibernética aumenta dramaticamente. Antes da proliferação da conectividade com a Internet, aplicações baseadas na web e os sistemas de informação, os sistemas de fabricação industrial eram relativamente isolados e, embora os dispositivos de computação estivessem envolvidos, o gerenciamento e o controle foram implementados dentro dos limites de propriedade da instalação industrial (ANI et al., 2016).

O setor industrial, como a fabricação, é uma das áreas notáveis onde as ameaças cibernéticas estão crescendo devido à crescente resposta global à convergência tecnológica. A segurança digital não era um problema, as questões eram de desempenho, segurança e confiabilidade. No entanto, com as tendências tecnológicas que possibilitam o monitoramento em um sistema conectado aberto e com compartilhamento de informações em tempo real, a segurança digital passa a ser um problema para o setor industrial. A desvantagem dessa integração é que muitas vulnerabilidades e riscos de segurança foram habilitados no domínio industrial e se tornam facilmente acessíveis e exploráveis por atores maliciosos (ANI et al., 2016).

Como resultado, comunicações seguras e confiáveis, bem como gerenciamento sofisticado de identidade e acesso de máquinas e usuários são essenciais. A segurança digital trata de entender as várias vulnerabilidades e riscos de segurança. Para gerenciar esse fenômeno com estratégias e soluções de segurança para o ambiente industrial (RÜßMANN et al., 2015).

2.2.7 Computação na nuvem

De acordo com Heidrich et al. (2017), a definição de computação em nuvem não é clara por se tratar da evolução de um paradigma. No entanto, a definição fornecida pelo Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST) é de que a computação em nuvem é um modelo para permitir acesso livre a uma vasta quantidade de informações compartilhadas através de recursos computacionais configuráveis, por exemplo, redes, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços que podem ser rapidamente provisionados e liberados com um esforço mínimo de gerenciamento ou interação com o provedor de serviços.

As empresas já estão usando softwares baseados em nuvem para algumas aplicações empresariais e de análise, mas, com a Indústria 4.0, mais empreendimentos relacionados à produção exigirão maior compartilhamento de dados entre os sites e os limites da empresa. Ao mesmo tempo, o desempenho das tecnologias da nuvem irá melhorar, alcançando tempos de reação de apenas alguns milissegundos. Como resultado, os dados e a funcionalidade da máquina serão cada vez mais implantados na nuvem, permitindo mais serviços orientados a dados para sistemas de produção. Mesmo os sistemas que monitoram e controlam processos podem se tornar baseados em nuvem (RÜßMANN et al., 2015).

2.2.8 Manufatura aditiva

De acordo com Rodrigues et al. (2017), a manufatura aditiva se caracteriza pelo emprego de equipamentos capazes de fabricar objetos por meio da adição de material, camada por camada, a partir de um modelo digital tridimensional (3D), usualmente obtido por meio do emprego de um sistema CAD (*Computer Aided Design*). Assim, tem-se o conceito de produção por adição de material em contraste à produção por métodos convencionais, em que a peça é obtida pela retirada de material, como na usinagem.

Os primeiros equipamentos de manufatura aditiva foram máquinas de prototipagem rápida, que começaram a surgir a partir da década de 1980. O termo prototipagem rápida provém de uma das finalidades dessas máquinas: produzir protótipos tridimensionais de

produtos de uma maneira rápida e generalizada. Entretanto, hoje em dia, esses equipamentos não se limitam simplesmente à produção de protótipos, ingressando na manufatura final de produtos e “depositando” uma gama maior de materiais, incluindo plásticos, cerâmicas e ligas metálicas, (RODRIGUES et al., 2017).

Figura 10 – Sequência de passos para a Manufatura Aditiva



Fonte: Rodrigues et al. (2017)

As empresas apenas começaram a adotar a fabricação aditiva, como a impressão em 3-D, que usada principalmente para prototipagem e para a produção de componentes individuais. Com a I4.0, esses métodos de fabricação aditiva serão amplamente utilizados para produzir pequenos lotes de produtos customizados que oferecem vantagens de construção, como projetos complexos e leves. Sistemas de fabricação aditivos e descentralizados de alto desempenho reduzirão as distâncias de transporte e o estoque (RÜßMANN et al., 2015).

Características fundamentais da manufatura aditiva são a redução do número de etapas e processos na fabricação de um objeto, a economia de material e a possibilidade de combinação inéditas geometria – materiais, eventualmente mais de um na mesma peça. Para a produção de uma única peça de geometria complexa por meios convencionais, pode ser necessário o emprego de diversas máquinas, ferramental específico e de diversos processos de usinagem e de acabamento até o produto final, enquanto que uma máquina de manufatura aditiva pode produzir a peça em uma única etapa ou em um número significativamente menor de etapas (RODRIGUES et al., 2017).

2.2.9 Realidade Aumentada

Os sistemas baseados na Realidade Aumentada suportam uma variedade de serviços, como selecionar peças em um armazém e enviar instruções de reparo em dispositivos móveis. Esses sistemas estão atualmente em sua infância, mas, no futuro, as empresas farão um uso muito mais amplo da realidade aumentada para fornecer aos trabalhadores informações em tempo real para melhorar a tomada de decisões e os procedimentos de trabalho (RÜßMANN et al., 2015).

De acordo com Fischer et al. (2016), os processos de montagem manual são muito importantes na produção de hoje, uma vez que as habilidades cognitivas dos humanos são necessárias para a produção de produtos individuais e um crescente número de variantes por produto. A principal aplicação Da Realidade Aumentada na I4.0 se refere a orientação deste trabalhador. O resultado é a criação de um processo de informação para o trabalhador durante a execução do trabalho. Isso também é válido para validação virtual de processos e qualificação.

Figura 11 – Aplicação da Realidade Aumentada



Fonte: Siemens (2018)

Várias ideias levam a um conceito de provisão de informações digitais em vez de documentos em papel. A Realidade Aumentada (AR) foi introduzida para a orientação do trabalhador, bem como sistemas baseados na web. Na indústria, os sistemas de informação dos

trabalhadores são amplamente utilizados. A maioria dos sistemas tem uma conexão direta com a intranet da empresa e fornece informações sobre uma tela fixa ao lado do local de trabalho. Outra aplicação é na simulação de movimentos dos trabalhadores, ainda na fase de planejamento, um Sistema de Captura de Movimento pode ser usado para rastrear movimentos de montagem (FISCHER, 2016)

2.3 SISTEMAS CÍBER FÍSICOS

Segundo Lee (2008), sistemas ciber físicos são ambientes de sistemas integrados com sensores inteligentes que podem se auto ajustar ou configurar automaticamente os processos de produção de forma descentralizada e em conformidade com os dados coletados e analisados em tempo real, sendo a integração do mundo virtual com o físico. O termo *Cyber-Physical Systems* (CPS) ou sistemas ciber físicos surgiu em 2006, cunhado por Helen Gill, do *National Science Foundation* (NSF), dos Estados Unidos. Pode-se tentar associar o termo ciberespaço com o Sistemas Ciber Físico, mas as raízes dos sistemas ciber físicos são mais antigas e profundas (AZEVEDO, 2017).

De acordo com Coelho (2016), *Cyber-Physical Systems* (CPS) são sistemas que integram computação, redes de comunicação, computadores embutidos e processos físicos interagindo entre si e influenciando-se mutuamente. É o resultado da evolução tecnológica dos computadores, dos sensores e das tecnologias de comunicação que, ao evoluírem no sentido de maior agilidade, capacidade de processamento e preços cada vez mais acessíveis, têm permitido a sua conjugação de forma efetiva e em tempo real.

Seria preciso associar os termos ciberespaço e sistemas ciber físicos como sendo decorrentes da mesma raiz, cibernética, em vez de visualizar-los, um como sendo derivado do outro. Os sistemas ciber físicos relacionam-se com termos atualmente populares, tais como: IoT; Indústria 4.0; Internet Industrial; M2M e Computação em nuvem. Todos esses termos refletem a visão de uma tecnologia que conecta profundamente o mundo físico com o mundo de informações (AZEVEDO, 2017).

Os Sistemas Ciber físicos possibilitam que fábricas atuem de forma adequada quando há variação ou algum fator para o sistema, tais como demanda por produtos, níveis de estoque, defeitos em equipamentos e atrasos imprevistos. O grande ponto dessa característica é a capacidade de integração da cadeia, envolvendo soluções inteligentes para logística, mobilidade, rede, construções, serviços de marketing das organizações envolvidas e etc.

Gerando valor para o cliente e tornando a produção personalizada. Os Sistemas Cíber Físicos são integrações de computação e processos físicos (HEIDRICH et al., 2017).

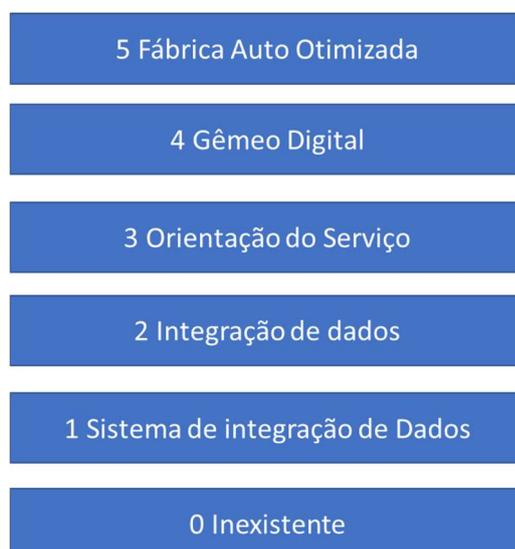
2.4 MODELOS DE MATURIDADE

A literatura apresenta alguns modelos empregados para avaliar o nível de maturidade da indústria 4.0. Os modelos apresentam formatos diferentes de avaliação tanto na forma quanto no que se pretende medir. Para a seleção dos modelos usados neste trabalho, foi considerado modelos que medem maturidade dos pilares tecnológicos da indústria 4.0. Também foi observado um padrão de medição e quantidade de níveis.

2.4.1 Modelo de maturidade para manufatura baseada em dados

O modelo de maturidade para manufatura baseada em dados é sugerido por Weber et al. (2017). Neste trabalho os autores propõem um modelo de maturidade para arquiteturas de TI para fabricação baseada em dados. Para chegar no modelo, os autores usaram como referência três arquiteturas para a Indústria 4.0: i) Arquitetura de Referência da Internet Industrial; ii) Modelo de Arquitetura de Referência da Indústria 4.0; e iii) Arquitetura de TI de Stuttgart para a Manufatura. Foi analisada e avaliada cada abordagem e posteriormente foram definidos níveis de maturidade para a obtenção de dados usados para orientar as empresas no processo de adaptação da Indústria 4.0, bem como critérios para atender a esses níveis.

Figura 12 – Modelo de maturidade M2DDM



Fonte: Adaptado de Weber et al. (2017)

O modelo sugerido é composto por cinco níveis conforme a Figura 12. Na sequência é apresentada a descrição dos níveis:

a) Nível 0: Integração de TI inexistente. Nesse nível, encontra-se os equipamentos de fabricação como máquinas, ferramentas e peças de trabalho que não estão integrados com a TI. Sem integração de TI, os trabalhadores devem recapitular toneladas de informações para detectar erros e soluções apropriadas, bem como melhorias para a fabricação. Isso faz melhorias rápidas em um ambiente turbulento quase impossível.

b) Nível 1: Integração de Dados e Sistemas. Sem integração de dados e sistemas, os dados não podem ser correlacionados e a análise não pode ser realizada. Neste nível, a poluição de informação tradicional da manufatura é implementada. As máquinas são integradas e gerenciadas por uma instância central, um Sistema de Execução da Manufatura (MES). As ordens de produção são gerenciadas por um ERP, que está diretamente conectado ao MES para preservar o tempo e alocar recursos. Os dados relevantes para a produção são integrados com aplicativos corporativos e analisados por meio de planilhas. Os dados operacionais do chão de fábrica são de crescimento rápido e de alto volume, e. valores dos sensores. Além disso, muitos conhecimentos são abordados em documentos, p.ex. manual de máquinas com instruções.

c) Nível 2: Integração dos dados do ciclo de vida cruzada. Nesta fase, os dados relevantes para a fabricação também estão integrados com outros dados de negócios de pós-venda, logística e redes sociais. Isso também é feito através de planilhas que usam dados exportados manualmente de sistemas de origem e dados agregados.

d) Nível 3: Orientação do Serviço. Os dados entre sistemas empresariais e de chão de fábrica são integrados e trocados através de um barramento de serviço empresarial. Dados específicos para análise simples são consultados e salvos em um banco de dados para permitir historiografia.

e) Nível 4: *Digital Twin*. A comunicação e, portanto, a cooperação de ativos na fábrica baseada em dados é habilitada por um modelo de dados uniforme. Somente se todos os estados forem conhecidos por sistemas e humanos em tempo real, a tomada de decisões pode tornar-se eficiente. Uma abordagem é o gêmeo digital. Nesse caso uma cópia idêntica da empresa é criada de modo virtual. Com isso, é possível simular a operação da organização em um ambiente digital. Este conceito ainda está em desenvolvimento, mas representa o caminho para um autocontrole descentralizado de ativos no chão de fábrica.

f) Nível 5: Fábrica de auto otimização. Neste nível, as análises avançadas desempenham um papel importante na extração de informações valiosas de dados. Para habilitar análises em tempo real, um novo nível de hierarquia da nuvem na fábrica deve ser implementado. A previsão de informações agora também inclui o provisionamento sensível ao contexto de dados relevantes para os trabalhadores. A composição dos serviços é feita em tempo de execução ao invés de tempo de design. Análises avançadas e análises de bordo estão integradas em um ciclo de feedback automatizado entre trabalhadores e máquinas. Esses conceitos permitem a autoaprendizagem na fábrica inteligente (WEBER et al., 2017).

2.4.2 Modelo de maturidade para avaliar a Indústria 4.0

O modelo para avaliar a maturidade da Indústria 4.0 de empresas industriais no domínio da fabricação discreta, responsável pela fabricação de um produto em particular, foi proposto por Schumacher et al. (2016). Esse trabalho teve como objetivo principal ampliar o foco tecnológico dominante de modelos recentemente desenvolvidos, incluindo aspectos organizacionais. Foram definidas nove dimensões e estabelecidos 62 itens para avaliar a maturidade da Indústria 4.0. As dimensões produtos; clientes; operações e tecnologia foram criadas para avaliar os facilitadores básicos. Além disso, as dimensões estratégia; liderança; governança; cultura e pessoas, permitem incluir aspectos organizacionais na avaliação.

O modelo de maturidade proposto pelos autores serve tanto para um propósito científico quanto prático. O objetivo científico visa obter dados sólidos sobre o estado atual das empresas de manufatura e suas estratégias da Indústria 4.0 para com isso, extrair possíveis fatores de sucesso. Já o objetivo prático do trabalho foi permitir que uma empresa avalie rigorosamente sua própria maturidade da Indústria 4.0 e reflita sobre a adequação de suas estratégias atuais.

O Quadro 1 apresenta as dimensões do modelo, com um exemplo de como são feitas as avaliações.

Quadro 1 – Modelo de Maturidade Schumacher et al. (2016).

Estratégia	Implementação de um <i>roadmap</i> para Indústria 4.0, recursos disponíveis para realização, Adaptação de modelos de negócios.
Liderança	Disposição dos líderes, competências e métodos de gestão, existência de coordenação central para Indústria 4.0.

Clientes	Utilização de dados dos clientes, digitalização de vendas e serviços, competência de mídia digital do cliente.
Produtos	Individualização de produtos, digitalização de produtos, integração de produtos em outros sistemas.
Operações	Descentralização de processos, modelagem e simulação, colaboração interdisciplinar, interdepartamental.
Cultura	Compartilhamento de conhecimento, inovação aberta e colaboração entre empresas, Valor de TI na empresa.
Pessoas	Competências em TI dos funcionários, abertura dos funcionários às novas tecnologias, autonomia dos funcionários.
Tecnologia	Existência de TI moderna, utilização de dispositivos móveis, utilização de comunicação máquina-máquina.
Governança	Regulamentos trabalhistas para Indústria 4.0, Adequação de padrões tecnológicos, proteção de propriedade intelectual.

Fonte: Adaptado de Schumacher (2016)

Em contraste com outras abordagens, a maior contribuição deste esforço de pesquisa é a inclusão de vários aspectos organizacionais, resultando em um modelo mais abrangente. As primeiras experiências do campo mostram que as empresas de manufatura podem usar os resultados de sua autoavaliação como um sólido ponto de referência para outras medidas estratégicas. Além disso os *roadmaps* para melhorar a maturidade de itens específicos e dimensões relacionadas serão desenvolvidos para permitir a determinação de programas e projetos estratégicos (SCHUMACHER et al. 2016).

2.4.3 Modelo de maturidade para fábricas que aprendem

Enke et al (2017) propõem um modelo de maturidade para as fábricas que aprendem, dentro do contexto da indústria 4.0. Para o projeto do modelo de maturidade, diferentes modelos existentes são comparados e avaliados quanto à sua aplicabilidade às fábricas que aprendem. O modelo usado neste trabalho foi o proposto pela Fundação Europeia para o Modelo de Gestão da Qualidade chamado de EFQM (*European Foundation for Quality Management Model*).

Esse modelo, além das questões relacionadas ao processo, inclui os aspectos liderança, pessoas, estratégia, parceria e recursos, bem como diferentes considerações de resultados organizacionais. O modelo EFQM oferece ferramentas de avaliação para empresas e

organizações nos campos mencionados. O questionário é baseado em nove elementos que possibilita as organizações se avaliarem em relação ao seu nível de excelência. Portanto, fornece um ponto de partida para futuros caminhos de melhoria (ENKE et al., 2017).

2.4.4 Metodologia de Modelagem de Valor na Manufatura (MVMM)

Tonelli et al. (2016), descrevem uma metodologia inovadora para mapeamento de valor na manufatura, desde o nível estratégico até melhorias operacionais. A Metodologia de Modelagem de Valor na Manufatura “*Manufacturing Value Modeling Methodology*” (MVMM) é baseada em cinco etapas: i) mapa de valor; ii) modelo de maturidade; iii) gap e análise de processo; iv) definição de áreas de validação e v) melhoria.

O passo de mapeamento é seguido por uma análise de lacunas e processos, avaliando as áreas mais relevantes para a criação de valor visando construir um roteiro de intervenções, estabelecendo prioridades e atividades a serem melhoradas. A seleção das áreas de melhoria define iniciativas de processo, KPIs e intervenções para melhorar o alinhamento de negócios.

A segunda fase do MVMM é o modelo de maturidade em que os autores medem o estado atual da empresa. Fazer isso é necessário para atender as partes interessadas da empresa que são orientados a avaliar um modelo estruturado de maturidade e avaliar os processos atuais da empresa. Nesta fase, as partes interessadas trazem pontos fortes e fraquezas da empresa a partir do Mapa de Valor e desenvolvendo requisitos estratégicos de negócios, identificando impedimentos para suas estratégias e depois capturando essas necessidades no modelo de maturidade.

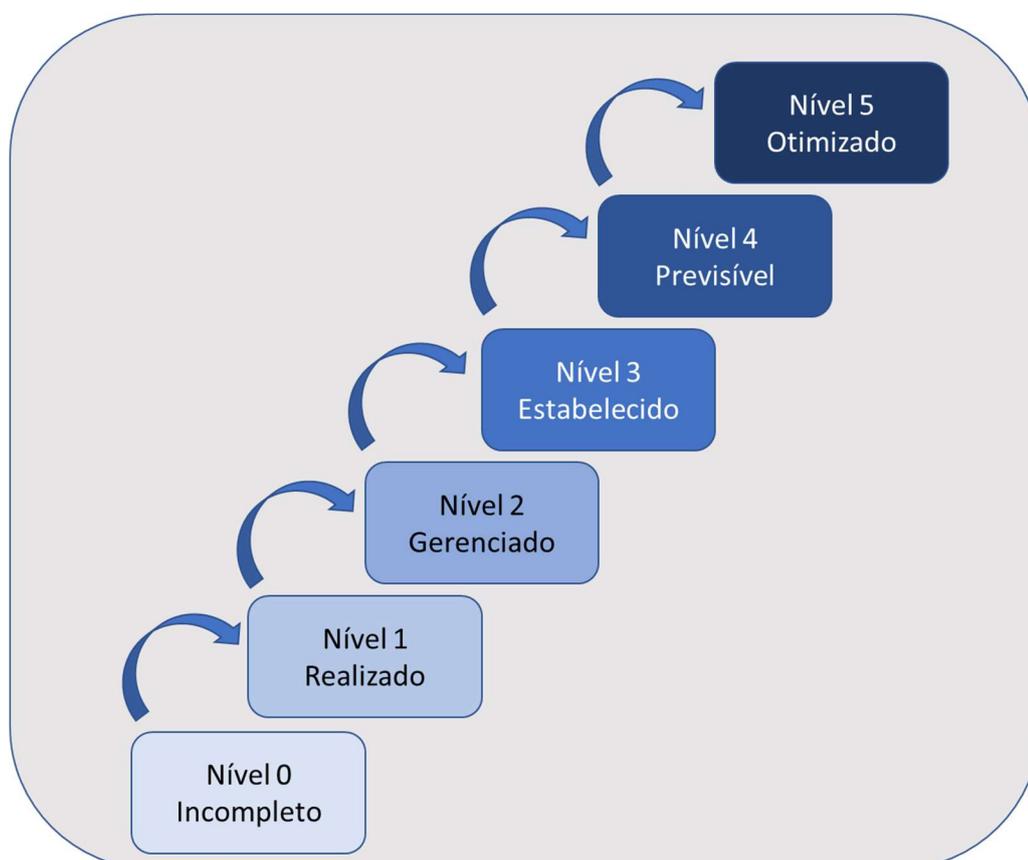
O modelo de maturidade usado é "Modelo de Maturidade do Gartner" para medir o estado atual da empresa. Com base em 5 níveis crescentes de maturidade que descrevem como uma operação pode ser realizada: Nível 1 As empresas se concentram em atividades operacionais e focados em seus próprios objetivos; Nível 2 as organizações reagem favoravelmente à demanda, por informações consistentes, precisas e rápidas em unidades de negócios chave, é tomada medidas corretivas para atender às necessidades imediatas. Nível 3 procura-se integrar completamente os planos de demanda e oferta para criar uma resposta volumétrica e orientada para os serviços e demandas de forma antecipada. A informação suporta a otimização do processo; Nível 4 as organizações de colaboração que atingem a maturidade nível 4 alcançaram excelência funcional no planejamento de suprimentos. A organização percebe a informação como crítica para as empresas; Nível 5 A organização explora informações em toda a cadeia de fornecimento de informação, com acordos de nível de serviço

que são revisados continuamente. Através desse modelo de maturidade, os *stakeholders* medem cada processo ou atividade avaliando o estado atual e o estado alvo com uma pontuação de 1 a 5 que reflete os cinco níveis de maturidade.

