



## Modelos para avaliação dos níveis de maturidade na Indústria 4.0: uma revisão bibliográfica

Pedro Vitor Gomes Fenerich<sup>1</sup>, Marcelo Duduchi Feitosa<sup>2</sup>

**Resumo:** As empresas de manufatura enfrentam desafios substanciais relacionados aos conceitos disruptivos, como a Internet das Coisas, Cyber Segurança, Cloud Computing, Manufatura Discreta e outros elementos tecnológicos, sociais e culturais, habilitadores da Indústria 4.0. Este processo aumenta significativamente a complexidade em todos os níveis da empresa, cria incerteza sobre a existência de capacidades organizacionais, tecnológicas e estratégias adequadas para viabilizar a transformação digital necessária. Neste sentido, o presente artigo apresenta possibilidades de como avaliar o nível de maturidade das organizações, quanto a disponibilidade e utilização dos elementos habilitadores da Indústria 4.0. Para isso foi realizado um levantamento bibliográfico dos vários modelos de maturidade e estudos de caso onde foram aplicados, oferecendo uma visão abrangente sobre o tema e base para o desenvolvimento de novos estudos. O método de pesquisa considerou uma busca por artigos sobre o tema nas bases Google Scholar e Scopus, utilizando a ferramenta Publish or Perish, selecionando os mais relevantes para o estudo, entre os modelos avaliados simulamos um estudo de caso considerando a proposta do método Schumacher, onde observamos um melhor detalhamento das dimensões, oferecendo uma melhor base de análise da maturidade da organização.

**Palavras-chave:** Processos Produtivos, Modelos de Maturidade, Indústria 4.0.

**Abstract:** Manufacturing companies face substantial challenges related to disruptive concepts such as the Internet of Things, Cyber Security, Cloud Computing, Discrete Manufacturing and other technological, social and cultural elements that enable Industry 4.0. This process significantly increases the complexity at all levels of the company, creates uncertainty about the existence of organizational and technological capabilities and adequate strategies to enable the necessary digital transformation. In this sense, this article presents possibilities of how to assess the level of maturity of organizations, regarding the availability and use of the enabling elements of Industry 4.0. For this, a bibliographic survey of various maturity models and case studies where they were applied was carried out, offering a comprehensive view of the topic and a basis for the development of new studies. The research method considers a search for articles on the subject in Google Scholar and Scopus databases, using a Publish or Perish tool, evaluating the most

<sup>1</sup> Centro Paula Souza e pedro.fenerich@cpspos.sp.gov.br

<sup>2</sup> Centro Paula Souza e marcelo.duduchi@cpspos.sp.gov.br

relevant for the study, among the models obtained and simulated a case study considering a proposal of the Schumacher method, where we observed a better detailing of the dimensions, offering a better basis for analyzing the maturity of the organization.

**Keywords:** Productive Process, Maturity Models, Industry 4.0.

## 1. Introdução

O tema indústria 4.0 vem ganhando mais relevância, à medida que as organizações estudam alternativas mais eficientes para melhorar sua produtividade, competitividade e posicionamento no mercado. Com igual importância cresce a necessidade dos executivos terem instrumentos de gestão e ferramentas que permitam um melhor planejamento estratégico e estabelecimento dos planos de ação.

Considerando que as organizações estão distribuídas em vários segmentos da economia, com diferentes recursos tecnológicos, é importante que tenhamos a medida do nível de maturidade destas, para que seja possível o estabelecimento dos melhores dispositivos de governança para dar curso à transformação digital, necessária à consolidação dos elementos da Indústria 4.0.

Neste contexto, a questão de pesquisa para este estudo é: “Como avaliar o nível de maturidade das organizações, quanto a disponibilidade e utilização dos elementos habilitadores da Indústria 4.0?”.

Com o objetivo de responder a essa questão de pesquisa foi realizada uma revisão bibliográfica, que resultou na identificação de aspectos positivos e negativos de três modelos visitados, possibilitando assim, uma ponderação sobre os fatores que contribuem para medição da maturidade no processo e implementação da indústria 4.0.

Além desta introdução esse artigo apresenta a fundamentação teórica, desenvolvida a partir da bibliografia levantada, o detalhamento do método de pesquisa e os resultados e discussões.