2.4.5 Modelo de Avaliação para Indústria 4.0

Outro modelo estudado é o proposto por Gökalp et al. (2017). Em seu estudo os autores identificam e analisam seis modelos de maturidade. Comparando suas características de alcance, finalidade, completude, clareza e objetividade. Os autores concluem que nenhum deles satisfaz todos os critérios esperados. A Indústria 4.0 possui uma abordagem holística consistente na avaliação das áreas de transformação do processo, gerenciamento de aplicativos, gestão de dados, gerenciamento de ativos e alinhamento organizacional. O objetivo do trabalho foi criar uma base comum para realizar uma avaliação de tecnologias da Indústria 4.0 e orientar as empresas para alcançar um estágio de maturidade mais elevado. Figura 9, apresenta o modelo proposto.

Figura 13 – Modelo de Maturidade.



Fonte: Adaptado de Gökalp et al. (2017).

Detalhamento do modelo:

- a) Nível 0: Incompleto. Ainda não há implementação. A organização apenas se concentra nas operações fundamentais, tais como análise de requisitos, aquisição, produção e vendas.
- b) Nível 1: Realizado. A transformação foi iniciada. A infraestrutura tecnológica para a transição para a Indústria 4.0 é adquirida e a organização tende a empregar tecnologias inteligentes como a IoT (Internet das Coisas). A visão da Indústria 4.0 existe e também um roteiro para a estratégia de transição, mas não está totalmente implementada.
- c) Nível 2: Gerenciado. O conjunto de dados relacionado a cada operação é definido e começou a ser coletado, mas não está integrado nas diferentes funcionalidades das operações. Os itens físicos estão começando a ser representados por um mundo virtual.
- d) Nível 3: Estabelecido. As principais atividades do negócio, as operações de valor agregado são bem definidas e as qualificações de processos e operações são consistentes com a padronização correspondente. O conjunto de dados é claramente identificado para cada operação da organização e coletado e armazenado sistematicamente em um banco de dados bem gerenciado. A integração vertical, incluindo a integração interna de fábrica de sensores e atuadores dentro das máquinas até os sistemas de planejamento de recursos empresariais foi alcançada.
- e) Nível 4: Previsível. A integração horizontal, incluindo a integração das redes de produção ao nível dos negócios, é conseguida pela integração da cadeia de suprimentos, mas pode incluir mais no futuro, quando informações em tempo real e em produtos ou processos específicos forem trocadas para aumentar o nível de detalhe e qualidade na otimização de fabricação distribuída. Ferramentas de análise de dados são empregadas para melhorar a produtividade da fabricação.
- f) Nível 5: Otimização. Foi alcançada a integração para a engenharia e a vida útil do produto / produção para permitir o compartilhamento de conhecimento de baixo esforço e a sincronização entre o desenvolvimento de produtos e serviços e os ambientes de fabricação. A organização começa a aprender com os dados coletados e tenta melhorar seus negócios continuamente. O modelo de negócios está evoluindo para uma estrutura inovadora (GÖKALP et al., 2017).

2.4.6 Resumo dos modelos de maturidade

O Quadro 2 representa um resumo dos modelos de maturidade usados para a realização desse trabalho.

Quadro 2 – modelos de maturidade

Artigo	Autor/Ano	Propósito do estudo	Principais contribuições
M2DDM– Modelo de maturidade para manufatura baseada em dados.	Weber et al. (2017).	Neste trabalho os autores propõem um modelo de maturidade para arquiteturas de TI para fabricação baseada em dados. O modelo de maturidade avalia a integração entre os componentes da cadeia de valor envolvendo o ciclo de vida do produto.	Avaliação da maturidade da integração vertical/horizontal, contemplando toda a cadeia de valor e o ciclo de vida do produto.
Modelo de maturidade para avaliar a Indústria 4.0.	Schumacher et al. (2016).	Modelo para avaliar a maturidade da Indústria 4.0 de empresas industriais no domínio da fabricação discreta. Contemplando aspectos da estratégia.	Avaliação focada na estratégia da organização.
Modelo de maturidade para fábricas que aprendem	Enke et al (2017).	Modelo de maturidade para as Fábricas que aprendem, dentro do contexto da indústria 4.0.	Avaliação das fábricas que aprendem. Modelo com cinco níveis de maturidade, EFQM.
Metodologi a de Modelagem de Valor na Manufatura (MVMM)	Tonelli et al. (2016).	Metodologia para mapeamento de valor na manufatura, desde o nível estratégico até melhorias operacionais. Metodologia e ferramentas de mapeamento e análise.	Aplicação prática do modelo do Gaertner, relações entre os objetivos estratégicos e práticas operacionais.
Modelo de Avaliação para Indústria 4.0	Gökalp et al. (2017)	Neste trabalho os autores propõem criar uma base comum para realizar avaliação de tecnologias da Indústria 4.0, orientar as empresas para alcançar um estágio de maturidade mais elevado.	Modelo de maturidade resultado da análise de outros modelos. Serve como base para modelos de avaliação.
Modelo de maturidade Sistemas ciber. físicos.	Monostori et al. (2016)	Nesse trabalho os autores propõem uma medição de maturidade de sistemas ciber físicos utilizando o modelo feita pelo Laboratório da RWTH Aachen University.	Avaliação de maturidade para sistemas ciber físicos.

Modelo de maturidade e de seleção softwares em manufatura	Guimarães (2016).	O autor propôs um modelo de maturidade com um conjunto de critérios que servirá de base para analisar e selecionar os softwares de simulação.	Avaliação de maturidade para simulação computacional.
Modelo de Maturidade do Gartner	David Newman, Debra Logan (2011).	Modelo de maturidade para ajudar os líderes de TI alinhar seus esforços para educar a alta administração. apontar os pontos fracos da organização para alinhamento das ações.	Avaliação de maturidade para diversas aplicações.
Modelo guia de Maturidade para BIG DATA do TDWI	Fern Halper and Krish Krishnan (2014).	Modelo de maturidade de big data para perceber a evolução de uma organização para integrar, gerenciar e alavancar todas as fontes de dados internas e externas relevantes. Ajudar a criar estrutura em torno de um programa de big data e determinar por onde começar.	Modelo para avaliação de maturidade para <i>Big Data</i> e <i>Analytics</i> .
Modelo de Maturidade para Manufatura Aditiva.	LAMONTAGNE (2016)	O objetivo do estudo foi desenvolver um modelo de maturidade para facilitar a integração da fabricação aditiva ao processo de desenvolvimento de produtos.	Avaliação da maturidade da manufatura aditiva.
Modelo de Maturidade para a Segurança da Informação	Malik F. Saleh (2011)	O método usado para medir a maturidade da segurança digital, modelo de maturidade de segurança da informação e destina-se a ser uma ferramenta com capacidade de auxiliar as organizações no atingimento dos objetivos de segurança.	Avaliação de maturidade para a segurança digital

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

2.5 MODELOS DE ESTRUTURA DA INDUSTRIA 4.0

A literatura também trata de alguns modelos de estrutura, para a implantação das tecnologias da Indústria 4.0 nas organizações. Na sequência são apresentados alguns destes modelos.

2.5.1 Implementação das Fábricas inteligentes

O modelo da implantação das fábricas inteligentes é proposto por Wang et al. (2015). Neste artigo, os autores se concentram na integração vertical para implementar uma fábrica inteligente, flexível e configurável. Primeiro, foi proposta uma breve estrutura que incorpora redes industriais sem fio, nuvem e terminais fixos ou móveis com artefatos inteligentes, como máquinas, produtos e vendedores. Além disso, são descritos as principais características técnicas e os resultados.

Para implementar os conceitos da Indústria 4.0 três principais características devem ser consideradas: i) integração horizontal através de redes de valor, ii) integração vertical e sistemas de fabricação em rede, e iii) integração digital de engenharia de ponta a ponta em toda a cadeia de valor. A Figura 10 mostra a relação dos três tipos de integração.

Descrição dos três tipos de integração defendido pelos autores:

- a) **Integração horizontal:** Uma empresa poderia comparecer e cooperar com muitas outras corporações relacionadas. Através da integração horizontal entre corporações, as corporações relacionadas podem formar um ecossistema eficiente. Informações, finanças e material podem fluir entre essas empresas. Portanto, as redes de novas redes, como os modelos de negócios, podem surgir.
- b) **Integração vertical:** Uma fábrica possui vários subsistemas físicos e informativos, como atuadores e sensores, controle, gerenciamento de produção, fabricação e planejamento corporativo. É essencial a integração vertical de sinais de atuadores e sensores em diferentes níveis até o nível de planejamento de recursos de empresa (ERP) para permitir um sistema de fabricação flexível e reconfigurável. Por essa integração, as máquinas inteligentes formam um sistema auto organizado que pode ser reconfigurado dinamicamente para se adaptar a diferentes tipos de produtos; e a informação maciça é recolhida e processada para tornar o processo de produção transparente.
- c) **Integração de engenharia de ponta a ponta (*end to end*):** Processo de criação de valor centrado no desenvolvimento, uma cadeia de atividades está envolvida, como a expressão do requisito do cliente, design e desenvolvimento de produtos, planejamento de produção, engenharia de produção, produção, serviços, manutenção e reciclagem. Um modelo de produto contínuo e consistente pode ser reutilizado por cada etapa e integrado. O efeito do design do produto pode influenciar na produção e no serviço. (WANG et al., 2015).

2.5.2 Modelo de arquitetura de referência

Nesse trabalho Kagermann et al. (2013), apresenta um modelo de arquitetura de referência, segundo os autores, um modelo tridimensional é o mais adequado para representar no espaço a Indústria 4.0. As características básicas do modelo refletem as do modelo de arquitetura *Smart Grid* (SGAM3), qual foi definido pelo *European Smart Grid Coordination Group* (SG-CG) e é aceito em todo o mundo. Foi adaptado e ampliado para atender aos requisitos da Indústria 4.0.

As camadas são usadas no eixo vertical para representar as várias perspectivas, tais como mapas de dados, descrições funcionais, comportamento de comunicação, hardware / ativos ou processos de negócios. Isso corresponde a abordagens de TI em que os projetos complexos são divididos em conjuntos de partes gerenciáveis.

Um outro critério importante é o ciclo de vida do produto com os fluxos de valor que contém. Isso é exibido ao longo do eixo horizontal. Dependências, por exemplo, aquisição constante de dados ao longo do ciclo de vida, também pode ser bem representada no modelo de arquitetura de referência. O terceiro critério importante, representado no terceiro eixo, é a localização das funcionalidades e responsabilidades dentro das fábricas / plantas. Isso diz respeito a uma hierarquia funcional e não às classes de equipamentos ou níveis hierárquicos da pirâmide de automação clássica.

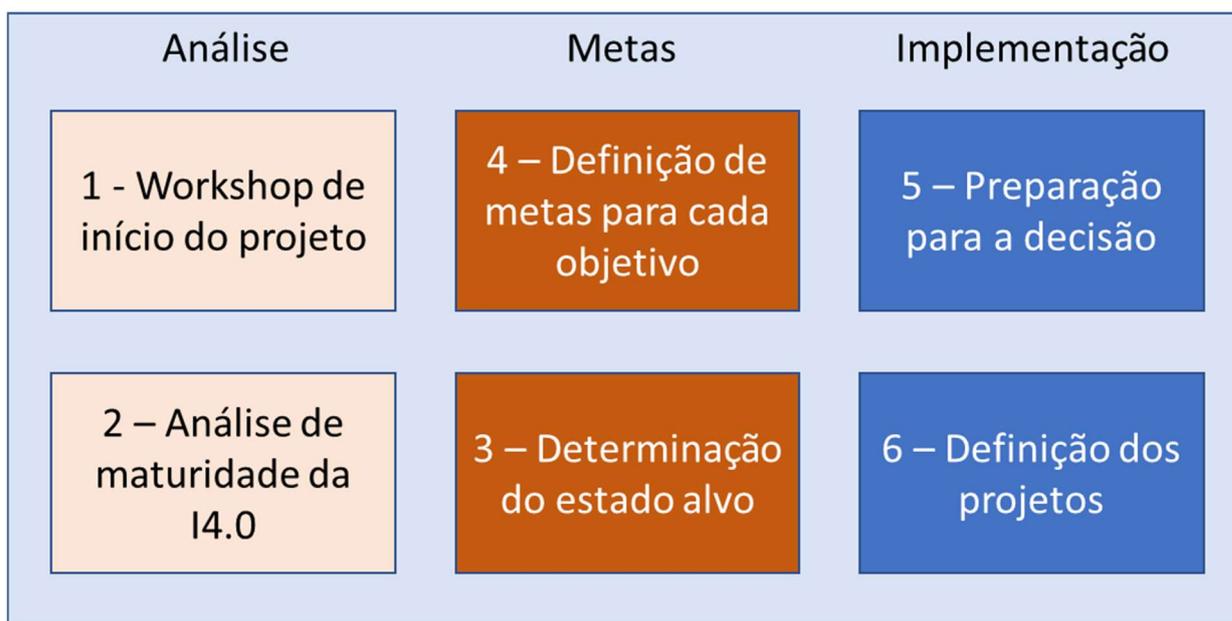
2.5.3 Roadmap de implantação da Indústria 4.0

O *roadmap* de implantação da I4.0 foi estudado por Pessl et al. (2017). Nesse artigo é apresentado um modelo composto por procedimentos que permitem às empresas analisar seu nível de maturidade individual, identificar seus próprios objetivos e desenvolver um plano de ação específico para implementação da I4.0. os autores sugerem para a materialização do trabalho o uso de uma equipe interdisciplinar.

Uma perspectiva teórica e prática detalhada é dada para o modelo de procedimento para o campo de ação humana. A abordagem proposta neste trabalho não é aplicar uma avaliação geral rígida, mas para permitir que as empresas desenvolvam seu processo de transformação individual, o que é importante para identificar, avaliar e utilizar os potenciais da Indústria 4.0 específicos da respectiva empresa.

O *roadmap* para a Indústria 4.0 é composto por 6 passos. O núcleo do *roadmap* consiste em modelos de maturidade que abrangem os campos de compras, produção, intra-logística, vendas e recursos humanos. Os seis passos incluem: i) análise geral da Indústria 4.0; ii) análise de maturidade; iii) determinação do estado-alvo; iv) desenvolvimento e avaliação de medidas para cada campo de ação; v) transferência dos objetivos e medidas para um *Balanced Scorecard*; e vi) o *roadmap* específico é feito. A Figura 14 Traz o resumo desse *roadmap*.

Figura 14 *Roadmap* para a implementação da indústria 4.0.



Fonte: Adaptado de Pessl et al. (2017).

O modelo de procedimento do *roadmap* para a indústria 4.0, é dividido em 6 etapas e contém três fases principais: análise, definição de metas e implementação, conforme figura 14. Isso garante uma identificação sistemática da atual maturidade da Indústria 4.0 e as competências existentes, bem como a definição de metas. O roteiro é ao mesmo tempo base para autoavaliação e guia para a implementação de uma estratégia para a Indústria 4.0.

2.5.4 Estrutura de diagnóstico

A McKinsey apresenta em seu relatório de 2015 uma estrutura de diagnóstico para identificar e priorizar as oportunidades. A ferramenta usa os oito drivers de valor que têm

impacto significativo no desempenho de uma empresa de fabricação típica. Para cada um desses drivers, existem alavancas da Indústria 4.0 que normalmente levam a melhorias.

Na sequência os drivers do modelo são apresentados.

2.5.4.1 Recurso / processo.

Melhorar um processo em termos de consumo de material, velocidade ou rendimento de unidades de valor através da redução dos custos de materiais e de receitas aumentadas por meio de maior produção. Uma alavanca exemplar da Indústria 4.0 para melhorar a eficácia do processo / recurso é a otimização do rendimento em tempo real, introduzido um sistema baseado em computador para controlar, estabilizar e otimizar variáveis de processo. Com base nas medidas reais, os ajustes do processo necessário para alcançar o processo ideal são calculados pelo sistema. Normalmente, a otimização de processos em tempo real produz uma melhora na taxa de transferência de até 5% McKinsey (2015).

2.5.4.2 Utilização de ativos.

Melhorar a utilização de ativos impulsiona o valor, fazendo o melhor uso do parque de máquinas de uma empresa. Especialmente em indústrias de ativos pesados com máquinas caras, cada minuto que uma máquina não produz causa uma perda em termos de gastos de capital e perda de receita. Uma das alavancas da indústria 4.0, é a manutenção preditiva. Com seu uso é possível gerar valor ao diminuir o tempo máquina parada. Como exemplo algumas empresas oferecem manutenção preditiva em que os sensores remotos coletam e relatam dados da condição das máquinas. Com base nos dados do sensor, os primeiros sinais de problemas são detectados para correção oportuna com custos mínimos, os recursos de manutenção podem ser priorizados e otimizados e a disponibilidade da máquina pode ser aumentada. Normalmente, a manutenção preditiva diminui o tempo total de inatividade da máquina em 30 a 50% e aumenta a vida útil da máquina em 20 a 40% McKinsey (2015).

2.5.4.3 Trabalho

Uma vez que o trabalho é um importante motor de custo na maioria das indústrias, melhorar a produtividade do trabalho pode gerar um valor significativo. Este valor pode ser capturado através de alavancas que reduzem o tempo de espera (p. Ex., Conclusão do processo anterior de fabricação, entrega atrasada de um bem na fabricação ou um protótipo em P & D) ou aumentar a velocidade das operações dos trabalhadores, reduzindo a tensão ou a complexidade de suas tarefas. Um exemplo é a utilização de robôs colaborativos para aumentar

a produtividade do trabalho. Com esta alavanca é possível um aumento de 40% na produtividade McKinsey (2015).

2.5.4.4 Inventários

Um grande estoque acelera o capital, levando a altos custos. As alavancas da indústria 4.0 visam os vários drivers do excesso de estoque, como números de estoque imprecisos que aumentam a perda, um planejamento de demanda não confiável que requer estoque de segurança ou superprodução. Uma tecnologia que pode ser usada para ajudar neste caso são as câmeras inteligentes para capturar o nível real de preenchimento de uma caixa de fornecimento, seja armazenado na prateleira ou foi movido para a linha de produção. A caixa está conectada de forma sem fio e reordena automaticamente o fornecimento com base em informações de preenchimento precisas. Potencial de reduzir os custos de estoques em 20 a 50% McKinsey (2015).

2.5.4.5 Qualidade

Melhorar a qualidade é um impulsionador de valor, uma vez que a sucata e os produtos que necessitam de retrabalho levam a custos extras. Essas ineficiências de qualidade são causadas por processos instáveis na fabricação, embalagens deficientes na cadeia ou distribuição de suprimentos e instalação não qualificada. Um exemplo é o uso de análises avançadas para resolução de problemas em tempo real no processo de produção. Análise de dados em tempo real permitem erro em tempo real e correções para minimizar o retrabalho e a sucata. Normalmente, verificamos uma diminuição nos custos relacionados à qualidade de 10 a 20% McKinsey (2015).

2.5.4.6 Fornecimento/demanda

Apenas uma compreensão perfeita da demanda do cliente - tanto quanto a quantidade quanto as características do produto, os clientes estão dispostos a pagar. Portanto, otimizar a combinação do fornecimento com a demanda real com as alavancas da Indústria 4.0 pode aproveitar o potencial de valor. A previsão baseada em análises avançadas, por exemplo, pode aumentar a precisão da previsão de demanda para mais de 85% McKinsey (2015).

2.5.4.7 Time to Market

Alcançar o mercado com um novo produto mais cedo cria um valor adicional através do aumento das receitas e potenciais vantagens. Portanto, toda alavanca da Indústria 4.0 que acelera o processo de desenvolvimento, como engenharia simultânea ou experimentação /

prototipagem rápida ajudará a gerar esse valor. Um exemplo é o uso da impressão 3D para o desenvolvimento e fabricação de novos produtos. Com isso é possível reduzir o ciclo de desenvolvimento da média da indústria de seis a sete anos para um ano e uma redução de custos em P & D de 30 a 50% McKinsey (2015).