## 2. Referencial teórico

Esta seção apresenta uma breve passagem sobre o referencial teórico, a partir de uma contextualização dos modelos de maturidade na adoção dos elementos habilitadores da indústria 4.0. A seguir apresentamos os principais modelos de avaliação do grau de maturidade, considerando na bibliografia selecionada os que apresentaram maior frequência e a existência de estudos de casos.

### 2.1 Contextualização dos modelos de maturidade

Para melhorarmos algo, é preciso que seja mensurável. Assim, de acordo com a visão e estratégia da empresa, devemos definir níveis e critérios do modelo

de maturidade. A primeira medição feita é o ponto de partida, as seguintes mostram a evolução. As condições de medição devem ser relatadas (Goksen, 2014).

Os modelos de maturidade baseiam-se nas premissas de que pessoas, organizações, áreas funcionais, processos, evoluem por meio de um processo de desenvolvimento ou crescimento na direção de uma maturidade mais avançada, passando níveis. Um nível no modelo é uma base a partir da qual uma evolução para um nível de maturidade superior pode ser planejada e implementada (Santos et al; 2018).

O objetivo dos modelos de maturidade é quantificar as atividades realizadas, torná-las mensuráveis e desenvolvê-las, ou seja, fazê-las amadurecer ao longo do tempo (Aksu, 2013). Em vez de criar seus próprios modelos de maturidade ou usar modelos de maturidade específicos na adoção dos elementos habilitadores da Indústria 4.0, as instituições geralmente adotam algumas partes de modelos, metodologias, normas e melhores práticas consagrados e mais genéricos como COBIT, ITIL, PMI, CMMI, ISO. Esta prática tem vantagens e desvantagens. As vantagens alegadas são que estes modelos estão prontos para usar e não há necessidade de perder tempo pensando no design, foram testados, usados por outras instituições e continuam a ser desenvolvidos, tendo muitas pessoas e instituições que utilizam e contribuem.

Entre as desvantagens indetificadas temos a existência de escopos parciais, sendo generalizados para TI, apelam ao geral e podem não mostrar a verdadeira dinâmica da instituição, são únicos e pouco flexíveis.

A seguir serão apresentados três modelos de maturidade específicos para a indústria 4.0, identificados na pesquisa bibliográfica realizada para este artigo.

## **2.2 Os 3 modelos de maturidade para Indústria 4.0 estudados no artigo**

A maturidade pode ser capturada qualitativamente ou quantitativamente de forma discreta ou contínua (Kohlegger, 2009). Descrevemos a seguir os três modelos de avaliação do nível de maturidade para Indústria 4.0, apontados com maior frequência e que apresentaram estudo de caso na bibliografia pesquisada.

### **2.2.1 The Acatech Industrie 4.0 Maturity Index**

Em Acatech Study, (Günther, 2020) enfatiza que cada organização de acordo com suas características e objetivos estratégicos, terá um diferente caminho na transformação inerente a Indústria 4.0, desta forma, o estabelecimento de índices de maturidade neste processo deve observar estas diferenças. O modelo proposto apresenta 6 estágios de maturidade, sequenciais, interdependentes e focados no atingimento dos objetivos e características da organização.

O primeiro nível diz respeito à informatização que fornece a base para a digitalização, porém ainda temos diferentes tecnologias da informação sendo usadas isoladamente na organização, principalmente para realizar tarefas repetitivas com mais eficiência.

O segundo nível trata da conectividade. Temos os primeiros componentes conectados, integrando aplicativos de negócios aos principais processos empresa, partes dos sistemas operacionais (OT) apresentam conectividade e

interoperabilidade, mas a integração total das camadas de TI e OT não está consolidada.

O terceiro nível considera a visibilidade por sensores, permite que os processos sejam capturados do início ao fim, com um grande número de pontos de dados. Isso torna possível manter um modelo digital atualizado de fábricas em todos os momentos, oferecendo suporte às decisões de gestão.

O quarto é atingido com a transparência, a empresa passa a compreender por que algo está acontecendo e usa esse entendimento para produzir conhecimento por meio de análises de causa raiz, introdução de tecnologias que suportam a análise de grandes volumes de dados (Big Data).