2.5.4.8 Pós-vendas

Uma vez que os custos de operação são gerados pelos custos do serviço e os tempos de inatividade da máquina, oferecer soluções para diminuí-las ao cliente pode abrir mais potencial de valor. Uma dessas alavancas de serviço é manutenção remota, que pode ser conseguida através de soluções de software que permitem que os técnicos estabeleçam uma conexão remota segura com o equipamento industrial para realizar um diagnóstico sem visitar o cliente. Normalmente, vemos redução de custos de manutenção de 10 a 40%, através de uma manutenção preditiva McKinsey (2015).

2.5.5 Resumo modelos de estrutura

O quadro 3 representa o resumo dos modelos de estrutura que servem de inspiração para a realização desse trabalho.

Quadro 3 – Modelos de estrutura da indústria 4.0

Artigo	Autor/Ano	Propósito do estudo	Principais contribuições
Implementação das Fábricas inteligentes	Wang et al. (2015).	Integração vertical para implementar uma fábrica inteligente, flexível e configurável. redes industriais sem fio, nuvem e terminais fixos ou móveis com artefatos inteligentes, como máquinas, produtos e vendedores.	Modelo de avaliação e implantação da integração vertical e horizontal.
Modelo de arquitetura de referência	Kagermann et al. (2013)	Modelo tridimensional adequado para representar no espaço a Indústria 4.0. As características básicas do modelo refletem as do modelo de arquitetura <i>Smart Grid</i> (SGAM3).	Modelo contempla os impactos da implantação da I 4.0. traz uma visão completa da organização.

Roadmap de implantação da Indústria 4.0	Pessl et al. (2017)	Modelo de procedimento que permite às empresas analisar seu nível de maturidade individual, identificar seus próprios objetivos e desenvolver um plano de ação específico para implementação.	Modelo completo com análise de maturidade e <i>roadmap</i> de implantação.
Estrutura de diagnóstico	McKinsey	Estrutura de diagnóstico para identificar e priorizar as oportunidades.	Modelo de diagnóstico, com todas as áreas onde as tecnologias da I4.0 podem ser implementadas com os seus possíveis ganhos.

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

2.6 IMPACTOS DA IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0

De acordo com Schwab (2014), a escala e a amplitude da atual revolução tecnológica irão desdobrar-se em mudanças econômicas, sociais e culturais de proporções tão fenomenais que chega a ser quase impossível prevêê-las. Em todas essas áreas, um dos maiores impactos surgirá de uma única força: o empoderamento – como os governos se relacionam com seus cidadãos; como as empresas se relacionam com seus empregados, acionistas e clientes; como as superpotências se relacionam com países menores.

A Indústria 4.0 modifica a natureza do trabalho. O uso da automação para auxiliar os trabalhadores com tarefas manuais será particularmente valioso para responder às necessidades do envelhecimento da força de trabalho, problema enfrentado em muitos países desenvolvidos. Por exemplo, trabalhos realizados na linha de montagem automotiva que requer levantamento de componentes pesados e implica posições físicas inadequadas. A indústria 4.0 melhorará drasticamente a produtividade dos técnicos de serviço no campo. Permitirá manutenção assistida por tecnologia e preditiva. Uma vez no local, o técnico será ajudado a fazer reparos pela tecnologia de realidade aumentada e poderá receber orientação remota de especialistas (FISCHER et al., 2016).

De acordo com Rüßmann (2015), as melhorias de produtividade nos custos de conversão, que excluem o custo dos materiais, variam de 15 a 25%. Quando os custos dos materiais são tidos em conta, ganhos de produtividade de 5 a 8% serão alcançados. Essas melhorias variam de acordo com a indústria.

A indústria 4.0 também gerará crescimento de receita. A demanda dos fabricantes de equipamentos aprimorados e novas aplicações de dados, bem como a demanda de consumidores por uma variedade maior de produtos cada vez mais personalizados, gerarão um crescimento adicional de receita de cerca de 30 bilhões de euros por ano, ou cerca de 1% do PIB da Alemanha. Segundo análise do impacto da Indústria 4.0 feita por Rüßmann et al. (2015) sobre a fabricação alemã, descobriu-se que o crescimento que as tecnologias da indústria 4.0 estimulam levará a um aumento de 6% no emprego nos próximos dez anos na Alemanha. No entanto, serão necessárias habilidades diferentes. A curto prazo, a tendência para uma maior automação deslocará alguns trabalhadores, muitas vezes pouco qualificados, que realizam tarefas simples e repetitivas.

Ao longo da cadeia de valor, os processos de produção serão otimizados através de sistemas de TI integrados. Como resultado, as células de fabricação de hoje serão substituídas por linhas de produção totalmente automatizadas e integradas. Processos de produção e automação de produção serão projetados e encomendados praticamente em um processo integrado e através da colaboração de produtores e fornecedores. Os processos de fabricação serão mais flexíveis e com isso permitirão a produção econômica em pequenos tamanhos de lote. A constante evolução vai levar a robôs, máquinas e produtos inteligentes que se comunicam entre si e tomam certas decisões autônomas, sem a necessidade da intervenção humana. (RÜßMANN et al., 2015).

3 MÉTODO

Decorrente dos objetivos descritos no projeto, bem como o problema de pesquisa, este capítulo descreve a metodologia utilizada nesta dissertação. A proposta do trabalho será desenvolvida com base nos conceitos apresentados no referencial teórico. A seguir, consta o detalhamento da proposta, com a metodologia usada para medir a maturidade do uso das tecnologias no âmbito da Indústria 4.0.

3.1 MÉTODO PARA MEDIR A MATURIDADE DO USO DAS TECNOLOGIAS

A proposta deste trabalho é medir a maturidade no uso dos pilares tecnológicos em um ambiente da Indústria 4.0. Primeiramente foi definido quais seriam as tecnologias que farão parte do modelo. Para isso foi utilizado como referência o trabalho de Rüßmann, em relatório da empresa Boston Consulting Group (BCG) publicado em 2015. Neste trabalho os autores tratam dos chamados pilares tecnológicos da indústria 4.0. Os pilares tecnológicos apresentados são nove diferentes tecnologias que compõem a I4.0.

Os pilares tecnológicos conforme Rüßmann et al. (2015) Mueller et al. 27 são: i) integração vertical e horizontal; ii) internet das coisas (IoT); iii) robôs autônomos; iv) simulação; v) big data; vi) computação na nuvem; vii) manufatura aditiva; viii) realidade aumentada e ix) segurança digital. No entanto, de acordo os trabalhos pesquisados para a realização desse trabalho, percebe-se uma lacuna quanto aos nove pilares tecnológicos, a proposta para completar os pilares tecnológicos é acrescentar a tecnologia dos sistemas ciber físicos.

Conforme definem alguns autores como Lachenmaier et al. (2017), Mueller et al. (2017), Seitz e Leibniz (2015) e Monostori et al. (2016), os sistemas ciber físicos fazem a integração entre a computação e os processos físicos, sendo assim um ponto chave para que a I4.0 se torne realidade. Sistemas ciber físicos (CPS) é o fio que liga toda a IoT. É o elo tecnológico indispensável para a fusão entre os mundos real e virtual. Segundo Kagermann et al. (2013), a I4.0 é baseada nas chamadas fábricas inteligentes. Essas estão com seus processos integrados tanto no mundo físico quanto no virtual. Sendo assim, a proposta deste trabalho é medir o nível de maturidade de dez pilares tecnológicos, incluindo os sistemas ciber físicos aos nove anteriormente mencionados.

Para a medição de maturidade das tecnologias anteriormente definidas, foi definido como modelo de medição de maturidade o apresentado por Gökalp et al. (2017). Nesse trabalho

os autores tinham como objetivo realizar uma avaliação de tecnologias da Indústria 4.0 e orientar as empresas para alcançar um estágio de maturidade mais elevado. Porém, não foi encontrado um trabalho que contemplasse todas as dimensões da I4.0. Para alcançar o seu objetivo os autores juntaram modelos de maturidade criando um modelo otimizado. Por ser um modelo otimizado de medição de maturidade, foi esse o escolhido como padrão para a realização do trabalho.

Neste modelo é proposto uma avaliação em 6 níveis sendo: nível 0 – Inexistente; nível 1 – Realizado; nível 2 – Gerenciado; nível 3 – Estabelecido; nível 4 – Previsível; nível 5 – Otimizado.

O quadro 4 apresenta o modelo de avaliação proposto, com nove tecnologias definidas e cinco níveis de avaliação.

Quadro 4 – Modelo proposto

		Modelo de medição de maturidade dos pilares tecnológicos da I4.0					
		Níveis					
		0	1	2	3	4	5
P i l a r e s t e c n o l ó g i c o s	Sistemas Ciber Físicos	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	Integração Vertical e Horizontal	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	Internet das Coisas	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	Robôs Autônomos	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	Simulação	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	Big Data	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	Computação na Nuvem	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	Manufatura Aditiva	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
	Segurança Digital	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
Realidade Aumentada	Inexistente	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado	

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

A seguir os pilares tecnológicos com a descrição dos requisitos necessários para cada nível de maturidade.

3.1.1 Sistemas ciber físicos

A avaliação desta tecnologia teve como base a proposição feita pelo Laboratório de Máquinas-Ferramenta e Engenharia de Produção da RWTH *Aachen University*. nesse trabalho a avaliação é realizada em cinco níveis. De acordo com Monostori et al. (2016), os níveis de maturidade dos sistemas ciber físicos são definidos da seguinte forma: i) estabelecendo os princípios básicos; ii) criando transparência; iii) aumentando a compreensão; iv) melhorando a tomada de decisões e, v) auto-otimizado. Enquanto no primeiro nível são criadas as condições organizacionais e estruturais para a implementação do CPS (*ciber physical system*), os quatro níveis superiores representam a maturidade das realizações referentes ao processamento de informação e conhecimento e os aspectos de cooperação e colaboração.

Deste modo, para avaliar a utilização desta tecnologia, se definiu características diferentes em cinco níveis:

- a) Nível 0: Inexistente.
- b) Nível 1: Realizado. Neste nível identifica se os equipamentos utilizados pela empresa possuem algum tipo de sensor instalado. Os sensores neste caso, são os que oferecem alguma possibilidade de coleta de dados e a utilização destes dados em um ambiente fora da máquina. O que se busca neste nível são as condições gerais para a coleta de informação.
- c) Nível 2: Gerenciado. Neste estágio as informações são geradas em tempo real. Ainda não existe a aplicação dos dados gerados em uma integração total da fábrica. Porém eles estão à disposição, sendo utilizados em algum sistema isolado. O que se busca neste nível é que a empresa já esteja utilizando o sistema ciber físico de modo isolado.
- d) Nível 3: Estabelecido. Informações coletadas através dos sensores e monitoradas pelo sistema ciber físico, são usadas como apoio para a tomada de decisão na organização. O sistema ciber físico ainda está a nível dos equipamentos, no entanto, compõem o sistema de informações da empresa. Existe o processamento das informações.
- e) Nível 4: Previsível. Para atingir este nível o sistema ciber físico deve estar totalmente integrado com os demais sistemas da empresa. Interagindo e trocando informações em tempo real e emitindo alertas de possíveis falhas. Os sistemas da empresa estão integrados em uma rede colaborativa.

- f) Nível 5: Otimizado. Nesta etapa além do sistema ciber físico deve estar totalmente integrado, ele já consegue se auto corrigir e melhorar o seu desempenho sem a interferência humana. Possui a capacidade de resolução de problemas independente.

3.1.2 Integração Vertical e Horizontal

Para a avaliação deste pilar tecnológico se tratou a integração vertical e horizontal em um único item. O modelo utilizado para a avaliação da integração vertical foi o proposto por Weber et al. (2017), neste trabalho os autores propõem um modelo de avaliação em 5 níveis onde é contemplada toda a integração vertical. Para contemplar também com a integração horizontal, o trabalho de Wang et al. (2017), foi usado. Neste trabalho Wang diferencia as integrações vertical e horizontal, propondo um modelo de implantação que inicia criando condições para a integração vertical e tendo como evolução a integração horizontal com outras organizações.

Os cinco níveis foram definidos da seguinte forma; nível 1, existe um sistema MES (*Manufacturing Execution System*) instalado; nível 2, integração entre dados de fabricação, de negócio e redes sociais integrados; nível 3, integração com dados dos clientes e dos fornecedores; nível 4, sistemas e empresas integrados e gerando informações em conjunto e no nível 5, sistemas integrados e tomando decisões de forma autônoma.

Detalhamento dos níveis:

- a) Nível 0: Inexistente.
- b) Nível 1: Realizado. Integração de Dados e Sistemas. Neste nível, a poluição de informação tradicional da manufatura é implementada. As máquinas são integradas e gerenciadas por uma instância central, um Sistema de Execução da Manufatura (MES). As ordens de produção são gerenciadas por um ERP (*Enterprise Resource Planning*), que está diretamente conectado ao MES para preservar o tempo e alocar recursos. Os dados relevantes para a produção são integrados com aplicativos corporativos e analisados por meio de planilhas. Os dados operacionais do chão de fábrica são de crescimento rápido e de alto volume, valores dos sensores. Além disso, muitos conhecimentos são abordados em documentos, ex. manual de máquinas com instruções.
- c) Nível 2: Gerenciado. Integração dos dados do ciclo de vida cruzada. Nesta fase, os dados relevantes para a fabricação também estão integrados com outros dados de negócios de pós-venda, logística e redes sociais. Isso também é feito através de planilhas que usam dados exportados manualmente de sistemas de origem e dados agregados.

- d) Nível 3: Estabelecido. Orientação do Serviço. Os dados entre sistemas empresariais e de chão de fábrica são integrados e trocados através de um barramento de serviço empresarial. Dados específicos para análise simples são consultados e salvos em um banco de dados para permitir historiografia. Neste nível inicia a integração horizontal com a troca de dados com fornecedores e clientes.
- e) Nível 4: Previsível. *Digital Twin*. A comunicação e, portanto, a cooperação de ativos na fábrica baseada em dados é habilitada por um modelo de dados uniforme. Somente se todos os estados forem conhecidos por sistemas e humanos em tempo real, a tomada de decisões pode tornar-se eficiente. Criando o digital twin. Também é observado se existe a comunicação e a cooperação entre as empresas da cadeia.
- f) Nível 5: Otimizado. Fábrica de auto otimização. Neste nível, as análises avançadas desempenham um papel importante na extração de informações valiosas de dados. Para habilitar análises em tempo real, um novo nível de hierarquia da nuvem na fábrica deve ser implementado. provisão de informações agora também inclui o provisionamento sensível ao contexto de dados relevantes para os trabalhadores. A composição dos serviços é feita em tempo de execução em vez de tempo de design. Análises avançadas e análises de bordo estão integradas em um ciclo de feedback automatizado entre trabalhadores e máquinas. Esses conceitos permitem a autoaprendizagem na fábrica inteligente. Estas análises avançadas também são realizadas com a cadeia de valor da organização.

3.1.3 Internet das Coisas (IoT)

Para medir e avaliar o nível de maturidade no uso da Internet das coisas, o trabalho usado foi a proposição feita pelo Gardner para medir a maturidade da IoT nas organizações. Neste trabalho o nível de maturidade é medido em cinco níveis: 1 Inicial; 2 Exploratório; 3 Definido; 4 integrado e 5 Otimizado. O modelo foi complementado com o modelo de 6 níveis de Gökalp et al. (2017).

Detalhamento dos níveis:

- a) Nível 0: Inexistente.
- b) Nível 1: Realizado. Neste primeiro nível a existência de uma rede de internet ou ethernet é verificada. O processo para a IoT foi iniciado, ainda sem uma aplicação definida, porém com a parte física instalada.

- c) Nível 2: Gerenciado. Aqui além da existência de uma rede de comunicação, é necessário que a mesma esteja ligada a algumas máquinas e/ou equipamentos da organização. A organização entende a necessidade de ter seus equipamentos em rede. Experiências são realizadas de forma isolada.
- d) Nível 3: Estabelecido. Neste nível a rede está realmente em funcionamento, já existe a troca de informações. Os equipamentos conseguem usar a rede para receber informações importantes em seu funcionamento e enviar informações.
- e) Nível 4: Previsível. No nível quatro a rede interliga não somente as máquinas e equipamentos onde é possível a coleta de informações. Também estão em rede os sistemas computacionais da empresa. Todos fazem parte de uma rede de comunicações única.
- f) Nível 5: Otimizado. A IoT está em rede entre todos os equipamentos e softwares onde é possível a sua ligação. Neste ponto a troca de dados entre máquinas e sistemas é intensa e permite a tomada de decisão de forma autônoma. O sistema se auto corrige e usa a rede para executar as ações.

3.1.4 Robôs Autônomos

Par medir a maturidade no uso deste pilar tecnológico, o modelo utilizado como base foi o proposto por Gökalp et al. (2017). o modelo é composto por cinco níveis de maturidade, nível 0 – inexistente; nível 1 – realizado; nível 2 – gerenciado; nível 3 – estabelecido; nível 4 – previsível; nível 5 – otimizado. Para complementar foi usado a proposição da empresa IDC para medir maturidade de robôs autônomos moveis. Modelo consultoria IDC: nível 1 Não há capacidade para gerenciamento; nível 2 pode fornecer sinais visuais para operadores humanos; nível 3 pode enviar um sinal digital de que encontrou um obstáculo; nível 4 O robô pode ser operado remotamente; nível 5 A frota de robôs é conectada a um sistema de auto monitoramento.

Detalhamento dos níveis:

- a) Nível 0: Inexistente.
- b) Nível 1: Realizado. Para estar no primeiro nível do pilar da robótica colaborativa, é necessário que a empresa já faça uso de algum tipo de robô em seu processo. Estes robôs não possuem a capacidade para gerenciamento remoto ou sinalização de erro.
- c) Nível 2: Gerenciado. Neste ponto algum dos robôs da companhia é colaborativo. Ou seja, possui a tecnologia de sensoriamento e programação que permite a sua operação

simultaneamente com pessoas sem os sistemas de segurança tradicionais. Não há capacidade para gerenciamento remoto, mas pode fornecer sinais visuais para operadores humanos ao encontrar um erro.

- d) Nível 3: Estabelecido. Para ter esta tecnologia como estabelecida, é necessário que existam na empresa postos de trabalho colaborativos. Nestes postos, máquinas e pessoas trabalham juntas no mesmo espaço, colaborando entre si para a construção de seus produtos. O robô pode enviar um sinal digital de que encontrou um obstáculo, mas requer intervenção manual no local para corrigir qualquer problema.
- e) Nível 4: Previsível. Neste nível a robótica colaborativa já está absorvida pelo processo da empresa. Os robôs estão integrados entre si e com os demais sistemas da empresa. O robô pode enviar um sinal de erro digital e ser operado remotamente por um operador humano no local, mas não há capacidade para operação remota fora do local.
- f) Nível 5: Otimizado. Último nível, aqui os robôs possuem a habilidade de aprender as atividades pela interação com pessoas e outros robôs. Utilização este aprendizado para melhorar o seu desempenho. Os robôs são equipados com a capacidade de gerenciamento remoto externo para assumir o controle no caso em que um obstáculo não resolvido é encontrado. Estão integrados com outros equipamentos da empresa.

3.1.5 Simulação

Simulações utilizam dados em tempo real para refletir o mundo físico em um modelo virtual, que pode incluir máquinas, produtos e humanos. Para medir o nível de maturidade no uso desta tecnologia, foi usado o proposto por Gökalp (2017), já descrito anteriormente, complementado com o modelo proposto por Guimarães (2015). Neste modelo a medição de maturidade é realizada em 5 níveis, conforme detalhamento:

- a) Nível 0: Inexistente.
- b) Nível 1: Realizado. Existe um interesse em conhecer a metodologia de simulação por parte dos gestores. De uma maneira tímida são implantados alguns padrões em alguns processos. Ainda não existem especialistas nos processos. Primeiras iniciativas de organização dos processos são dadas. Alguns procedimentos começam a ser esboçados. Sistemas de medição e avaliação são feitos através de apontamentos manuais e em pontos isolados. As informações de desempenho começam a ser compartilhadas, porém de uma forma irregular. Ainda não se adotam programas de gerenciamento e qualidade.

- c) Nível 2: Gerenciado. Existe conhecimento sobre o tema simulação obtido através de apresentações, leituras técnicas ou internet. Os processos são formalmente descritos e o uso de padrões, procedimentos, ferramentas e métodos estão em implantação. Com esse conhecimento dos processos começa a se desenvolver os especialistas. Há análise de medição, controle e planejamento das atividades. Inspeções e manutenção de qualidade começam a ser executadas. Processos de engenharia também são aplicados neste nível. Práticas da gestão da qualidade estão em implantação.
- d) Nível 3: Estabelecido. O conhecimento sobre o tema simulação foi obtido através dos cursos e/ou treinamentos. Há um gerenciamento de projetos e processos, incluindo a organização dos produtos e seu controle. Existe um planejamento e uma programação da produção com o objetivo de atender a demanda no prazo estabelecido com um maior rendimento e produtividade. A equipe de gestão tem visibilidade sobre o status dos processos. Alguns processos são escolhidos para que possam ser estatisticamente e quantitativamente controlados e geridos. Causas especiais de variação do processo são identificadas e analisadas. Programas de gerenciamento estão implantados.
- e) Nível 4: Previsível. Os processos são continuamente melhorados por meio de ações incrementais e inovações. Objetivos quantitativos são estabelecidos e revistos para a melhoria dos processos. Neste nível todo o processo da empresa é simulado em ambiente virtual. Existe uma cópia da empresa ou o chamado (*digital twin*). Neste nível é possível simular os impactos de qualquer mudança em toda a organização.
- f) Nível 5: Otimizado. Simulação feita em tempo real e de forma integrada. Os resultados alimentam outros sistemas da empresa e interagem com os mesmos otimizando o desempenho da organização.