O quinto nível aborda a capacidade preditiva, nesse estágio a empresa é capaz de simular diferentes cenários futuros e identificar os mais prováveis, como resultado, as empresas são capazes de antecipar futuros desenvolvimentos para que possam tomar decisões e implementar.

O sexto nível trata a adaptabilidade preditiva, nesta etapa a empresa já consegue delegar certas decisões aos sistemas de TI e se adaptar a um ambiente de negócios em mudanças constantes, o grau de adaptabilidade depende da complexidade das decisões e a relação custo-benefício.

## **2.2.2 Modelo IMPULS-VDMA – Autoavaliação de empresas - Indústria 4.0**

A Associação de Fabricantes de Máquinas da Alemanha (VDMA), através da Fundação IMPULS, auxiliada por empresas representativas do setor industrial alemão, e por instituições de pesquisa como a IW Consult, uma subsidiária do Cologne Institute for Economic Research, e pelo Institute for Industrial Management (FIR), pertencente a RWTH Aachen University, ambos na Alemanha, realizou um estudo acerca da preparação das empresas para a transformação na Indústria 4.0 e construiu uma ferramenta online para que as empresas possam se auto avaliar.

Segundo Santos (2018) em seu estudo, é pretendido que esta ferramenta traga a visão maior dos conceitos, para apoiar mais de perto a realidade dos negócios. Ela realça os marcos desafiadores que as empresas precisam transpor para continuar no caminho da transformação para a Indústria 4.0.

O estudo realizado traz as definições da Indústria 4.0 e a resume de forma que as empresas obtenham um conjunto de quatro capacidades implementadas, indicados pelas próprias empresas: fábricas inteligentes, produtos inteligentes, operações inteligentes, e serviços baseados no uso de dados.

Esta ferramenta é um modelo de avaliação de maturidade composto por seis dimensões de agrupamento, que contemplam 18 áreas de interesse distribuídas nas dimensões, que são os fundamentos do modelo de avaliação. Além das quatro já descritas acima (fábricas inteligentes, produtos inteligentes, operações inteligentes, e serviços baseados no uso de dados), e o grupo de trabalho identificou mais duas dimensões para compor o modelo: “estratégia e organização”, e “força de trabalho”, estas são apresentadas na Tabela 1, com suas respectivas capacidades de transformação (Santos et al., 2016):

As dimensões são usadas para desenvolver um modelo de seis níveis de maturidade (Fora do Processo, Iniciantes, Intermediários, Experientes, Especialistas, e Alta performance), e para medir a preparação da empresa na Indústria 4.0. Cada um dos seis níveis (descritos de 0 a 5) inclui os requisitos

mínimos que devem ser identificados e encontrados para preencher completamente o respectivo nível.

O nível de maturidade de uma determinada dimensão é definido pelo menor nível de maturidade dos respectivos itens de avaliação que a compõem. Se, por exemplo, em uma dimensão, um item de avaliação tiver um nível de maturidade 1 e os demais itens de avaliação tiverem nível de maturidade 4, o nível de maturidade da dimensão será 1, pois entende-se que a empresa precisa preencher completamente os requisitos de cada dimensão de maneira que os desenvolvimentos dos itens caminhem de forma paralela, denotando uma sintonia e compatibilização das ações pertinentes a cada dimensão.

Tabela 1 - Dimensões e itens de avaliação de maturidade - Modelo IMPULS-VDMA

DIMENSÕES	ITENS DE AVALIAÇÃO DE MATURIDADE
ESTRATÉGIA e ORGANIZAÇÃO	Gestão estratégica para operacionalização da Indústria 4.0
	Investimentos nas tecnologias da Indústria 4.0
	Gestão da inovação e uso de tecnologia
FÁBRICAS INTELIGENTES	Modelagem digital
	Infraestrutura de equipamentos
	Uso de dados
	Sistemas de informação
OPERAÇÕES INTELIGENTES	Uso da nuvem
	Segurança das tecnologias de informação
	Processos autônomos
	Partilha de informações
PRODUTOS INTELIGENTES	Softwares embarcados nos produtos
	Análise de dados durante a fase de utilização do produto
SERVIÇOS DERIVADOS DE DADOS COLETADOS	Disponibilidade de serviços baseados em dados coletados
	Proporção de receitas derivadas de serviços baseados em dados coletados
	Proporção de dados utilizados na fase de uso do produto
FORÇA DE TRABALHO	Habilidades existentes da força de trabalho
	Aquisição de habilidades

Fonte: Santos, 2018

Cada dimensão do modelo possui seus próprios requisitos, mas os seis níveis são apresentados abaixo de forma mais abrangente e caracterizam o nível de maturidade atribuído a empresa como um todo:

O nível 0 fora do processo, uma empresa neste nível não possui nenhum dos requisitos. Este nível é atribuído às empresas em que a Indústria 4.0 é desconhecida ou declarada irrelevante.

O nível 1 iniciante, a empresa está envolvida na Indústria 4.0 através de iniciativas piloto, alguns dos processos produtivos são suportados por TIC, sistemas integrados e partilha de informações limitadas.

No nível 2 – Intermediário, as empresas já incorporam a Indústria 4.0 em sua estratégia, investimentos, indicadores de status de implementação, coleta de dados da produção, habilidades de alguns funcionários e primeiros produtos com TIC embarcado.

No nível 3 – Experiente classificamos as empresas com estratégia já formulada, investimentos orientados por gestão da inovação, processos de produção suportados por TIC, coleta automática de dados das principais áreas, segurança da informação implantada, produtos com diversas funcionalidades de

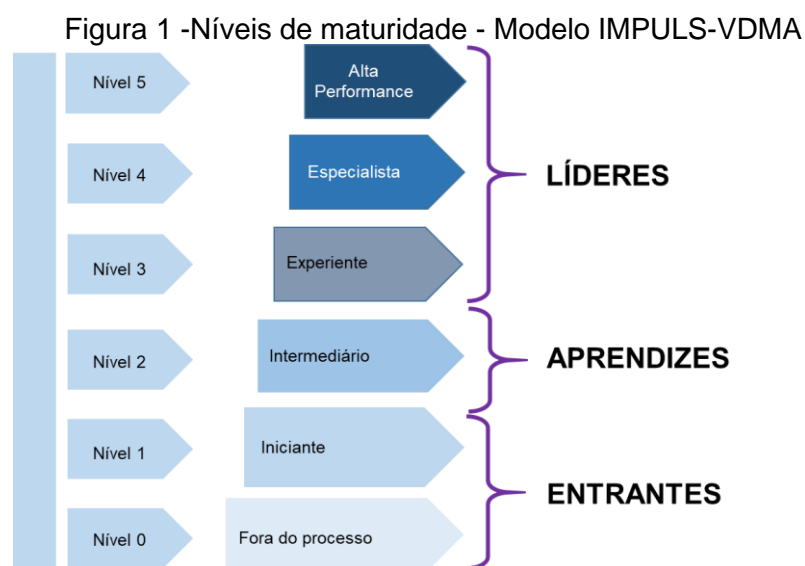
TIC, primeiros serviços orientados por dados, foco nas habilidades dos funcionários.

No nível 4 – Especialista temos as empresas que, monitoram a estratégia, investimentos em gestão da inovação interdepartamental, funcionalidades baseadas em TIC em todos produtos possibilitam a comunicação com clientes, coleta e análise de dados sobre uso dos produtos, nível de maturidade para expansão da Indústria 4.0.

O nível 5 de alta performance temos as empresas com estratégia totalmente implantada, infraestrutura de TIC apóia os processos de produção autonomos, uso dos dados coletados no desenvolvimento de produtos, manutenção remota, suporte a vendas. capacidades técnicas e habilidades consolidadas.

De acordo com o grau de maturidade obtido na aplicação do modelo, as empresas são classificadas em três tipos: “Entrantes”, aquelas que ainda estão iniciando o caminho de transformação, as “Aprendizes”, aquelas que já se engajaram nos primeiros passos do processo de transformação, mas que ainda estão aprendendo a implementar as técnicas e conceitos, e as “Líderes”, aquelas que já alcançaram resultados satisfatórios e servem como exemplos de implementação dos conceitos da Indústria 4.0.

A figura 1 representa os níveis de maturidade do modelo e as respectivas classificações da empresa com relação aos resultados obtidos.