3.1.6 Big Data

A análise de big data requer a capacidade de coletar, gerenciar e analisar volumes potencialmente grandes de dados diferentes, na velocidade certa, dentro do tempo certo, enquanto fornece o tempo certo análise e atividade ao consumidor final. Para medir maturidade deste pilar tecnológico o modelo usado foi o proposto pelo TDWI Halper e Krishnan (2014). A maturidade de big data pode ser descrita como a evolução de uma organização para integrar, gerenciar e alavancar todas as fontes de dados internas e externas relevantes. O Modelo de Maturidade de Big Data TDWI consiste em cinco estágios: nascente, pré-adoção, adoção

antecipada, adoção corporativa e madura/visionária. A definição dos níveis seguiu a proposição de Gökalp et al. (2017).

Detalhamento do modelo:

- a) Nível 0: Inexistente.
- b) Nível 1: Realizado. O estágio inicial representa um ambiente de pré Big Data. Nesta fase, a maioria das empresas tem uma baixa consciência de big data ou seu valor em grande parte do negócio. Não há suporte executivo real para o efeito, embora existam bolsões de pessoas espalhadas por toda a empresa que podem estar interessado no valor potencial do Big Data. Muitas vezes, a organização comprou o conceito do *analytics* e pode ter um armazenamento de dados, por exemplo, mas ainda não começou a explorar análise avançada ou começou sua jornada de dados. Isso também pode significar que sua estratégia de governança é mais centrada em TI do que centrada em negócios e TI.
- c) Nível 2: Gerenciado. Neste estágio, a organização está apenas começando sua jornada de Big Data. Nas empresas mais tradicionais, normalmente, um patrocinador executivo está a bordo, mas o suporte em toda a empresa pode ser irregular. Muitas vezes, o patrocinador está na organização de TI e não no negócio. A mentalidade é geralmente em torno da experimentação. A equipe encarregada de explorar o Big Data está tentando determinar o topo problemas de negócios para resolver e pode ter trazido alguns parceiros de negócios para ajudar com isso. A empresa normalmente utiliza *Analytics* como parte de seu processo de tomada de decisão em vários departamentos, mas a empresa em si não é necessariamente orientada por análise. Em algumas empresas, nesta fase, pode até haver ceticismo em torno de Big Data e *Analytics*. Durante a fase de pré-adoção, a organização está começando a fazer sua lição de casa sobre Big Data e *Analytics*.
- d) Nível 3: Estabelecido. Neste ponto, geralmente há pelo menos um patrocinador executivo envolvido. Contudo, também é nesse estágio que mais executivos podem começar a se interessar pelo programa. Como a organização fica animada com as perspectivas de grandes dados, mais pessoas começam a embarcar. Isso significa que uma equipe é estabelecida para começar a planejar e criar estratégias para um escopo de Big Data mais amplo. Neste estágio de maturidade, as organizações terão os dados coletados como arquivos de diferentes formatos, potencialmente com padrões de divisão ou empresa para gerenciamento de nomes e armazenamento. Nesta fase, a organização não está lançando dados a menos que haja uma finalidade específica para fazer. No

entanto, uma estratégia sólida de gerenciamento de Big Data em toda a empresa normalmente não está em vigor.

- e) Nível 4: Previsível. A adoção corporativa é a principal fase de transição na jornada de big data de qualquer organização. Durante adoção corporativa, os usuários finais geralmente se envolvem, obtêm insights e transformam tanto a forma quanto o negócio. Por exemplo, eles podem mudar a forma como as decisões são tomadas através da operacionalização de Big Data na organização. A maioria das organizações que tentam alcançar esse estágio de maturidade podem ter abordado repetidamente lacunas na organização, infraestrutura, gerenciamento de dados, análise e governança. Nesta fase, a empresa geralmente percebe que a análise é uma ferramenta competitiva. A inovação na análise de dados e dados é um valor central e prevalece uma cultura de análise.
- f) Nível 5: Otimizado. A empresa visionária exibe várias características. Primeiro, os executivos compraram em *Analytics* e Big Data e veem como um padrão essencial de como fazer negócios. A análise é vista como uma arma competitiva e a mentalidade é criativa. Em segundo lugar, a análise não é simplesmente usada para conduzir estratégia ou insight; em vez disso, a empresa está sempre procurando oportunidades para usar análises de novas maneiras. De fato, uma característica fundamental de uma empresa visionária é que ela é continuamente determinada em busca novas maneiras de usar e criar valor a partir de análises. Finalmente, a colaboração é uma grande parte a cultura.

3.1.7 Computação na Nuvem

Computação em nuvem é um modelo para permitir acesso livre a uma vasta quantidade de informações compartilhadas através de recursos computacionais configuráveis que podem ser rapidamente provisionados e liberados com um esforço mínimo de gerenciamento ou interação com o provedor de serviços (HEIDRICH et al., 2017). Para medir o nível de maturidade no uso da computação na nuvem, o modelo usado foi o padrão, Gökalp (2017). Nesse modelo foi proposta uma avaliação em 5 níveis sendo: nível 1 – Realizado; nível 2 – Gerenciado; nível 3 – Estabelecido; nível 4 – Previsível; nível 5 – Otimizado.

Detalhamento do modelo:

- a) Nível 0: Inexistente.
- b) Nível 1: Realizado. Neste nível inicial, envolve o uso da nuvem para uma única peça simples de um aplicativo para testar como os serviços de nuvem funcionam. Geralmente, o primeiro serviço usado é uma solução de armazenamento. Esse nível

geralmente começa como uma experiência única, em que uma ou mais equipes realizam migrações independentes. Nenhuma política de nuvem é criada neste momento, ao invés, é tudo sobre descobrir exatamente o que é a nuvem.

- c) Nível 2: Gerenciado. O nível 2 é um ponto de evolução na cultura de nuvem de uma organização, pois começa a envolver disciplinas em toda a empresa - jurídica, finanças, segurança e outras áreas. É quando as políticas sobre como a nuvem podem ser usadas dentro de uma empresa começam a ser formadas. Toda a empresa é envolvida e todas as partes interessadas participam.
- d) Nível 3; Estabelecido. O terceiro estágio da maturidade da nuvem ocorre quando uma organização começa a substituir servidores no local e outros recursos pelos serviços na nuvem. O resultado desse nível deve ser um entendimento de como a nuvem funciona do ponto de vista de um sistema inteiro. Esse é o ponto em que a organização começa a aproveitar as vantagens de usar a nuvem e podem utilizar serviços gerenciados na nuvem. Toda a cadeia tem acesso a nuvem podendo compartilhar informações e softwares de planejamento e previsão são usados de forma compartilhada.
- e) Nível 4: Previsível. Quando uma empresa se torna uma organização habilitada para nuvem, ela pode aproveitar os serviços específicos de nuvem de alto valor. Eles incluem computação sem servidor, bancos de dados e outros serviços. O conceito de nuvem dinâmica é incorporado nos processos de desenvolvimento e gerenciamento de softwares da organização.
- f) Nível 5: Otimizado. Este é o nível de maturidade final da adoção da nuvem. Quando uma organização atinge o nível 5, a nuvem atende à maioria das necessidades do centro de dados, se não todas, e fornece serviços adicionais de valor agregado. softwares usam como padrão a execução na nuvem, em vez de serem executados em um data center. Existem decisões sendo tomadas de forma autônoma através de softwares que estão sendo compartilhados e na nuvem.

3.1.8 Manufatura Aditiva

O método usado para medir a maturidade deste pilar tecnológico é o proposto por Gökalp et al. (2017). Foi usado o modelo padrão para a definição dos níveis e também o trabalho de Lamontagne (2016) para a descrição de cada nível. Modelo proposto avaliação em 6 níveis sendo: nível 0 – inexistente; nível 1 – Realizado; nível 2 – Gerenciado; nível 3 – Estabelecido; nível 4 – Previsível; nível 5 – Otimizado.

Segue detalhamento do método:

- a) Nível 0: Inexistente.
- b) Nível 1: Realizado. Manufatura aditiva é usada ocasionalmente, mas não integrado com o desenvolvimento de produto ou processo. Os funcionários têm ouvido sobre mais usos típicos, materiais e possibilidade de formas. A organização possui uma impressora 3D ou utiliza serviço de terceiro. Os funcionários têm uma compreensão básica de arquivos CAD, formatos e características, mas não de software específico de Manufatura aditiva.
- c) Nível 2: Gerenciado. Manufatura aditiva é ocasionalmente usada para várias aplicações. Técnicas de prototipagem para observar tamanho e forma são usados. Uma metodologia de integração de desenvolvimento de produto e processo é usado. Os funcionários têm uma maior compreensão dos padrões da manufatura aditiva. Software específico de geração processo 3d é conhecido, mas não amplamente utilizado.
- d) Nível 3: Estabelecido. A Manufatura aditiva é usada frequentemente. As peças desenhadas para aplicações especiais são obtidas a partir de experiências como a impressão 3D. Uso para selecionar processos de manufatura. Existe metodologia de integração da manufatura aditiva com outros processos. Neste estágio as impressoras 3D compõem o parque de máquinas da empresa de forma efetiva.
- e) Nível 4: Previsível. Regras de design são aplicadas no que diz respeito a como usar a Manufatura aditiva. Peças são projetadas e seu potencial é explorado por novos materiais experienciados pela manufatura aditiva. Várias ferramentas são usadas para melhor beneficiar os engenheiros no desenvolvimento de novos produtos e processos. Aqui as impressoras estão integradas com os demais equipamentos e sistemas da organização.
- f) Nível 5: Otimizado. Neste último nível, a Manufatura aditiva está integrada com os processos de desenvolvimento de produtos e processos. É possível a mudança de peças de forma autônoma.

3.1.9 Segurança Digital

O método usado para medir a maturidade da segurança digital, é o proposto por Saleh (2011) juntamente com o modelo padrão. É composto por seis níveis de maturidade sendo: nível 0 inexistente; nível 1 – Realizado; nível 2 – Gerenciado; nível 3 – Estabelecido; nível 4 – Previsível; nível 5 – Otimizado.

Detalhamento dos níveis:

- a) Nível 0: Inexistente.
- b) Nível 1: Realizado. Este estado é o ponto de partida para qualquer organização. Enquanto uma organização estiver consciente sobre as ameaças que seus sistemas de informação enfrentam, então, essa organização é considerada no estado inicial de conformidade. As organizações reconhecem os riscos do negócio devido a vulnerabilidades, mas não tem políticas ou procedimentos definidos para proteger a organização. Além disso, a organização teria pouca implementação prática em sistemas de segurança. O controle mais implementado será reativo e não planejado. Os objetivos no estado inicial são geralmente centrados nas atividades empresariais da organização e a atenção está focada em proteger a organização. Este estado é caracterizado pela inexistência de políticas e procedimentos para garantir o negócio. A administração não considera investir em sistemas relacionados à segurança necessários para os negócios. Além disso, a organização não avalia o impacto comercial de suas vulnerabilidades e não entende os riscos envolvidos devido a essas vulnerabilidades.
- c) Nível 2: Gerenciado. A segurança dos sistemas e da rede é implementada, mas as alterações não são gerenciadas centralmente. Nesse estado, as organizações confiam na interação entre o usuário e os sistemas. Os programas de conscientização de segurança estão sendo considerados apenas para recursos-chave. Os procedimentos de segurança de TI são informalmente definidos e algumas avaliações de risco são realizadas. Além disso, as responsabilidades pela segurança de TI foram atribuídas, mas a aplicação é inconsistente. Alguns testes de intrusão e detecção também podem ser realizados. Um processo fundamental para a maioria dos sistemas é a interação entre o sistema e o usuário. As organizações não classificam seus usuários como ameaças aos seus sistemas.
- d) Nível 3: Estabelecido. Esse estado é caracterizado pelo gerenciamento central de todos os problemas e políticas relacionados à segurança. Usuários são confiáveis, mas suas interações com os sistemas são vistas como vulnerabilidade. Políticas de segurança estão em vigor e procedimentos em conjunto com mecanismos de execução adequados para ajudar na conscientização e cumprimento. Controles de acesso são obrigatórios e são monitorados de perto. As medidas de segurança são introduzidas em um custo/benefício e conceito de propriedade estão em vigor. Eles usam senhas diferentes para diferentes aplicativos e têm frequentes alterações de senha, o que reduz a capacidade dos usuários de lembrar senhas e aumenta práticas inseguras de trabalho, como escrever senhas. Para as organizações garantirem as interações com seus sistemas,

a comunicação entre a equipe de segurança e os usuários deve ocorrer para manter os usuários informados sobre possíveis ameaças.

- e) Nível 4: Previsível. Este estado é caracterizado por ter controle sobre as necessidades de segurança da organização, monitorando sistemas, ciente das ameaças e faz benchmarking, comparando a própria organização com outras organizações e padrões internacionais. Além disso, uma função abrangente de segurança foi estabelecida que é ao mesmo tempo rentável e eficiente, o que proporciona uma implementação de alta qualidade. Existe um plano abrangente com políticas e procedimentos formais para prevenir, detectar e corrigir assuntos relacionados. Além disso, a governança corporativa está alinhada com as necessidades de segurança de uma organização.
- f) Nível 5: Otimizado. Neste último nível de maturidade, já são possíveis correções de riscos de forma autônoma. O sistema é evoluído a ponto de melhorar a sua proteção sem a intervenção humana.

3.1.10 Realidade aumentada

O método proposto para medir o nível de maturidade do pilar tecnológico da realidade aumentada, foi o proposto por Gökalp et al. (2017). Neste método os níveis são definidos por seis níveis de maturidade sendo: nível 0 – inexistente; nível 1 – Realizado; nível 2 – Gerenciado; nível 3 – Estabelecido; nível 4 – Previsível; nível 5 – Otimizado.

Detalhamento do método:

- a) Nível 1: Realizado. Neste nível inicial, verifica se a empresa já possui algum equipamento ou software para a realidade aumentada. O que procura neste estágio é se a empresa conhece esta tecnologia. Os funcionários tiveram algum contato com a tecnologia por meio de palestras ou internet.
- b) Nível 2: Gerenciado. Aqui a organização já possui alguma aplicação desta tecnologia. Ainda de forma isolada, fora do sistema produtivo e de modo experimental.
- c) Nível 3: Estabelecido. No status de estabelecido a realidade aumentada faz parte do sistema produtivo da empresa. Sendo usada em operações de produção como instrução ou inspeção, ou em situações de manutenção.
- d) Nível 4: Previsível. Neste ponto é possível se verificar a integração com outros sistemas da companhia. Esta integração tem como objetivo ter as correções

realizadas de modo mais rápidas. Sistemas de correção de problemas remoto é implantado.

- e) Nível 5: Otimizado. Neste último estágio o sistema de realidade aumentada é capaz de apontar possíveis falhas e informar o usuário. Está totalmente integrado com os demais sistemas da empresa. Como o sistema de qualidade e de desenvolvimento de novos produtos e processos.

3.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO

O ambiente proposto para a aplicação da metodologia foi nas unidades industriais das empresas Randon. A aplicação da medição de maturidade no uso de tecnologias em um ambiente de indústria 4.0 foi realizada em cinco unidades industriais do grupo. As unidades escolhidas foram: i) Randon Implementos Matriz; ii) Randon Implementos Araraquara; iii) Jost Brasil; iv) Master; e v) Fras-le.

A escolha dessas unidades se deu com o objetivo de contemplar diferentes perfis de empresas. Onde se tem empresas que mesclam equipamentos mais antigos com algum mais modernos, que é o caso da Implementos matriz e Fras-le, uma montadora e outra autopeças. Uma unidade mais nova que é o caso da unidade de Araraquara. Uma empresa que tem uma estratégia visível de automatização que é o caso da JOST Brasil.

A medição foi realizada pelo autor acompanhado por engenheiros e gestão da área de engenharia industrial das empresas. Para a realização da avaliação, o método de medição proposto foi transformado em um checklist, onde cada item do modelo foi verificado a sua existência na empresa. Se considerou nível atendido quanto todos os componentes de cada item fossem atendidos.

Após a verificação presencial foi realizado um encontro de fechamento entre autor e as pessoas das áreas indústrias das empresas. Nesse encontro foi alinhado se o nível de maturidade de cada item estava em comum acordo. A aplicação da medição aconteceu entre os meses de setembro e outubro de 2018.

4 RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos na medição do nível de maturidade provenientes da aplicação do método proposto em cinco empresas do grupo de empresas Randon. Na primeira seção serão apresentados e analisados os resultados de maturidade obtidos, posteriormente os resultados foram comparados, após há uma discussão a respeito dos resultados e por fim as implicações gerenciais com as proposições para a empresa para os próximos passos.

4.1 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O trabalho foi desenvolvido através de uma verificação de campo. Usando as características descritas no modelo. A medição foi realizada em três empresas com os resultados obtidos descritos a seguir.

4.1.1 Randon Implementos Caxias do Sul

O primeiro resultado apresentado é o encontrado na Randon Implementos, unidade de Caxias do Sul. Essa unidade é responsável pela produção de semirreboques comercializados em todo o país e em parte do mundo para onde a empresa exporta seus produtos. A empresa produz nessa unidade componentes que são utilizados nas outras unidades do grupo. Uma das características dessa fábrica é que parte de seu prédio é de 1975, portanto, tem 43 anos de atividade. Nesse período de funcionamento, passou por inúmeras ampliações e substituições de equipamentos. É possível encontrar em seu parque fabril equipamentos de última geração operando juntamente com equipamentos mais antigos. O prédio industrial tem 76.100 metros quadrados e trabalham dois mil funcionários. É possível visualizar nessa unidade os processos: i) fabricação de peças; ii) montagem e solda; iii) pintura e iv) montagem final.

Detalhamento do nível de maturidade encontrado em cada pilar tecnológico:

4.1.1.1 Sistemas ciber físicos

Para medir a maturidade deste pilar tecnológico, buscou-se encontrar sistemas integrados por meio de sistemas ciber físicos. A situação encontrada foi que a empresa possui alguns sistemas sensorizados, porém de forma isolada em máquinas e equipamentos. A

infraestrutura está preparada em grande parte e algumas informações podem ser utilizadas por meio da integração futura com um sistema centralizado. A arquitetura de rede está padronizada (Ethernet), assim como o método de troca de dados via driver OPC.

Com essa situação o nível de maturidade definido neste pilar foi o de nível um, realizado. Ou seja, possui as condições para a implantação de um sistema ciber físico, entretanto, ainda está a nível de equipamento. Para avançar para o próximo nível, alguns destes equipamentos devem estar integrados criando sistemas, ainda de forma isolada, mas formando um sistema integrado.

4.1.1.2 Integração vertical e horizontal

A integração vertical e horizontal necessita de um software de MES (*Manufacturing Execution System*), sem esse software é impossível a integração da fábrica com outros sistemas da empresa de forma vertical e também a integração com a cadeia de valor de forma horizontal. Atualmente não possui integração com um sistema MES.

Os dados de máquinas e equipamentos são tratados de forma isolada por meio de um sistema supervisor SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), O projeto MES está em andamento, com previsão de implementação da primeira fase piloto até julho de 2019. Com essa situação a definição de nível de maturidade deste pilar ficou como inexistente. O passo para avançar de nível é a implantação do MES.

4.1.1.3 Internet das coisas (IoT)

No pilar tecnológico da IoT o que se buscou foi a existência de alguma rede de comunicação, interna ou externa com ou sem o uso da internet. A situação encontrada foi que existem equipamentos ligados em rede, sendo a grande maioria em rede interna Ethernet. Um exemplo é o uso de um sistema supervisor SCADA. Esse supervisor é utilizado para monitorar algumas máquinas e equipamentos como a estação de tratamento de efluentes da empresa e também um grupo de compressores. No entanto, essa forma de trabalhar com rede é ainda de forma isolada.

O nível de maturidade definido foi o nível dois, gerenciado. Neste estágio a empresa utiliza a IoT de forma isolada, sem integração entre sistemas e internamente. Para avançar para o nível três é necessário que estes sistemas estejam integrados, gerando informações e

recebendo a mesma via rede. O plano para que isso aconteça já está sendo executado por parte da empresa que é a implantação do sistema MES.

4.1.1.4 Robôs Autônomos

Para a avaliação de maturidade quanto ao uso da robótica autônoma, buscou-se entender como a organização trata do tema automação com o uso de robôs de modo geral. A situação encontrada foi que a unidade possui quinze robôs articulados distribuídos em onze células robotizadas, porém sem tecnologia cooperativa ou trabalho autônomo. Os robôs são aplicados em processos de soldagem, manipulação de peças para dobradeira e jateamento de granalha.

Devido à situação encontrada o nível de maturidade definido foi o nível um, realizado. Para estar neste nível é necessário que a empresa faça uso de robôs em seu processo produtivo, situação essa que foi encontrada. Para avançar nesse pilar tecnológico, é necessário o uso da tecnologia autônoma nos robôs em uso, ainda que de modo isolado.

4.1.1.5 Simulação

A simulação foi um dos pilares tecnológicos da I4.0 que teve mais avanço percebido na empresa. Aplicações de softwares de simulação de layout e processo de produção são usados com frequência e já fazem parte do processo de desenvolvimento de processo da engenharia industrial. O software de simulação de processo *Plant simulator* e o de layout *3D Factory Design*, são alguns exemplos de uso de simulação encontrado.

O nível de maturidade definido para esse pilar tecnológico foi o três, estabelecido, pela razão da organização ter um processo estabelecido de simulação e este processo fazer parte do desenvolvimento da empresa. No entanto esse processo acontece de forma isolada nas áreas de desenvolvimento da empresa, para o próximo passo de evolução desse pilar é necessário que toda a empresa seja simulada e integrada de modo virtual.

4.1.1.6 Big Data

O conceito de Big Data está em fase inicial, a empresa está em busca do entendimento da tecnologia e seus benefícios. Algumas bases de dados são alimentadas por máquinas conectadas à rede corporativa via rede Ethernet, porém os dados não são analisados de forma periódica e padronizada. Existem experiências realizadas para o uso desta tecnologia. Um

exemplo é o projeto que usa dados de segurança em um software de big data com o objetivo de entender melhor as causas de acidentes.

O nível de maturidade percebido foi o um, realizado, ou seja, está em um estágio inicial, porém já com a consciência em algumas pessoas dos possíveis ganhos do uso desta tecnologia. Para o próximo nível é necessário um projeto que abranja toda a empresa. O projeto MES será a base para alimentação de dados do chão de fábrica, possibilitando que o sistema central MES realize análise destes dados ou disponibilize em nuvem para que softwares específicos possam realizar esta análise.

4.1.1.7 Computação na nuvem

O serviço em nuvem é conhecido, principalmente pelo departamento de TI. Parte do sistema ERP atualmente roda em nuvem, utilizando servidores remotos da Tivit. Outros processos estão sendo avaliados para migração, porém ainda em fase de estudos.

Como existem os processos avançados, o uso computação em nuvem, e com uso de forma compartilhada de informações e sistemas, o nível de maturidade definido foi o três, estabelecido. O avanço se dará quando a organização usar serviços como computação sem servidor e banco de dados na nuvem.

4.1.1.8 Manufatura Aditiva

Para a avaliação de nível de maturidade no pilar tecnológico manufatura aditiva, buscou-se a existência e o uso de impressoras 3D. A situação encontrada foi que a empresa possui uma impressora 3D de baixo porte para prototipagem, porém com uso ocasional. Essa impressora é utilizada pela engenharia de produtos para prototipagem de peças em escala. Alguns projetos que demandam uma melhor visualização de sua forma geométrica passam por essa impressora.

O nível de maturidade definido foi o nível um, realizado. Significa que a manufatura aditiva é usada ocasionalmente, mas não integrada com o desenvolvimento de produto ou processo. Os funcionários têm ouvido sobre mais usos típicos e a organização possui uma impressora 3D. O próximo nível acontece quando os funcionários têm uma maior compreensão dos padrões da manufatura aditiva e suas aplicações estão nas diversas áreas.

4.1.1.9 Segurança Digital

Existem políticas de segurança de rede definidas. O sistema é centralizado e monitorado pelo departamento de TI. Existem controles de acesso interno e externo, sendo que o acesso remoto à máquinas e equipamentos é realizado somente via VPN padrão Randon. Alguns ataques são realizados de forma periódica, visando detectar possíveis falhas no sistema de segurança.

Nesse pilar, a exemplo da computação na nuvem a área de tecnologia da informação concentra as ações e planos. O nível percebido foi dois gerenciado. A segurança dos sistemas e da rede é implementada, mas as alterações não são gerenciadas centralmente.

4.1.1.10 Realidade Aumentada

As aplicações do pilar tecnológico de realidade aumentadas acontecem de modo isolado e experimental. A realidade aumentada tem sua aplicação inicial com a inauguração de um laboratório de realidade aumentada, usado para simulação de processos e produto.

O nível de maturidade percebido do uso deste pilar tecnológico foi o nível um, realizado. A organização está iniciando a jornada no uso desta tecnologia e seus funcionários conhecem os benefícios de sua aplicação. O nível mais avançado vai acontecer quando a empresa tiver uma aplicação prática da realidade aumentada.

Quadro 5 – Resultado Randon Implementos Caxias

Modelo de medição de maturidade dos pilares tecnológicos da I4.0				
		Nível encontrado		Situação encontrada
Pilares Tecnológicos	Sistemas	1	Realizado	Possui alguns sistemas sensorizados, porém de forma isolada em máquinas e equipamentos. A infraestrutura está preparada em grande parte e algumas informações podem ser utilizadas por meio da integração futura com um sistema centralizado. A arquitetura de rede está padronizada (Ethernet), assim como o método de troca de dados via driver OPC.
	Ciber			
	Físicos			

Integração Vertical e Horizontal	0	Inexistente	Atualmente não possui integração com um sistema MES. Os dados de máquinas e equipamentos são tratados de forma isolada por meio de um sistema supervisório (SCADA). O projeto MES está em andamento, com previsão de implementação da primeira fase (piloto) até julho de 2019.
Internet das Coisas	2	Gerenciado	Existem equipamentos ligados em rede, sendo a grande maioria em rede Ethernet. O sistema supervisório (SCADA) monitora algumas máquinas de forma isolada.
Robôs Autônomos	1	Realizado	Possui 15 robôs articulados distribuídos em 11 células robotizadas, porém sem tecnologia cooperativa ou trabalho autônomo. Os robôs são aplicados em processos de soldagem, manipulação de peças para dobradeira e jateamento de granalha.
Simulação	3	Estabelecido	Utilizado o <i>Plant simulator</i> (Siemens) para as simulações do layout macro. <i>Factory Design</i> (AutoDesk) para a definição de micro layout e simulação de fluxo produtivo. Possibilidade de monitorar e verificar status de equipamentos a traves de um sistema SCADA.
Big Data	1	Realizado	O conceito de Big Data está em fase inicial, onde a empresa está em busca do entendimento da tecnologia e seus benefícios. Algumas bases de dados são alimentadas por máquinas conectadas à rede corporativa via rede Ethernet, porém os dados não são analisados de forma periódica e padronizada. O projeto MES será a base para alimentação de dados do chão de fábrica, possibilitando que o sistema central MES realize análise destes dados ou

			disponibilize em nuvem para que softwares específicos possam realizar esta análise.
Computação na Nuvem	3	Estabelecido	O serviço em nuvem é conhecido, principalmente pelo departamento de TI. Parte do sistema ERP (SAP) atualmente roda em nuvem, utilizando servidores remotos da TIVIT. Outros processos estão sendo avaliados para migração, porém ainda em fase de estudos. Processos de troca de dados em tempo real, como o MES por exemplo, não irá rodar em nuvem, visto a necessidade de alta performance exigida pela rede.
Manufatura Aditiva	1	Realizado	A empresa possui uma impressora 3D de baixo porte para prototipagem, porém com uso ocasional.
Segurança Digital	2	Gerenciado	Existem políticas de segurança de rede definidas. O sistema é centralizado e monitorado pelo departamento de TI. Existem controles de acesso interno e externo, sendo que o acesso remoto à máquinas e equipamentos é realizado somente via VPN padrão Randon. Alguns ataques são realizados de forma periódica, visando detectar possíveis falhas no sistema de segurança.
Realidade Aumentada	1	Realizado	Possui aplicações isoladas de simulação de layout fabril por meio de realidade virtual. A realidade aumentada aplicação inicial com a inauguração de um laboratório de realidade aumentada usado para simulação de processos e produto.

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

4.1.2 Randon Implementos Araraquara

O próximo local de aplicação do método foi a unidade da Randon Implementos na cidade de Araraquara. Essa é a unidade fabril mais recente da empresa com a sua inauguração em março de 2018. Nessa unidade são produzidos semirreboques canavieiros e furgões sider também toda a linha de vagões ferroviários comercializados pela empresa. No layout industrial dessa fábrica foi priorizado o fluxo, com isso o arranjo industrial proporcionou uma linha longa (560 metros), onde os processos de montagem, solda, pintura e montagem final estão dispostos ao longo da mesma linha. O parque de máquinas é uma mescla de equipamentos transferidos de outras fábricas do grupo e equipamentos novos que são a maioria.

A Randon Implementos trabalha com as suas unidades de uma forma chamada por ela de “Gestão Matricial”. Nesse modelo os projetos, modelos de trabalho e alguns sistemas e softwares estão centralizados na matriz. As unidades reproduzem este modelo em suas fábricas e tem a autonomia de melhorar seus processos. Por conta disso alguns pilares tecnológicos medidos na unidade de Araraquara serão os mesmos da matriz.

Detalhamento do nível de maturidade encontrado em cada pilar tecnológico:

4.1.2.1 Sistemas ciber físicos

Para medir a maturidade deste pilar tecnológico, se buscou encontrar sistemas integrados por meio de sistemas ciber físicos. A situação encontrada nesta unidade foi que possui alguns sistemas sensorizados, a maior parte desses sistemas estão isolados em máquinas e equipamentos. No entanto, possui um sistema que integra máquinas e equipamentos. Este sistema está presente no processo de pintura integrando jato, sistema de movimentação, estufa e cabines de pintura.

Com essa situação o nível de maturidade definido neste pilar foi o de nível dois, gerenciado. Pois, possui as condições para a implantação de um sistema ciber físico, e apresenta um sistema que integra quatro equipamentos distintos. Para avançar para o próximo nível, este sistema e/ou outro devem estar integrados com o sistema principal da empresa gerando informações e recebendo informações desse sistema. Este próximo passo será possível com a implantação de um software de MES.

4.1.2.2 Integração vertical e horizontal

A integração vertical e horizontal necessita de um software de MES (*Manufacturing Execution System*), sem esse software é impossível a integração da fábrica com outros sistemas da empresa de forma vertical e também a integração com a cadeia de valor de forma horizontal. Atualmente não possui integração com um sistema MES.

Os dados de máquinas e equipamentos são tratados de forma isolada por meio de um sistema supervisorio SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), O projeto MES está em andamento, com previsão de implementação da primeira fase piloto até julho de 2019. Com essa situação a definição de nível de maturidade deste pilar ficou com inexistente. O passo para passar para o nível é a implantação do MES. A unidade de Araraquara fará parte da fase piloto do projeto MES.

4.1.2.3 Internet das coisas

No pilar tecnológico da IoT o que se buscou foi a existência de alguma rede de comunicação, interna ou externa com ou sem o uso da internet. A situação encontrada foi que existe uma rede instalada com condições para o uso, entretanto, ainda desligada. Um sistema supervisorio SCADA está em processo de instalação, quando em funcionamento fará monitoramento do sistema de pintura.

O nível de maturidade definido foi o nível um, realizado. Neste estágio a empresa tem as condições, porém, não utiliza a IoT. Para avançar para o nível dois a ação necessária é o funcionamento do supervisorio. Esse software utilizará a rede interna ethernet para o seu funcionamento.

4.1.2.4 Robôs autônomos

Para a avaliação de maturidade do pilar tecnológico robótica autônoma, buscou-se entender como a organização trata o tema automação com o uso de robôs de modo geral. A situação encontrada foi que a unidade possui dez robôs articulados, distribuídos em quatro células robotizadas. Porém, não foi constatado o uso da tecnologia cooperativa ou trabalho autônomo nessas células. Os robôs são aplicados em processos de soldagem e jateamento de granalha.

Devido a situação encontrada o nível de maturidade definido foi o nível um, realizado. Para esta neste nível é necessário que a empresa faça uso de robôs em seu processo produtivo, situação essa que foi encontrada. Para avançar nesse pilar tecnológico, é necessário o uso da tecnologia autônoma nos robôs em algum dos em uso, mesmo que seja de modo isolado.

4.1.2.5 Simulação

A simulação foi um dos pilares tecnológicos da I4.0 que teve mais avanço percebido na empresa e com reflexo nas suas unidades industriais. Aplicações de softwares de simulação de layout e processo de produção são usados com frequência e já fazem parte do processo de desenvolvimento de processo da engenharia industrial. O software de simulação de processo *Plant simulator* e o de layout *3D Factory Design*, são alguns exemplos de uso de simulação encontrado. O layout da unidade de Araraquara foi um dos projetos em que a simulação de layout e processo produtivo, foi realizada.

O nível de maturidade definido para esse pilar tecnológico foi o três, estabelecido. Pela razão da organização ter um processo estabelecido de simulação e este processo fazer parte do desenvolvimento da empresa. No entanto esse processo acontece de forma isolada nas áreas de desenvolvimento da empresa, para o próximo passo de evolução desse pilar é necessário que toda a empresa seja simulada e integrada de modo virtual.

4.1.2.6 Big data

O conceito de Big Data está em fase inicial, onde a empresa está em busca do entendimento da tecnologia e seus benefícios. Existe experiências realizadas para o uso desta tecnologia, essas experiências são realizadas na matriz com reflexo na unidade de Araraquara.

O nível de maturidade percebido foi o um, realizado, ou seja, está em um estágio inicial, porem já com a consciência em algumas pessoas dos possíveis ganhos do uso desta tecnologia. Para o próximo nível é necessário um projeto que abranja toda a empresa. O projeto MES será a base para alimentação de dados do chão de fábrica, possibilitando que o sistema central MES realize análise destes dados ou disponibilize em nuvem para que softwares específicos possam realizar esta análise.

4.1.2.7 Computação na nuvem

O serviço em nuvem é conhecido, principalmente pelo departamento de TI. Parte do sistema ERP atualmente roda em nuvem, utilizando servidores remotos da Tivit (empresa fornecedora de serviços de computação). Outros processos estão sendo avaliados para migração, porém ainda em fase de estudos.

Como existe os processos avançados o uso computação em nuvem, e com uso de forma compartilhada de informações e sistemas, o nível de maturidade definido foi o três, estabelecido. O avanço se dará quando a organização usar serviços como computação sem servidor e banco de dados na nuvem.

4.1.2.8 Manufatura aditiva

Para a avaliação de nível de maturidade no pilar tecnológico manufatura aditiva, se buscou a existência e o uso de impressoras 3D. A situação encontrada foi que a empresa possui uma impressora 3D de baixo porte para prototipagem, porém com uso ocasional. Essa impressora é utilizada pela engenharia de produtos para prototipagem de peças em escala. Alguns projetos que demandam uma melhor visualização de sua forma geométrica passam por essa impressora.

O nível de maturidade definido foi o nível um, realizado. Significa que a manufatura aditiva é usada ocasionalmente, mas não integrado com o desenvolvimento de produto ou processo. Os funcionários têm ouvido sobre mais usos típicos e a organização possui uma impressora 3D. A impressora 3D da empresa fica localizada na matriz em Caxias do Sul, foi considerada também para Araraquara pela razão dos projetos de produto e também de processo serem feitos de modo centralizado em Caxias. O próximo nível acontece quando os funcionários têm uma maior compreensão dos padrões da manufatura aditiva e suas aplicações estão nas diversas áreas.

4.1.2.9 Segurança digital

Existem políticas de segurança de rede definidas. O sistema é centralizado e monitorado pelo departamento de TI. Existem controles de acesso interno e externo, sendo que o acesso remoto à máquinas e equipamentos é realizado somente via VPN padrão Randon. Alguns ataques são realizados de forma periódica, visando detectar possíveis falhas no sistema de

segurança. Nesse pilar a exemplo da computação na nuvem a área de tecnologia da informação concentra as ações e planos.

O nível percebido foi dois gerenciado. A segurança dos sistemas e da rede é implementada, mas as alterações não são gerenciadas centralmente.

4.1.2.10 Realidade aumentada

As aplicações do pilar tecnológico de realidade aumentadas acontecem, de modo isolado e experimental. A realidade aumentada tem sua aplicação inicial com a inauguração de um laboratório de realidade aumentada, usado para simulação de processos e produto. O layout da planta de Araraquara foi um dos projetos onde foi usada a realidade virtual

O nível de maturidade percebido no uso deste pilar tecnológico foi o nível um, realizado. A organização está iniciando a jornada no uso desta tecnologia e seus funcionários das áreas técnicas conhecem os benefícios de sua aplicação. O nível dois vai acontecer quando a empresa tiver uma aplicação prática da realidade aumentada.

Quadro 6 – Resultado Randon Implementos Araraquara

Modelo de medição de maturidade dos pilares tecnológicos da I4.0				
		Nível encontrado		Situação encontrada
Pilares Tecnológicos	Sistemas Ciber Físicos	2	Gerenciado	Possui alguns sistemas sensorizados, a maior parte desses sistemas estão isolados em máquinas e equipamentos. No entanto, possui um sistema que integra máquinas e equipamentos. Este sistema está presente no processo de pintura integrando jato, sistema de movimentação, estufa e cabines de pintura.
	Integração Vertical e Horizontal	0	Inexistente	Atualmente não possui integração com um sistema MES. Os dados de máquinas e equipamentos são tratados de forma isolada por meio de um sistema supervisorio (SCADA). O projeto MES está em andamento, com previsão de implementação da primeira fase (piloto) até

			julho de 2019. A unidade de Araraquara fará parte da fase piloto.
Internet das Coisas	1	Realizado	Existem equipamentos ligados em rede, sendo grande parte via rede local ethernet. Possui sistema supervisorio usado no monitoramento de alguns equipamentos e sistemas. Existe a possibilidade de ligar via rede alguns fornecedores de equipamentos, ainda sem funcionamento.
Robôs Autônomos	1	Realizado	Possui 10 robôs divididos em 4 células, todos sem a tecnologia cooperativa. Os robôs são aplicados em processos de soldagem e jateamento. Relação de robôs por funcionário é de 1 robô para 10 funcionários.
Simulação	3	Estabelecido	Utilizado o <i>Plant simulator</i> (Siemens) para as simulações do layout macro. <i>Factor design</i> (AutoDesk) para a definição de micro layout e simulação de fluxo produtivo. Possibilidade de se verificar status de equipamentos através de um sistema supervisorio SCADA.
Big Data	1	Realizado	O conceito de Big Data está em fase inicial, onde a empresa está em busca do entendimento da tecnologia e seus benefícios. O projeto MES será a base para alimentação de dados do chão de fábrica, possibilitando que o sistema central MES realize análise destes dados ou disponibilize em nuvem para que softwares específicos possam realizar esta análise.
Computação na Nuvem	3	Estabelecido	O serviço em nuvem é conhecido, principalmente pelo departamento de TI. Parte do sistema ERP (SAP) atualmente roda em nuvem, utilizando servidores remotos da TIVIT. Outros processos estão sendo avaliados

				para migração, porém ainda em fase de estudos. Processos de troca de dados em tempo real, como o MES por exemplo, não irá rodar em nuvem, visto a necessidade de alta performance exigida pela rede.
	Manufatura Aditiva	1	Realizado	A empresa possui impressora 3D de baixo porte e utiliza na prototipagem de peças e produtos, entretanto com uso ocasional.
	Segurança Digital	2	Gerenciado	Existem políticas de segurança de rede definidas. O sistema é centralizado e monitorado pelo departamento de TI. Existem controles de acesso interno e externo, sendo que o acesso remoto à máquinas e equipamentos é realizado somente via VPN padrão Randon. Alguns ataques são realizados de forma periódica, visando detectar possíveis falhas no sistema de segurança.
	Realidade Aumentada	1	Gerenciado	Possui aplicações isoladas de simulação de layout fabril por meio de realidade virtual. A realidade aumentada aplicação inicial com a inauguração de um laboratório de realidade aumentada usado para simulação de processos e produto.

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

4.1.3 Randon Autopeças – JOST Brasil

A unidade da JOST Brasil foi outro local onde foi realizada a medição de nível de maturidade no uso dos pilares tecnológicos da indústria 4.0. A JOST Brasil foi fundada em 1995 e situa-se em Caxias do Sul. É resultado de uma *joint venture* entre a Randon S/A Implementos e Participações e a alemã JOST-Werke, que produz soluções em acoplamentos às maiores montadoras de caminhões e implementos rodoviários do mundo, sendo líder mundial em tecnologia de Quinta Roda. Nessa unidade se produz além da quinta roda, os componentes,

pino rei, aparelho de levantamento, engate de contêiner, engate automático, engate esférico, suspensor pneumático e porta-estepe.

A fábrica da JOST Brasil se caracteriza por empregar sistemas automatizados em seu processo produtivo. Como empresa integrante do grupo de empresas Randon compartilha serviços como por exemplo TI.

Detalhamento do nível de maturidade encontrado em cada pilar tecnológico nessa unidade fabril:

4.1.3.1 Sistemas ciber físicos

O objetivo de um sistema ciber é a integração entre máquinas, equipamentos e sistemas em algo único. A unidade da JOST possui um MES que tem a função de realizar essa integração. A integração vai até o nível de ERP e auxiliam nas tomadas de decisões, gerando informações de rastreabilidade, apontamento de ordens e gerenciando supervisórios.

O nível de maturidade definido neste pilar tecnológico foi o nível três, estabelecido. As informações coletadas através dos sensores e monitoradas pelo sistema ciber físico, são usadas como apoio para a tomada de decisão na organização. A organização vai atingir o próximo nível quando conseguir interagir e trocar informações em tempo real e emitir alertas de possíveis falhas.

4.1.3.2 Integração Vertical e Horizontal

No pilar tecnológico da integração vertical e horizontal, a JOST possui uma grande vantagem frente as outras empresas onde a medição foi realizada, por possuir um sistema MES. Esse sistema permite a integração vertical, principalmente integrando o ERP da empresa com sistemas do chão de fábrica.