Fonte: Santos,2018

O modelo pressupõe a determinação de fatores de ponderação para as dimensões, de forma que a determinação do nível de maturidade da empresa com um todo seja feita através de uma média ponderada dos níveis de maturidade de cada dimensão, multiplicados pelos respectivos fatores de ponderação.

A definição dos fatores de ponderação das dimensões foi feita com base no estudo realizado com o conjunto de empresas, através de questionamentos a respeito da importância relativa que cada dimensão tinha para as empresas.

Assim, a partir de amostra avaliada, considerada representativa no universo das empresas de Engenharia, foi obtido o seguinte resultado da importância relativa das dimensões, considerando um total de 100 pontos possíveis:

Estratégia e Organização – 25%, fábricas inteligentes – 14%, produtos inteligentes – 19%, serviços baseados em dados – 14%, operações inteligentes – 10%, força de trabalho – 18%.

As importâncias relativas identificadas no estudo acima, servem apenas como exemplo de como os fatores podem alterar a composição de futuros modelos que venham a ser criados com o mesmo propósito, e demonstram a não uniformidade de relevância de todas as dimensões. E também estas importâncias relativas podem variar, de acordo por exemplo com o setor industrial, com o grau de automação dos processos produtivos, da disponibilidade de recursos e também com os objetivos estratégicos de cada organização. (Santos, 2018).

Foi desenvolvida uma ferramenta online, onde as empresas interessadas podem fazer a auto avaliação quanto à preparação e adaptação na Indústria 4.0 e permite uma comparação com as empresas líderes, no mesmo segmento de atuação e do mesmo porte (pequenas, médias e grandes empresas).

A autoavaliação online é constituída por diversas questões distribuídas pelas seis dimensões, e que buscam compreender o grau de entendimento e de ações de fato implantadas nas empresas, a fim de estabelecer o grau de maturidade nas dimensões e da empresa como um todo.

### **2.2.3 O modelo de Schumacher**

Schumacher et al. (2018) analisa várias estruturas de maturidade existentes e com base em experiências de workshops de orientação estratégica com diversas empresas, desenvolve um modelo que enfoca os aspectos organizacionais em colaboração com empresas de manufatura, sendo este modificado para ser mais prático.

A modificação é importante porque as estruturas de maturidade digital precisam ser adaptadas ao contexto específico (Schumacher et al. 2018). Ele afirma em seu estudo, que as empresas têm sérios problemas em captar holisticamente a ideia da Indústria 4.0, os conceitos e aplicações derivados dela. Por um lado, elas não são capazes de relacionar estrategicamente os benefícios da Indústria 4.0 ao seu negócio, e por outro, elas se deparam com problemas em determinar o seu atual estado de desenvolvimento relacionado à visão da Indústria 4.0. Desta forma, as empresas falham em identificar áreas concretas e o caminho correto para o desenvolvimento de ações, programas e projetos. Então, para suprir as incertezas e as necessidades das empresas de manufatura, com relação às transformações da Indústria 4.0, novos métodos e ferramentas são necessários para prover um guia e o suporte para o alinhamento das estratégias de negócios e operações com as novas tecnologias emergentes.

Schumacher et al. (2018) definiu em seu estudo um total de 65 itens de avaliação de maturidade, agrupados em 8 dimensões organizacionais. Seguiu-se uma fase de transformação do modelo em uma ferramenta útil e de uma forma adequada de distribuição. Posteriormente, o modelo foi aplicado em duas empresas industriais para validação, e coleta de sugestões de melhorias. As dimensões organizacionais consideradas no modelo são:

Tecnologia, que considera a integração de sistemas, utilização de cloud computing, dispositivos móveis no chão de fábrica, segurança cibernética, Big data, IOT, manufatura digital, manufatura aditiva e utilização de robôs.

Produtos que considera individualização do produto, flexibilidade das características do produto, coleta de informações de uso do produto, integração dos produtos em outros sistemas, IoT, compatibilidade digital e interoperabilidade de produtos, serviços de TI relacionados à produtos físicos.

Clientes e parceiros, com abertura a novas tecnologias, competência em TIC moderna, digitalização do contrato do cliente, integração do cliente no desenvolvimento do produto, utilização de dados relacionados ao cliente, colaboração de TI para desenvolvimento de produtos, contato digital com parceiros,.