O nível percebido quanto a integração vertical e horizontal foi o nível 1, realizado. Isso porque as máquinas e equipamentos estão integradas e gerenciadas por uma instância central, um Sistema de Execução da Manufatura (MES).

4.1.3.3 Internet das Coisas

Na medição de maturidade do pilar tecnológico da IoT se buscou foi a existência de alguma rede de comunicação, interna ou externa com ou sem o uso da internet. A situação

encontrada foi que a organização possui rede ethernet que interliga os sistemas administrativos, industriais, dada centers, impressoras, coletores de dados entre outras.

O nível de maturidade definido foi o nível quatro, previsível. Neste estágio a rede interliga não somente as máquinas e equipamentos onde é possível a coleta de informações. Também estão em rede os sistemas computacionais da empresa. Todos fazem parte de uma rede de comunicações única.

4.1.3.4 Robôs autônomos

A unidade possui quinze robôs articulados, sendo que esses estão integrados com o sistema da empresa através do MES. No entanto apesar desta integração, não foi constatado o uso da tecnologia cooperativa ou trabalho autônomo nesses equipamentos. Os robôs são aplicados em processos de soldagem e manipulação.

Devido a situação encontrada o nível de maturidade definido foi o nível um, realizado. Para esta neste nível é necessário que a empresa faça uso de robôs em seu processo produtivo, situação essa que foi encontrada. Para avançar nesse pilar tecnológico, é necessário o uso da tecnologia colaborativa em algum dos robôs.

4.1.3.5 Simulação

A simulação foi avaliada levantando aplicações de softwares de simulação de layout e processo. A situação encontrada foi que a empresa faz uso deste tipo de tecnologia, através de serviços de terceiros realizados na simulação de macro layout. O software que foi usado nessa simulação foi o *Plant simulator* da Siemens.

O nível de maturidade definido para esse pilar tecnológico foi o dois, gerenciado. Onde existe conhecimento sobre o tema simulação e os processos de engenharia iniciam a sua aplicação. Para o próximo estágio a empresa necessita de um processo estabelecido de simulação e este processo deve fazer parte do desenvolvimento de projetos da empresa.

4.1.3.6 Big data

O conceito de Big Data está em fase inicial, onde a empresa está em busca do entendimento da tecnologia e seus benefícios. O nível de maturidade percebido foi o um, realizado, ou seja, está em um estágio inicial, porem já com a consciência em algumas pessoas

dos possíveis ganhos do uso desta tecnologia. Para o próximo nível é necessário um projeto que abranja toda a empresa.

4.1.3.7 Computação na nuvem

O serviço em nuvem é conhecido, principalmente pelo departamento de TI. Parte do sistema ERP atualmente roda em nuvem, utilizando servidores remotos da Tivit. Outros processos estão sendo avaliados para migração, porém ainda em fase de estudos.

Como existe os processos avançados o uso computação em nuvem, e com uso de forma compartilhada de informações e sistemas, o nível de maturidade definido foi o três, estabelecido. O avanço se dará quando a organização usar serviços como computação sem servidor e banco de dados na nuvem.

4.1.3.8 Manufatura aditiva

A manufatura aditiva é caracterizada pela utilização de impressoras 3D. No caso da JOST, a empresa não possui uma impressora. Porém foram utilizados serviços de terceiros para a impressão 3D.

O nível de maturidade definido foi o um, realizado, significa que a manufatura aditiva é usada ocasionalmente, mas não integrada com o desenvolvimento de produto ou processo. Os funcionários têm ouvido sobre mais usos típicos, materiais e possibilidade de formas. O próximo passo para avançar nesse pilar tecnológico seria a aquisição de uma impressora e a sua utilização principalmente no processo de prototipagem.

4.1.3.9 Segurança digital

Existem políticas de segurança de rede definidas. O sistema é centralizado e monitorado pelo departamento de TI. Existem controles de acesso interno e externo, sendo que o acesso remoto à máquinas e equipamentos é realizado somente via VPN padrão Randon. Alguns ataques são realizados de forma periódica, visando detectar possíveis falhas no sistema de segurança.

Nesse pilar a exemplo da computação na nuvem a área de tecnologia da informação concentra as ações e planos. O nível percebido foi dois gerenciado. A segurança dos sistemas e da rede é implementada, mas as alterações não são gerenciadas centralmente.

4.1.3.10 Realidade aumentada

O Pilar tecnológico da realidade aumentada está em um estágio inicial da empresa. A situação atual é de implementação da tecnologia para uma aplicação nas instruções de trabalho usadas pelos operadores.

O nível de maturidade percebido no uso deste pilar tecnológico foi o nível um, realizado. A organização está iniciando a jornada no uso desta tecnologia e seus funcionários conhecem os benefícios de sua aplicação. O nível dois vai acontecer quando a empresa apresentar uma aplicação prática da realidade aumentada.

Quadro 7 - Resultado Randon Autopeças JOST Brasil

Modelo de medição de maturidade dos pilares tecnológicos da I4.0				
		Nível encontrado		Situação encontrada
Pilares Tecnológicos	Sistemas Ciber Físicos	3	Estabelecido	A empresa possui sistemas integrados ao ERP, os quais auxiliam nas tomadas de decisões (Supervisório, Rastreabilidade, Apontamento entre outros).
	Integração Vertical e Horizontal	1	Realizado	Possui um sistema de supervisório (MES) com integração vertical e horizontal ao ERP.
	Internet das Coisas	4	Previsível	Atualmente possui rede ethernet para cada nível de tecnologia (administrativas, industriais, data centers, impressoras, coletores de dados entre outras), mas todas integradas pela mesma rede.
	Robôs Autônomos	1	Realizado	Possui 15 Robôs, alguns já estão totalmente integrados com o supervisório, e outros em andamento.
	Simulação	2	Gerenciado	Utilização da simulação através da contratação de uma empresa terceirizada para a elaboração de simulações do layout macro.

	Big Data	1	Realizado	O conceito de Big Data está em fase inicial, onde a empresa está em busca do entendimento da tecnologia e seus benefícios.
	Computação na Nuvem	3	Estabelecido	Atualmente tem vários sistemas rodando na nuvem. A tendência é que cada vez mais, a empresa utilize este recurso.
	Manufatura Aditiva	1	Realizado	Empresa utilizou serviços terceirizados para impressão 3D, mas ainda não utiliza prototipagem de peças e produtos.
	Segurança Digital	2	Gerenciado	Atualmente existe uma área responsável na TI, especializada em segurança digital. A empresa também conta com políticas e procedimentos instruindo os usuários, além de iniciativas educativas e de conscientização.
	Realidade Aumentada	1	Realizado	Atualmente em processo de implementação desta tecnologia para o seu uso em instruções de trabalho.

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

4.1.4 Randon Autopeças – Master

A Master Sistemas Automotivos Ltda. foi fundada em 24 de abril de 1986, por meio de joint venture entre Randon S.A. Implementos e Participações e Meritor Inc. A empresa produz freios pneumáticos e hidráulicos, nas versões a disco e tambor, para caminhões, ônibus, reboques e semirreboques, sistemas de atuação e controle (válvulas, câmaras, spring brakes, U-ABS e ajustadores manuais e automáticos), patins de freios, eixos expansores, conjuntos suporte da câmara e aranhas de freio, entre outros.

Detalhamento do nível de maturidade encontrado em cada pilar tecnológico nessa unidade fabril:

4.1.4.1 Sistemas ciber físicos

O objetivo de um sistema ciber é a integração entre máquinas, equipamentos e sistemas em algo único. A Master possui alguns de seus processos críticos monitorados e os dados coletados armazenados localmente no próprio equipamento ou em um sistema supervisório. Os dados coletados compõem um sistema ciber físico isolado, sem uma maior integração com os sistemas da empresa, porém de grande utilidade para a verificação do status da planta.

O nível de maturidade definido neste pilar tecnológico foi o nível dois, gerenciado. As informações coletadas através dos sensores e monitoradas pelo sistema ciber físico, são usadas como apoio para a tomada de decisão na organização. Porém ainda de modo isolado. A organização vai atingir o próximo nível quando conseguir integrar esses sistemas e os mesmos fizerem parte do sistema de informações oficial da empresa.

4.1.4.2 Integração Vertical e Horizontal

No pilar tecnológico da integração vertical e horizontal, a Master não possui um sistema MES. Esse sistema é a condição básica para a integração vertical. Por conta disso se considerou como inexistente a integração vertical e horizontal.

4.1.4.3 Internet das Coisas

Na medição de maturidade do pilar tecnológico da IoT se buscou foi a existência de alguma rede de comunicação, interna ou externa com ou sem o uso da internet. A situação encontrada foi que a organização possui rede ethernet que interliga os sistemas administrativos, industriais, dada centers, impressoras, coletores de dados entre outras.

O nível de maturidade definido foi o nível um, realizado. Neste estágio a rede interna existe, porém, em uma fase inicial. Para o próximo estágio essa rede deve interligar os sistemas da empresa.

4.1.4.4 Robôs autônomos

A unidade possui quatro robôs articulados. Os robôs são aplicados em processos de soldagem e manipulação. Desses não foi constatada a existência da tecnologia da robótica autônoma.

Devido a situação encontrada o nível de maturidade definido foi o nível um, realizado. Para esta neste nível é necessário que a empresa faça uso de robôs em seu processo produtivo, situação essa que foi encontrada. Para avançar nesse pilar tecnológico, é necessário o uso da tecnologia colaborativa em algum dos robôs.

4.1.4.5 Simulação

Nesse pilar tecnológico a Master tem uma experiência inicial em seu uso. A situação encontrada foi que a empresa faz uso deste tipo de tecnologia, através de serviços de terceiros realizados em simulações de layout. O software que foi usado nessa simulação foi o *Plant simulator* da Siemens.

O nível de maturidade definido para esse pilar tecnológico foi o um, realizado. Onde existe conhecimento e inicia o contato com a tecnologia. Para o próximo estágio a empresa necessita de uma aplicação da simulação.

4.1.4.6 Big data

O conceito de Big Data está em fase inicial, onde a empresa está em busca do entendimento da tecnologia e seus benefícios. O nível de maturidade percebido foi o um, realizado, ou seja, está em um estágio inicial, porém já com a consciência em algumas pessoas dos possíveis ganhos do uso desta tecnologia. Para o próximo nível é necessário um projeto que abranja toda a empresa.

4.1.4.7 Computação na nuvem

O serviço em nuvem é conhecido, principalmente pelo departamento de TI. Parte do sistema ERP atualmente roda em nuvem, utilizando servidores remotos da Tivit. Outros processos estão sendo avaliados para migração, porém ainda em fase de estudos.

Como existe os processos avançados o uso computação em nuvem, e com uso de forma compartilhada de informações e sistemas, o nível de maturidade definido foi o três, estabelecido. O avanço se dará quando a organização usar serviços como computação sem servidor e banco de dados na nuvem.

4.1.4.8 Manufatura aditiva

A manufatura aditiva é caracterizada pela utilização de impressoras 3D. No caso da Master, este pilar tecnológico ainda é desconhecido, nesse caso considerado com inexistente o nível de maturidade.

4.1.4.9 Segurança digital

Existem políticas de segurança de rede definidas. O sistema é centralizado e monitorado pelo departamento de TI. Existem controles de acesso interno e externo, sendo que o acesso remoto à máquinas e equipamentos é realizado somente via VPN padrão Randon. Alguns ataques são realizados de forma periódica, visando detectar possíveis falhas no sistema de segurança.

Nesse pilar a exemplo da computação na nuvem a área de tecnologia da informação concentra as ações e planos. O nível percebido foi dois gerenciado. A segurança dos sistemas e da rede é implementada, mas as alterações não são gerenciadas centralmente.

4.1.4.10 Realidade aumentada

O Pilar tecnológico da realidade aumentada, não aplicação atualmente na Master. Foi considerado como nível inexistente.

Quadro 8 – Resultado Randon Autopeças - Master

Modelo de medição de maturidade dos pilares tecnológicos da I4.0				
		Nível encontrado		Situação encontrada
Pilares Tecnológicos	Sistemas	2	Gerenciado	Muitos processos críticos da empresa são sensorizados e geram dados importantes para o monitoramento dos equipamentos. Essas informações ficam armazenadas localmente em computadores da linha ou isoladas nos sistemas supervisórios de cada célula, mas servem ao propósito de monitoramento a partir desses sensores que indicam aos
	Ciber Físicos			

				operadores e analistas da fábrica o status dos equipamentos.
Integração Vertical e Horizontal	0	Inexistente		Em algumas células os sistemas SCADA integração ao ERP SAP através do sistema MII. Porém a empresa está buscando a implementação do sistema MES para garantir essa integração de todas as informações relevantes do chão-de-fábrica até o ERP em tempo real.
Internet das Coisas	1	Realizado		Existem iniciativas onde sensores wi-fi de vibração estão sendo implementados em algumas máquinas. Possui uma rede interna Ethernet. De qualquer forma, seus produtos não são atribuídos de sensores que incentivam essa nova forma de monitoramento e aquisição de informações.
Robôs Autônomos	1	Realizado		Possui robôs de solda e montagens em células automatizadas.
Simulação	1	Estabelecido		A empresa está iniciando o modelamento do chão-de-fábrica e inserção de dados no software <i>Plant Simulation</i> , mas ainda não se aproveita dessa forma de trabalho.
Big Data	1	Realizado		O conceito de Big Data está em fase inicial, onde a empresa está em busca do entendimento da tecnologia e seus benefícios. Algumas bases de dados são alimentadas por máquinas conectadas à rede corporativa via rede Ethernet, porém os

				dados não são analisados de forma periódica e padronizada.
	Computação na Nuvem	3	Estabelecido	O serviço em nuvem é conhecido, principalmente pelo departamento de TI. Parte do sistema ERP (SAP) atualmente roda em nuvem, utilizando servidores remotos da TIVIT. Outros processos estão sendo avaliados para migração, porém ainda em fase de estudos.
	Manufatura Aditiva	0	Inexistente	Não há nenhum tipo de processo estabelecido para utilização de manufatura aditiva.
	Segurança Digital	2	Gerenciado	Existem políticas de segurança de rede definidas. O sistema é centralizado e monitorado pelo departamento de TI. Existem controles de acesso interno e externo, sendo que o acesso remoto à máquinas e equipamentos é realizado somente via VPN padrão Randon. Alguns ataques são realizados de forma periódica, visando detectar possíveis falhas no sistema de segurança.
	Realidade Aumentada	0	Realizado	Não há aplicações da tecnologia de realidade aumentada na empresa.

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

4.1.5 Randon Autopeças – Fras-le

A Fras-le é a empresa do grupo Randon mais globalizada, com fábricas no Brasil (Rio Grande do Sul e São Paulo), nos Estados Unidos (Alabama), Argentina (Buenos Aires), Uruguai (Montevédu), Índia (Haryana) e na China (Pinghu). A unidade matriz em Caxias do Sul foi onde se realizou a medição de maturidade. Nessa unidade são produzidos materiais de fricção para lonas e pastilhas para veículos pesados, pastilhas, lonas e sapatas para veículos leves, revestimentos de embreagem, pastilhas e sapatas para motos, pastilhas para aeronaves, pastilhas

e sapatas para trens e metrô. lonas moldadas e trançadas e placas universais. A exemplo da Randon Implementos a fábrica da Fras-le se caracteriza por mesclar equipamentos de última geração com alguns equipamentos mais antigos.

Segue detalhamento do nível de maturidade no uso de tecnologia da I4.0 encontrado na Fras-le:

4.1.5.1 Sistemas ciber físicos

A situação presente na Fras-le é que, possui diversos processos sensorizados com sistemas gerenciais nos processos críticos da empresa como misturas, prensa e estufa. Possui recursos que contribuem a visibilidade, transferência de dados e gerenciamento dos aspectos físicos ao virtual.

Com essa situação o nível de maturidade definido neste pilar foi o de nível três, estabelecido. Ou seja, as informações coletadas através dos sensores e monitoradas pelo sistema ciber físico, são usadas como apoio para a tomada de decisão na organização. A organização vai atingir o próximo nível quando conseguir interagir e trocar informações em tempo real e emitir alertas de possíveis falhas e predição de situações de equipamentos.

4.1.5.2 Integração vertical e horizontal

A Fras-le possui diversos sistemas de chão-de-fábrica que integram informações desde os equipamentos e recursos da manufatura até o ERP. Não possui um sistema MES de mercado em operação, no entanto, como o sistema existente cumpre a missão do MES de integrar o chão de fábrica ao ERP, foi considerado como nível um, realizado.

4.1.5.3 Internet das coisas (IoT)

No pilar tecnológico da IoT o que se buscou foi a existência de alguma rede de comunicação, interna ou externa com ou sem o uso da internet. A situação encontrada foi que existem equipamentos ligados em rede, sendo a grande maioria em rede interna Ethernet. Um exemplo é o sistema citado na integração vertical e horizontal que faz uso dessa rede para o seu funcionamento.

O nível de maturidade definido foi o nível dois, gerenciado. Neste estágio a empresa utiliza a IoT de forma isolada, sem integração entre sistemas e internamente. Para avançar para

o nível três é necessário que estes sistemas estejam integrados, gerando informações e recebendo a mesma via rede.

4.1.5.4 Robôs Autônomos

A situação encontrada foi que a unidade possui robôs articulados usados na manipulação de peças e empilhamento, porém sem tecnologia cooperativa ou trabalho autônomo. Devido a situação encontrada o nível de maturidade definido foi o nível um, realizado. Para esta neste nível é necessário que a empresa faça uso de robôs em seu processo produtivo, situação essa que foi encontrada. Para avançar nesse pilar tecnológico, é necessário o uso da tecnologia autônoma nos robôs em uso.

4.1.5.5 Simulação

A Fras-le possui alguns setores da fábrica modelados e já tem executado cenários de simulação para determinação de capacidades e layout. Entretanto, não é uma prática rotineira da empresa que não se utiliza dessa metodologia de trabalho em suas ações diárias.

O nível de maturidade definido para esse pilar tecnológico foi o dois, gerenciado. Pela razão da organização já ter ferramentas e métodos em implantação ter um processo estabelecido de simulação e este processo fazer parte do desenvolvimento da empresa.

4.1.5.6 Big Data

O conceito de Big Data está em fase inicial, onde a empresa está em busca do entendimento da tecnologia e seus benefícios. O nível de maturidade percebido foi o um, realizado, ou seja, está em um estágio inicial, porém já com a consciência em algumas pessoas dos possíveis ganhos do uso desta tecnologia. Para o próximo nível é necessário um projeto que abranja toda a empresa.

4.1.5.7 Computação na nuvem

O serviço em nuvem é conhecido, principalmente pelo departamento de TI. Parte do sistema ERP atualmente roda em nuvem, utilizando servidores remotos da Tivit. Outros processos estão sendo avaliados para migração, porém ainda em fase de estudos.

Como existe os processos avançados o uso computação em nuvem, e com uso de forma compartilhada de informações e sistemas, o nível de maturidade definido foi o três, estabelecido. O avanço se dará quando a organização usar serviços como computação sem servidor e banco de dados na nuvem.

4.1.5.8 Manufatura Aditiva

Para a avaliação de nível de maturidade no pilar tecnológico manufatura aditiva, se buscou a existência e o uso de impressoras 3D. A situação encontrada foi que a empresa não possui uma experiência nesse sentido. O nível de maturidade foi definido como inexistente.

4.1.5.9 Segurança Digital

Existem políticas de segurança de rede definidas. O sistema é centralizado e monitorado pelo departamento de TI. Existem controles de acesso interno e externo, sendo que o acesso remoto à máquinas e equipamentos é realizado somente via VPN padrão Randon. Alguns ataques são realizados de forma periódica, visando detectar possíveis falhas no sistema de segurança.

Nesse pilar a exemplo da computação na nuvem a área de tecnologia da informação concentra as ações e planos. O nível percebido foi dois gerenciado. A segurança dos sistemas e da rede é implementada, mas as alterações não são gerenciadas centralmente.

4.1.5.10 Realidade Aumentada

O Pilar tecnológico da realidade aumentada, não aplicação atualmente na Master. Foi considerado como nível inexistente.

Quadro 9 – Resultado Randon Autopeças - Fras-le

Modelo de medição de maturidade dos pilares tecnológicos da I4.0		
	Nível encontrado	Situação encontrada

Pilares Tecnológicos	Sistemas Ciber Físicos	3	Estabelecido	Possui diversos processos sensorizados com sistemas gerenciais nos processos críticos da empresa como misturas, prensa e estufa. No geral os processos críticos da empresa possuem recursos para a integração entre o físico e o virtual.
	Integração Vertical e Horizontal	1	Realizado	A empresa possui diversos sistemas de chão-de-fábrica que integram informações desde os equipamentos e recursos da manufatura até o ERP. Porém, ainda está avançando em sistemas para integração horizontal.
	Internet das Coisas	2	Gerenciado	Faz uso de uma rede interna Ethernet que auxilia em seus processos.
	Robôs Autônomos	1	Realizado	Possui robôs de manipulação de peças e empilhamento, equipados com sistema de visão que podem reconhecer alterações de referências e realizar autocorreções de operação.
	Simulação	2	Gerenciado	Possui alguns setores da fábrica modelados e já tem executado cenários de simulação para determinação de capacidades e layout, não é uma prática rotineira da empresa que não se utiliza dessa metodologia de trabalho em suas ações diárias.