Processo de criação de valor, envolvendo automação do processo de criação de valor, autonomia do parque de máquinas, M2M, controle remoto do parque de máquinas, controle de qualidade automatizado, controle de elementos de automação colaboração de humanos e robôs.

Dados e informações considerando processos de informação digital, coleta de dados automatizada, análise de dados coletados, tomada de decisão baseada em dados, individualização de informações fornecidas, visualização digital de processos, simulação de software baseado cenários futuros.

Normas corporativas cotemplando padrões tecnológicos, recrutamento para a indústria 4.0, ajustes de arranjo de trabalho, treinamento de funcionários para competências digitais, proteção legal para produtos e serviços digitais, segurança cibernética, regras para funcionários em ambiente de trabalho digital.

Profissionais considerando a abertura novas tecnologias, competências com TIC, conscientização do trabalho sobre dados, conscientização sobre segurança cibernética, flexibilidade do trabalho, autonomia dos trabalhadores do chão de fábrica, experiência com trabalho interdisciplinar, disponibilidade para formação contínua em serviço, conhecimentos sobre as competências dos funcionários.

Estratégia/liderança contém mapa estratégico para a implementação da indústria 4.0, disponibilidade de recursos para a realização das ações, avaliação de risco para a indústria 4.0, comunicaçãodas atividades da indústria 4.0, preparação das lideranças, competências e métodos de gestão, coordenação central das atividades da indústria 4.0 atenção.

Cada item de avaliação tratado de acordo com 5 níveis de maturidade, onde o mais baixo (nível 1) representa a completa falta de atributos que suportam os conceitos da Indústria 4.0 e o nível mais alto (nível 5) representa o estado da arte dos atributos requeridos.

As avaliações são resumidas em um processo de 3 etapas, medição dos itens de maturidadevia questionários, cálculo do nível de maturidade em cada uma das 8 dimensões apresentção dos resultados

Schumacher et al. (2016) destaca que para a aplicação do questionário nas empresas, é necessário que o entrevistado possua um bom entendimento dos conceitos da Indústria 4.0.

Para o cálculo do nível de maturidade de cada dimensão, são feitas médias ponderadas dos resultados obtidos em cada item de avaliação, multiplicado pelo respectivo fator de ponderação. Este fator de ponderação é obtido a partir de pesquisas com especialistas, determinando o grau de relevância de cada item de maturidade no processo de adoção da Indústria 4.0. Analogamente, para a determinação do nível de maturidade global da empresa, são feitas médias ponderadas dos níveis de maturidade calculados de cada dimensão, multiplicados pelo fator de ponderação de cada dimensão. Este fator de ponderação é a média dos fatores de cada item de maturidade contido na dimensão.



### 3. Método de pesquisa

O método utilizado nessa pesquisa foi um estudo bibliográfico de publicações que focam em modelos da maturidade aplicáveis à indústria 4.0, obtidos a partir de bases científicas de conhecimento, Google Scholar e Scopus com o uso da ferramenta Publish or Perish.

Os resultados foram avaliados de forma quantitativa com foco exploratório e qualitativo com a seleção, leitura e análise de conteúdo dos artigos com maior quantidade de citações, utilizados para apoio na fundamentação teórica e entendimento dos métodos. A análise de conteúdo é uma técnica de estudo de dados qualitativos utilizada para extrair percepções, conceitos e evidências de textos acadêmicos, por meio das etapas pré-análise, exploração, tratamento e exploração dos resultados (Bardin, 2011)..

Foi apresentada estatística demonstrando a evolução da produção de artigos relacionados ao tema, sem restrição do período investigado.

A tabela 2 apresentada a seguir contempla os artigos com maior quantidade de citações encontrados na pesquisa.