Big Data	1	Realizado	O conceito de Big Data está em fase inicial, onde a empresa está em busca do entendimento da tecnologia e seus benefícios. Algumas bases de dados são alimentadas por máquinas conectadas à rede corporativa via rede Ethernet, porém os dados não são analisados de forma periódica e padronizada.
Computação na Nuvem	3	Estabelecido	O serviço em nuvem é conhecido, principalmente pelo departamento de TI. Parte do sistema ERP (SAP) atualmente roda em nuvem, utilizando servidores remotos da TIVIT.
Manufatura Aditiva	0	Inexistente	Não há nenhum tipo de processo estabelecido para utilização de manufatura aditiva.
Segurança Digital	2	Gerenciado	Existem políticas de segurança de rede definidas. O sistema é centralizado e monitorado pelo departamento de TI. Existem controles de acesso interno e externo, sendo que o acesso remoto à máquinas e equipamentos é realizado somente via VPN padrão Randon. Alguns ataques são realizados de forma periódica, visando detectar possíveis falhas no sistema de segurança.
Realidade Aumentada	0	Inexistente	Não há aplicações da tecnologia de realidade aumentada na empresa.

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

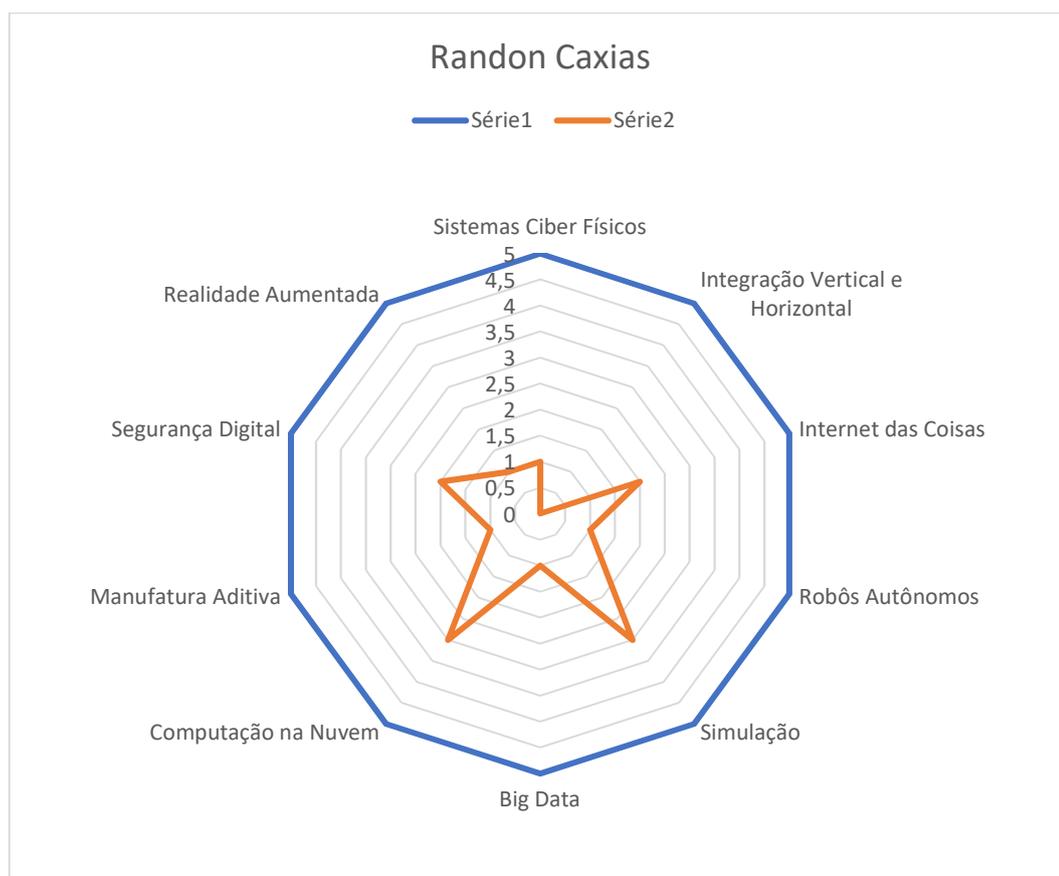
4.2 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS ENCONTRADOS

Nessa seção o objetivo foi comparar os resultados encontrados nas empresas onde a medição de maturidade foi realizada. As características gerais das empresas são semelhantes,

principalmente por fazerem parte de um mesmo grupo econômico e também por existir áreas corporativas como exemplo TI. Essas características são reforçadas nas unidades da Randon Implementos onde a área de engenharia industrial opera de modo matricial.

As Figuras 15, 16, 17, 18 e 19 mostram de forma gráfica os resultados encontrados.

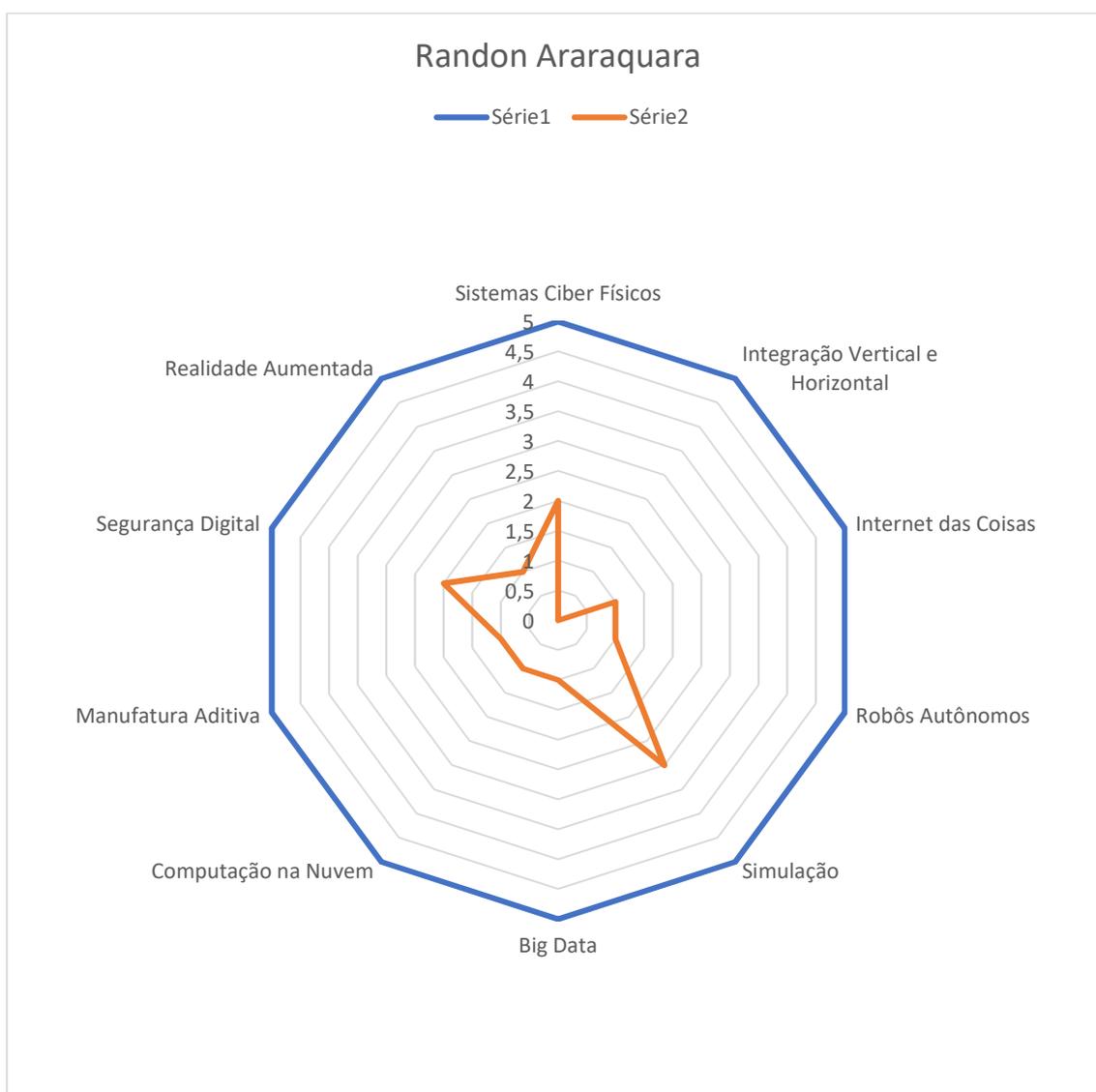
Figura 15 – Resultado Randon Implementos Caxias do Sul



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

No resultado da Randon Implementos matriz, os destaques estão na simulação e computação na nuvem. Simulação por conta dessa tecnologia já fazer parte da rotina de desenvolvimento de processos. Já no caso da computação na nuvem assim como a segurança digital, são tecnologias de responsabilidade da área de TI da organização. É possível observar nos resultados encontrados, que processos sob responsabilidade de TI, estão bem avançados em comparação aos que não estão. O destaque negativo ficou com a integração vertical e horizontal, tecnologia essa que já tem um plano em andamento com a instalação de um software de MES.

Figura 16 – Resultado Randon Implementos Araraquara.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Na unidade de Araraquara o destaque também ficou por conta do pilar tecnológico da simulação. Araraquara foi a primeira unidade da organização em que o seu processo foi totalmente simulado antes da construção do prédio. Com isso se criou uma cultura de simular os processos antes de qualquer alteração que esteja sendo planejada. Outro ponto a ser destacado são os sistemas ciber físicos. Este pilar apresentou um resultado superior ao encontrado na matriz. A vantagem de Araraquara está no fato dessa unidade possuir um sistema que integra todo um processo, no caso o processo de pintura. O pilar que ficou com o pior resultado foi a integração vertical e horizontal. Assim como a matriz, em Araraquara já está planejado o MES, sendo inclusive a unidade piloto do sistema. Com isso já será possível verificar o avanço nesse pilar.

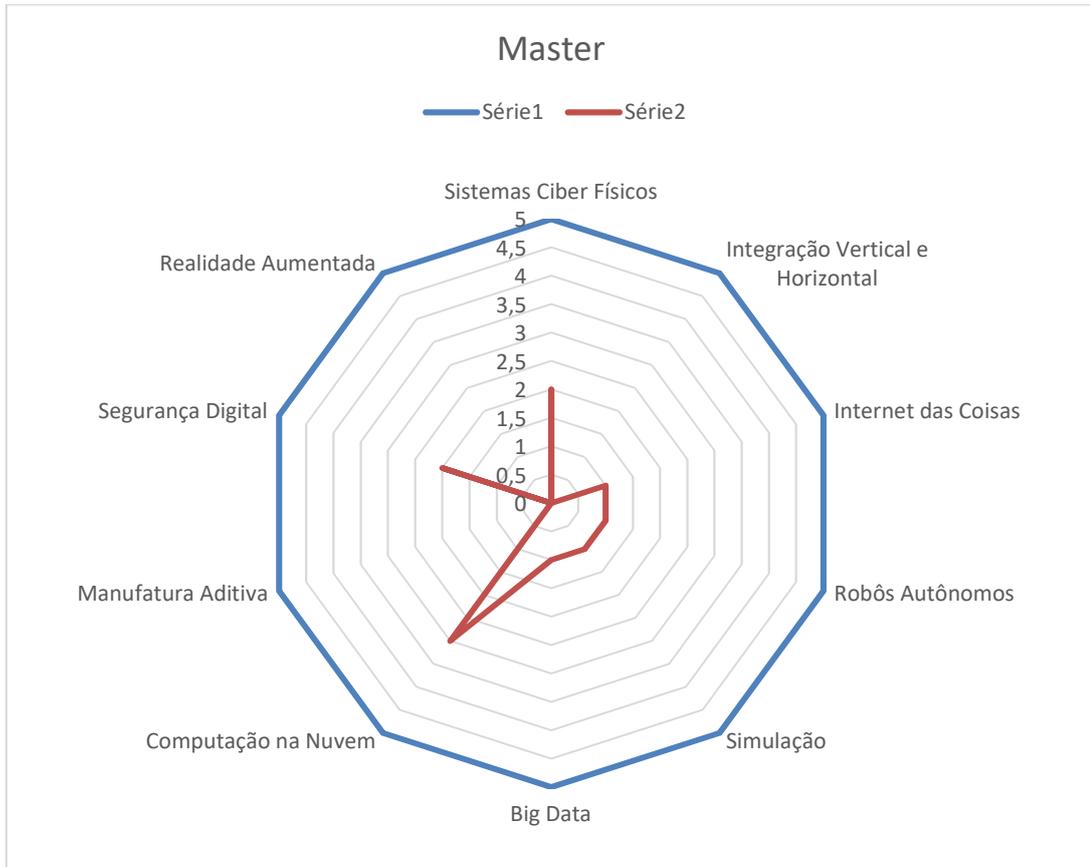
Figura 17 – Resultado Random Autopeças – JOST Brasil



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

O resultado encontrado na JOST foi o melhor entre as cinco empresas onde foi medido a maturidade. É a empresa mais automatizada das cinco com 15 robôs em operação com 940 robôs a cada 10.000 trabalhadores (indicador da IFR (*International Federation of Robotics*) usado para medir o uso de robôs), no grupo Randon esse indicador é de 65 robôs a cada 10.000 trabalhadores. Outro diferencial dessa fábrica está na existência de um software de MES que integra todos os sistemas da empresa entre si e com o ERP. Isso permite que o pilar tecnológico da IoT tenha um grande destaque. A empresa também utiliza os processos corporativos de TI. Em outros pilares como a manufatura aditiva e big data o desenvolvimento ainda está em uma fase inicial.

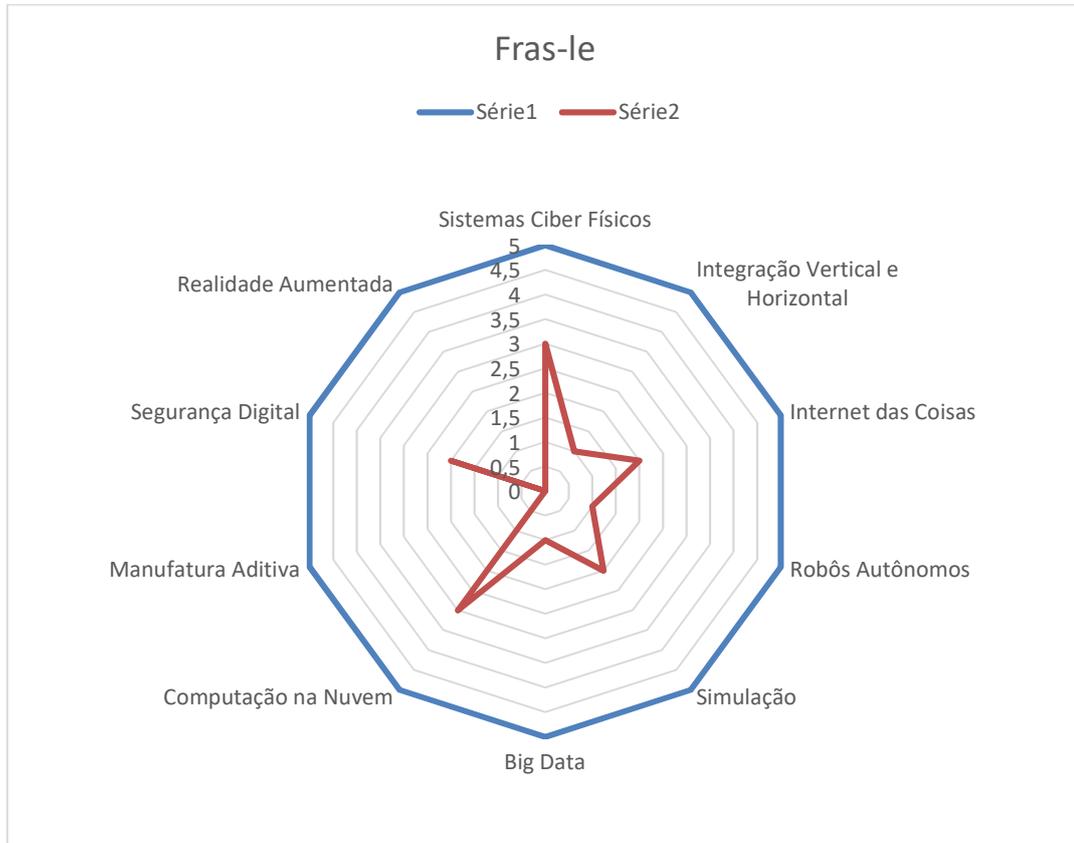
Figura 18 – Resultado Randon Autopeças - Master



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

O resultado encontrado na Master teve três pilares tecnológicos, manufatura aditiva, realidade aumentada e integração vertical e horizontal, onde a situação encontrada foi inexistente. A empresa também utiliza os processos corporativos de TI, por conta disso tecnologias como segurança digital e computação na nuvem obtiveram os melhores resultados com nível dois e três respectivamente.

Figura 19 – Resultado Random Auto peças - Fras-le

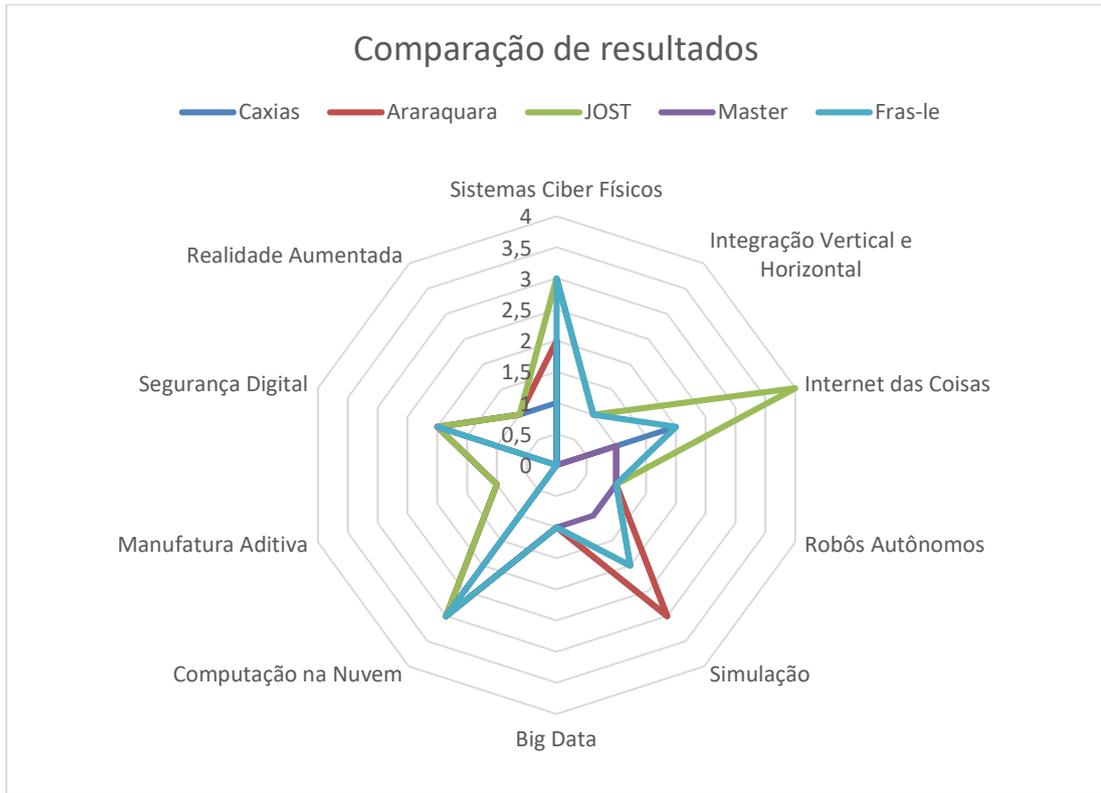


Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Na Fras-le o destaque positivo ficou por conta do sistema existente que integra do nível de equipamentos até o ERP da empresa. Com isso pilares tecnológicos como o de sistemas ciber físicos e integração vertical e horizontal obtiveram resultados destacados. Principalmente sistemas ciber físicos com nível de maturidade três.

A exemplo das outras empresas do grupo tecnologias como manufatura aditiva, realidade aumentada, robótica autônoma e big data, ainda estão em uma fase inicial.

Figura 207 – Comparação dos resultados encontrados.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Os resultados apresentam uma certa semelhança entre si, todas as empresas estão em uma fase inicial de desenvolvimento da indústria 4.0. Onde o uso dos pilares tecnológicos da I4.0 apresentou uma maior maturidade foi na JOST. O grande diferencial percebido foi de que a JOST é a empresa mais automatizada do grupo, além da utilização de um MES, algo que as demais não possuem.

Pilares tecnológicos como: robôs autônomos; manufatura aditiva; big data; e realidade aumentada, ainda estão em uma fase experimental. Existem testes de forma isolada para cada uma destas tecnologias, entretanto, não foi possível observar um plano para a implantação desses pilares. Essa situação foi observada em todas as unidades aonde a medição de maturidade foi aplicada.

Quadro 10 - Comparativo de resultados.

Modelo de medição de maturidade dos pilares tecnológicos da I4.0						
	Resultados encontrados					
		Caxias	Araraquara	JOST	Fras-le	Master
P i l a r e s T e c n o l ó g i c o s	Sistemas Ciber Físicos	1	2	3	2	2
	Integração Vertical e Horizontal	0	0	1	1	0
	Internet das Coisas	2	1	4	1	1
	Robôs Autônomos	1	1	1	1	1
	Simulação	3	3	2	1	1
	Big Data	1	1	1	1	1
	Computação na Nuvem	3	3	3	3	3
	Manufatura Aditiva	1	1	1	0	0
	Segurança Digital	2	2	2	2	2
	Realidade Aumentada	1	1	1	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

4.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A proposta desse trabalho foi medir a maturidade dos pilares tecnológicos do I4.0 separadamente. Os resultados alcançados mostram a maturidade o uso das tecnologias, porém não a estratégia da empresa para chegar no estágio encontrado. Já trabalhos como o Enke et al. (2017), Schumacher et al. (2016), Gökalp et al. (2017) e Pessl et al. (2017), propõem uma avaliação para a I4.0 para a empresa toda. No entanto, nesses casos as ações estão na estratégia e, portanto, longe do chão de fábrica. Em outros trabalhos como Tonelli et al. (2016), Weber et

al. (2017). Monostori et al. (2016) e Halper e Krishnan (2014) os modelos de maturidade estão focados em um único pilar tecnológico não se preocupando com os demais.

Um dos achados da medição de maturidade foi a influência que um software de MES no resultado de pilares com IoT, Integração vertical e horizontal e sistemas ciber físicos. Esse software é fundamental para que a empresa avance nos conceitos da indústria 4.0. (WEBER et al. 2017); (WANG et al. 2017) e (MONOSTORI et al. 2016).

O resultado do trabalho demonstrou ser vantajoso ter uma TI corporativa. Nos pilares tecnológicos onde a TI é a responsável os resultados foram são mais maduros que os demais. Kagermann et al. (2013) destaca que a internet das coisas junto à manufatura integra os sistemas da empresa, tornando viável os ganhos da indústria 4.0. contribuindo assim com a ideia da influência cada vez maior das áreas de TI na manufatura. Outra constatação deste trabalho nesse sentido é de que as áreas de TI (tecnologia de Informação) e TA (Tecnologia de Automação), devem ter os seus desenvolvimentos cada vez mais integrados.

Na observação dos resultados, é possível identificar pilares tecnológicos em estágios iniciais, em experimentação. As empresas em seu dia-a-dia têm mais dificuldade em testar tecnologias novas para resolver seus problemas. Landherr et al. (2016) destacam essa dificuldade e apontam uma resposta para esse problema. O que foi sugerido pelos autores é a criação de um laboratório onde as tecnologias da I4.0 podem serem testadas na resolução de problemas reais da indústria. O laboratório é resultado de um trabalho conjunto entre a indústria, academia e o poder público.

4.4 IMPLICAÇÕES GERENCIAIS

A medição de maturidade no uso das tecnologias da indústria 4.0, foi feita em cinco unidades industriais do grupo Randon. Nos resultados é possível observar em que nível de maturidade está cada unidade onde foi realizada a medição. Ficou claro quais são os pilares tecnológicos mais desenvolvidos e quais tem maiores oportunidades de evolução.

O próximo passo deve ser continuar com a medição de maturidade nas outras unidades industriais do grupo. Com isso a organização terá um mapa detalhado de como estão suas fábricas quanto ao uso das tecnologias da I4.0 identificar quais pilares tecnológicos estão mais desenvolvidos e quais necessitam de mais investimentos. Também será possível identificar quais unidade estão mais avançadas e que possam se tornar o modelo a ser seguido pelas demais.

A organização terá um avanço na I4.0, quando de posse deste diagnóstico obtido após a realização da medição de maturidade, montar um *road map* para o desenvolvimento dos

pilares tecnológicos da indústria 4.0. Esse *road map* deve estar alinhado com a estratégia da organização. Por sua vez, a empresa deve contemplar em seus planos, o uso da tecnologia industrial como sendo um dos meios para melhorar sua competitividade e assegurar seu crescimento.

De acordo com Kagermann et al. (2013), na indústria 4.0 uma das características mais importantes é a união entre TI (tecnologia da informação) e TA (tecnologia de automação). Essas áreas devem estar juntas nos desenvolvimentos dos projetos de tecnologia industrial. Foi possível identificar essa união no projeto de implantação do MES, no qual as áreas de TI e engenharia industrial trabalhando em conjunto. Para a empresa seguir avançando na I4.0, esse modelo de desenvolvimento deve ser seguido pelos demais projetos.

A organização ainda não percebeu as vantagens em pilares tecnológicos como por exemplo, a manufatura aditiva e robótica autônoma. No *road map* proposto, esses pilares juntamente com realidade aumentada e big data devem ter um destaque. Para com isso, a empresa sair da experimentação e passar a ter um plano de implantação dessas tecnologias.

O plano para a I4.0 deve ser para aumentar a competitividade da empresa, e não a automação pela automação. Para isso ser possível, o nível de maturidade proposto nesse trabalho é fundamental para que a organização saiba claramente onde se encontra e quais são os próximos passos para a melhoria de sua produtividade e por consequência a melhora na competitividade.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo foi desenvolvido com o intuito de atender o objetivo principal de medir o nível de maturidade no uso de tecnologia em um ambiente da indústria 4.0. Buscou-se realizar a medição proposta em empresas do ramo automotivo. Posteriormente, de posse dos resultados de maturidade obtidos, foi feita uma análise do nível de cada tecnologia nas empresas que participaram do estudo. Para atingir esse objetivo, foi realizada uma revisão bibliográfica a respeito da indústria 4.0 e os pilares tecnológicos que a compõe, modelos de medição de maturidade e modelos de implementação da indústria 4.0.

A consulta ao material teórico também objetivou buscar quais tecnologias poderiam compor a indústria 4.0. Isso visou atender ao primeiro objetivo específico de identificar as tecnologias que fazem parte da Indústria 4.0. Baseado na literatura pesquisada, se chegou em dez pilares tecnológicos, que são as tecnologias componentes da I4.0. Essas tecnologias são: i) sistemas ciber físicos; ii) internet das coisas IoT; iii) manufatura aditiva; iv) robótica autônoma; v) big data; vi) simulação; vii) integração vertical e horizontal viii) realidade aumentada; ix) segurança digital e x) computação na nuvem.

O segundo objetivo específico, que é definir quais modelos de medição de maturidade para cada tecnologia escolhida, foi alcançado com a consulta ao material teórico. Nessa parte da consulta se buscou na literatura modelos de medição de maturidade mais adequados para cada pilar tecnológico a ser medido. Foi definido um modelo para servir de padrão para a medição. O modelo escolhido foi o proposto por Gökalp et al. (2017), o modelo é composto por cinco níveis de maturidade sendo: a) nível um realizado; b) nível dois gerenciado; c) nível três estabelecido; d) nível quatro previsível; e) nível cinco otimizado.

O terceiro objetivo específico, que foi medir o nível de maturidade das tecnologias em empresas do setor automotivo, foi alcançado com a aplicação dos modelos de medição de maturidade. A medição de maturidade foi realizada em cinco empresas do grupo Randon. As empresas escolhidas foram: i) Randon Implementos unidade de Caxias do Sul; ii) Randon Implementos unidade de Araraquara; iii) JOST do Brasil; iv) Master e v) Fras-le. As empresas escolhidas apresentam algumas características que foram determinantes para a sua escolha. A unidade de Caxias da Randon Implementos e da Fras-le, possuem uma mescla de equipamentos mais antigos operando com outros novos. A unidade de Araraquara é a mais nova do grupo e a JOST é a fábrica mais automatizada do grupo.

Com os resultados obtidos após a medição de maturidade, foi feita a análise e comparação dos mesmos. Nessa etapa se buscou atender o quarto objetivo específico do

trabalho que foi avaliar os níveis de maturidade das tecnologias e das empresas e com isso identificar os pontos fortes e as oportunidades. Com as análises foi possível identificar que a empresa JOST tem um nível mais avançado de maturidade. Pilares tecnológicos que estão sob a responsabilidade de uma área corporativa de TI, estão mais maduros em comparação aos que não estão. Ficou evidente a necessidade de implantação de um software de MES nas unidades da Randon Implementos. Por fim, tecnologias como *big data*, robótica autônoma, realidade aumentada e manufatura aditiva, ainda em uma fase experimental.

A indústria 4.0 continua sendo um tema a ser desenvolvido pela indústria brasileira. De acordo com um estudo da CNI (Confederação Nacional da Indústria) de 2016 (CNI, 2016), 42% das empresas brasileiras pesquisadas não sabem identificar quais tecnologias tem potencial para melhorar os seus resultados. Nesse sentido uma das contribuições desse estudo foi aprofundar os conhecimentos sobre o tema nas empresas, com os equipamentos, sistemas e recursos que a empresa já tem. Com isso, fazer a relação com a literatura e apontar para a empresa onde ela está bem e onde necessita mais atenção e investimentos.

Uma das limitações desse trabalho, que pode ser uma possibilidade de estudos futuros, são os próximos passos após ter o resultado da medição de maturidade. Montar um modelo de implantação da I4.0. Um modelo que inicie com a medição de maturidade aqui apresentada e passe por outras etapas como montar um *road map* de implementação das tecnologias e um ciclo de medição de maturidade para acompanhar as evoluções.

Com a análise dos resultados, foi possível identificar diferentes estágios entre as empresas medidas. Onde a automatização é maior, mesmo sendo em tecnologias ainda da indústria 3.0, a maturidade apresentou resultados superiores. Faltou identificar se nesses casos existe uma relação entre a maturidade e a estratégia da empresa. Uma outra possibilidade de trabalho futuro é medir a maturidade da empresa na indústria 4.0 e relacionar com a estratégia de negócio da organização. Com isso também entender se uma maior maturidade, aliada a uma estratégia de aumentar a produtividade com o uso de tecnologia, pode influenciar no resultado financeiro da empresa.

Ficou evidenciado nos resultados do trabalho, que há alguns pilares tecnológicos da I4.0, pouco desenvolvidos pelas empresas participantes. Esses pilares foram realidade aumentada, big data, robótica autônoma e manufatura aditiva. Todas essas tecnologias estão em uma fase experimental dentro das empresas. Existe uma necessidade de uma experimentação dessas tecnologias. Atualmente essa experimentação é rara, haja vista, outras prioridades que as empresas têm. Com isso, outra possibilidade de um estudo futuro é a possibilidade de uma

parceria entre as empresas e a academia. Criar um ambiente fora das empresas onde as tecnologias possam ser testadas para resolver problemas reais da empresa.

Uma das percepções possíveis após a realização desse trabalho, e também uma oportunidade de trabalhos futuros, foi a importância de que os desenvolvimentos de projetos voltados para as tecnologias da I4.0, devam ser conduzidos em conjunto entre a engenharia industrial e as áreas de TI das empresas. O que identifica o avanço da indústria 3.0 para a indústria 4.0 é a possibilidade de integração entre equipamentos, pessoas, sistemas e empresas e isso só é possível com essas áreas trabalhando juntas.

REFERÊNCIAS

- ANI, Uchenna p.; HE, Hongmei; TIWARI, Ashutosh. Manufacturing Review of cybersecurity issues in industrial critical infrastructure: manufacturing in perspective. **Journal of Cyber Security Technology ISSN**, p 32-74, 2017.
- AZEVEDO, Marcelo Teixeira de. **Transformação Digital na Indústria: Indústria 4.0 e a Rede de Água Inteligente no Brasil – 2016** 177f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 2016.
- BAUR, Cornelius; WEE, Dominik. Manufacturing’s next act. **McKinsey and Company** - 2015.
- BRYNJOLFSSON, Erik.; McAfee, Andrew. The Second Machine Age: Work, Progress and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies. **W.W. Norton & Company**, 2014.
- CABINET OFFICE. Report on The 5th Science and Technology Basic Plan. **Cabinet Office of Japan**, 2015.
- CAMPBELL, I.; BOURELL, D.; GIBSON, I. Additive manufacturing: rapid pro-totyping comes of age. **Rapid Prototyping Journal**, vol. 18 Issue: 4, pp.255-258, 2012.
- CHEN, Min; MAO, Shiwen; LIU, Yunhau. Big data: A survey. **Mobile Networks and Applications**, v. 19, n. 2, p. 171–209, 2014
- COELHO, Pedro Miguel. **Rumo à Indústria 4.0**. 2016 63 f. Tese (mestrado em engenharia) - Universidade de Coimbra, departamento de engenharia mecânica, 2016.
- CONSEIL NATIONAL de L’INDUSTRIE. The New Face of Industry in France. Paris: **French National Industry Council**. 2013.
- CNI. Desafios para indústria 4.0 no brasil. **CNI** – 2016.
- CNI. Sondagem Especial - Indústria 4.0. **CNI**. 2016.
- DAUGHERTY, P; BANERJEE, P; NEGM, W. Driving Unconventional Growth through the Industrial Internet of Things. **Accenture**; 2015.
- ENKE, Judith; GLASS, Rupert; METTERNICH, Joaquim. Introducing a maturity model for learning factories. **Metternich Institute**, p 1 – 8, 2017.
- FICHER, Christian; LUSIC, Mario; FALTUS, Florian; HORNFECKB, Rüdiger; FRANKEA, Jörg. Enabling live data controlled manual assembly processes by worker information system and nearfield localization system. **Procedia CIRP**, p 242 – 247, 2016.
- FORESIGHT. 2013. The Future of Manufacturing: A New Era of Opportunity and Challenge for the UK. **UK Government Office for Science**, 2013.
- GE POWER. Disponível em <<https://www.ge.co/power>> acesso em 15 nov.
- GIEREJ, Sylwia. The Framework of Business Model in the Context of Industrial Internet of Things. **Procedia Engineering**, p 206 – 212, 2017.

GÖKALP, Ebru; SENER, Umut; EREN, Erhan. Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM. **Informatics Institute, Middle East Technical University**, pp. 128–142, 2017.

GUIMARÃES, Alexandre Magno Castañon. **Simulação Computacional: Um modelo de maturidade e de seleção para uso dos softwares em manufaturas**. Tese (doutorado em engenharia de produção). Pontífice Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2015.

HALPER, F.; KRISHNAN, K. TDWI Big Data Maturity Model Guide: Interpreting your assessment score. **The Data Warehousing Institute**, 2013

HEIDRICH, Felipe; FACÓ, Júlio; REIS, Cristina. O impacto competitivo na indústria brasileira com a aplicação dos conceitos da indústria 4.0. **Universidade Federal do ABC**, 2017.

IBM BIG DATA. Disponível em <https://www.ibmbigdatahub.com> acesso em 20 nov.

KACHE, Florian; SEURING, Stefan. Challenges and opportunities of digital information at the intersection of Big Data Analytics and supply chain management. **International Journal of Operations & Production**, pp. 10 – 36, 2017.

KAGERMANN, Henning; WAHLSTER, Wolfgang; HELBIG, Johannes. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. **ACATECH** – 2013.

KARRE, Hugo; HAMMERA, Markus; KLEINDIENSTA, Mario; RAMSAUERA, Christian. Transition towards an Industry 4.0 state of the LeanLab at Graz University of Technology. **Procedia Manufacturing**, p 206 – 213, 2017.

KANG, Hyoung Seok; LEE, Ju Yeon Lee; CHOI, Sang Su; KIM, Hyun; PARK, Jun Hee; SON, Ji Yeon; KIM, Bo Hyun; NOH, Sang Do. Smart Manufacturing: Past Research, Present Findings, and Future Directions. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology**, 2016.

KUKA. Robótica colaborativa. Disponível em <https://www.kuka.com> acesso 20 nov.

KÜPER, Daniel; KUHLMANN, Kristian; KÖCHER, Sebastian; DAUNER, Thomas; BURGGRÄF, Peter. The Factory of the Future. **Boston Consulting Group** – 2016.

KUSIAK, Andrew. Smart manufacturing. **International Journal of Production** – 2017.

LACHENMAIER, Jens; LASI, Heiner; KEMPER, Hans-Georg. Simulation of production processes involving cyber-physical systems. **Procedia CIRP**, p 577 – 582, 2017.

LANDHERR, Martin; SCHNEIDER, Ulrich; BARERNHANSL, Thomas. The Application Center Industrie 4.0 - Industry-driven manufacturing, research and development. **Procedia CIRP**, 26 – 31, 2016.

LAMONTAGNE, Stéphanie. **Development of a maturity model for effective additive manufacturing integration in the product development process**. Tese (Mestrado em engenharia macanica) universidade de Quebec, escola de tecnologia, 2016.

LEE, Eduard. A. Cyber Physical Systems: Design Challenges. **11th IEEE International Symposium** – 2008.

LEE, E. A.; SESHIA, S. A. Introduction to Embedded Systems Security: A Cyber- Physical Systems Approach. **LeeSeshia.org**, 2015.

LI, Keqiang. Made in China 2025. **State Council of China**, 2015.

McAFEE, Andrew; BRYNJOLFSSON, Erik. Big Data: The Management Revolution. **Harvard Business Review** - 2012.

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

MONOSTORI, L.; KA DA B.; BAUERNHANSL T.; KONDOH, S.; KUMARA, S.; REINHART, G.; SAUER, O.; SCHUH, G.; SIHN, W.; UEDA, K. Cyber-physical systems in manufacturing. **CIRP Annals**, 2016.

MUELLER, Egon; CHEN, Xiao-Li; RIEDEL, Ralph. Challenges and Requirements for the Application of Industry 4.0: A Special Insight with the Usage of Cyber-Physical System. **Springer**, 2017.

NEWMAN, David; LOGA, Debra; Gartner Introduces the EIM Maturity Mode. **Gartner**, 2008.

NIST. NIST Big Data Interoperability Framework: **Definitions** - 2015.

OESTERREICH, Thuy Duong; TEUTEBERG, Frank. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. **Computers in Industry** – 2016.

PESSL, Ernst; SORKO, Sabrina Romina; MAYER, Barbara. Roadmap Industry 4.0 – Implementation Guideline for Enterprises. **International Journal of Science, Technology and Society**, 2017.

REIF, Rafael; SHIRLEY, Jackson; LIVERIS, Andrew. Report To The President Accelerating U.S. Advanced Manufacturing. **The President's Council of Advisors on Science and Technology**, 2014

RODRIGUES, Vinícius Picanço; ZANCUL, Eduardo de Senzi; GONÇALVES, Cauê; GIORDANO, Caio Mezzeti; SALERNO, Mario Sergio. Manufatura aditiva: estado da arte e framework de aplicações. **Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, 2016.

RÜßMANN, Michael; LORENZ, Markus; GERBERT, Philipp; WALDNER, Manuela; JUSTUS, Jan; ENGEL, Pascal; HARNISCH, Michael. Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. **Boston Consulting Group** – 2015

SALEH, Malik F. Information Security Maturity Model. **International Journal of Computer Science and Securit**, 2011.

SAMUEL, A. L. Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers. **IBM Journal**, 1959.

SANTAGATE, John. A Maturity Model for Indoor Autonomous Mobile Robots. **IDC Community**. Disponível em <<https://idc-communit.com>> acesso em 15 nov. 2018.

SARVARI, Peiman Alipour; USTUNDAG, Alp; CEVIKCAN, Emre; KAYA, Ihsan; CEBI, Selcuk. **Technology Roadmap for Industry 4.0**. 2017.

SCHUMACHER, Andreas; EROLB, Selim; SIHNA, Wilfried. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. **Fraunhofer** – 2016.

SIEMENS. Realidade aumentada. Disponível em <https://w3.siemens.com.br> acesso em 20 nov.

SCHWAB, Klaus. A quarta revolução industrial. **Edipro** – 2016.

SHAFIQ, Syed Imran; SANIN, Cesar; TORO, Carlos; SZCZEBICKI, Edward. Virtual Engineering Object (VEO): Toward Experience-Based Design and Manufacturing for Industry 4.0. **Cybernetics and Systems: An International Journal** – 2015.

SHMUELI, G.; KOPPIUS, O. Predictive analytics and informations systems research. **MIS Quarterly** - 2011.

STROZZI, Fernanda; COLICCHIA, Claudia; CREAZZA, Alessandro; NOÉ, Carlo. Literature review on the ‘Smart Factory’ concept using bibliometric tools. **International Journal of Production Research** – 2017.

RODRIGUES, Vinícius Picanço; ZANCUL, Eduardo de Senzi; MANÇANARES Cauê Gonçalves; GIORDANO, Caio Mezzeti; SALERMO. Manufatura aditiva: estado da arte e framework de aplicações. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, 2017.

TONELLI, F.; DEMARTINI, M.a; LOLEO A.; TESTA, C. A Novel Methodology for Manufacturing Firms Value Modeling and Mapping to Improve Operational Performance in the Industry 4.0 era. **Procedia CIRP**, 2016.

TUEGEL, EJ.; INGRAFFEA, AR.; EASON, TG.; SPOTTSWOOD, SM. Reengineering aircraft structural life prediction using a digital twin. **International Journal of Aerospace Engineering**, 2011.

WANG, Shiyong; WAN, Jiafu; LI, Di; ZHANG, Chunhua. Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. **International Journal of Distributed** - 2015.

WEBER, Christian; KONIGSBERGER, Jan; KASSNERA, Laura; MITSCHANGA, Bernhard. M2DDM– A Maturity Model for Data-Driven Manufacturing. **Procedia** – 2017.

ZHANG, Haoxi; SANIN, Cesar; SZCZEBICKI, Edwad. Applying Decisional DNA to Internet of Things: The Concept and Initial Case Study. **Cybernetics and Systems**, 2015.