Tabela 2 -Relação dos artigos com maior quantidade de citações

CITAÇÕES	AUTOR	TEMA	ANO
89	A Schumacher, T Nemeth, W Sihn	Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises	2019
52	J Oleśków-Szapka, A Stachowiak	The framework of logistics 4.0 maturity model	2018
46	A De Carolis, M Macchi, B Kulvatunyo	Maturity models and tools for enabling smart manufacturing systems: comparison and reflections for future developments	2017
40	V Felch, B Asdecker, E Sucky	Maturity models in the age of Industry 4.0–Do the available models correspond to the needs of business practice?	2019
20	B Gajsek, J Marolt, B Rupnik, T Lerher...	Using maturity model and discrete-event simulation for Industry 4.0 implementation	2019
18	TC Lin, KJ Wang, ML Sheng	To assess smart manufacturing readiness by maturity model: A case study on Taiwan enterprises	2020
11	GJ Maasz, H Darwish	Towards an initiative-based industry 4.0 maturity improvement process: master drilling as a case study	2018
7	D Dikhanbayeva, S Shaikholla, Z Sulein	Assessment of Industry 4.0 maturity models by design principles	2020
7	WG Ryan, A Fenton, W Ahmed, P Scarf	Recognizing Events 4.0: the digital maturity of events	2020
4	LR Moura, H Kohl	Maturity Assessment in Industry 4.0–A Comparative Analysis of Brazilian and German Companies	2020
4	M Bertolini, G Esposito, M Neroni, G R	Maturity models in industrial internet: a review	2019
4	ZA Al-Sai, R Abdullah	A review on big data maturity models	2019
4	C Sassanelli, M Rossi, S Terzi	Evaluating the smart maturity of manufacturing companies along the product development process to set a PLM project roadmap	2020
3	M Glogovac, J Ruso, M Maricic	ISO 9004 maturity model for quality in industry 4.0	2020
2	P Cyplik, J Oleskow-Szapka, A Tobola...	Building a model for assessing the maturity of polish enterprises in terms of logistics 4.0 assumptions	2019
2	PK Hajoary	Industry 4.0 Maturity and Readiness Models: A Systematic Literature Review and Future Framework	2020
2	CG Machado, P Almström, AE Öberg, M	Maturity Framework Enabling Organizational Digital Readiness	2020
2	LV Ungerer	Towards an Extended Science-Based Multi-Dimensional Scan for assessing Smart Industry Maturity	2019

Fonte: o autor

### 4. Resultados e discussão

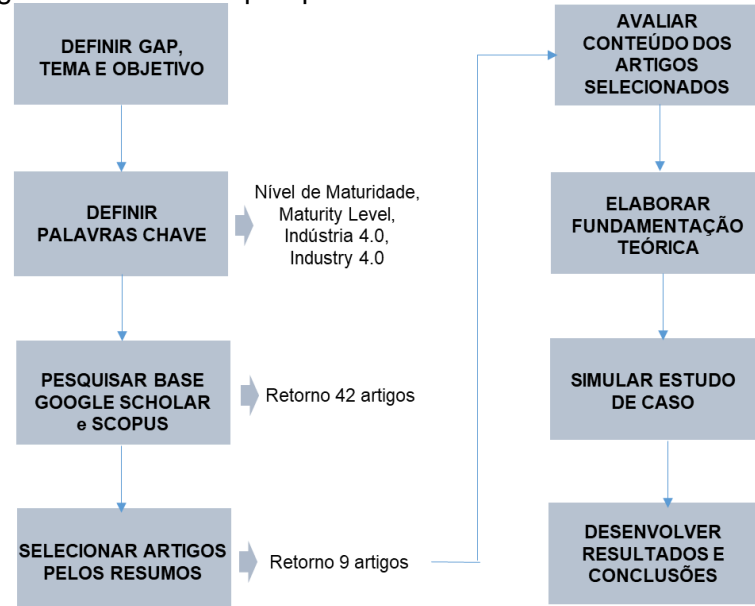
Nessa seção são apresentados os resultados da pesquisa bibliográfica sobre os modelos e exemplo de utilização de modelos.

#### 4.1 Estudo bibliométrico

O estudo bibliográfico foi executado seguindo as etapas de seleção de bases de dados, escolha das palavras-chave mais adequadas para atender ao objetivo

da pesquisa, refinamento do resultado por meio da retirada de resultados repetidos e preparação das visões gráficas e a apresentação dos resultados. As bases escolhidas foram a google scholar e scopus e o levantamento foi realizado conforme a figura 2 resultando em 8 artigos selecionados para leitura e estudo do conteúdo.

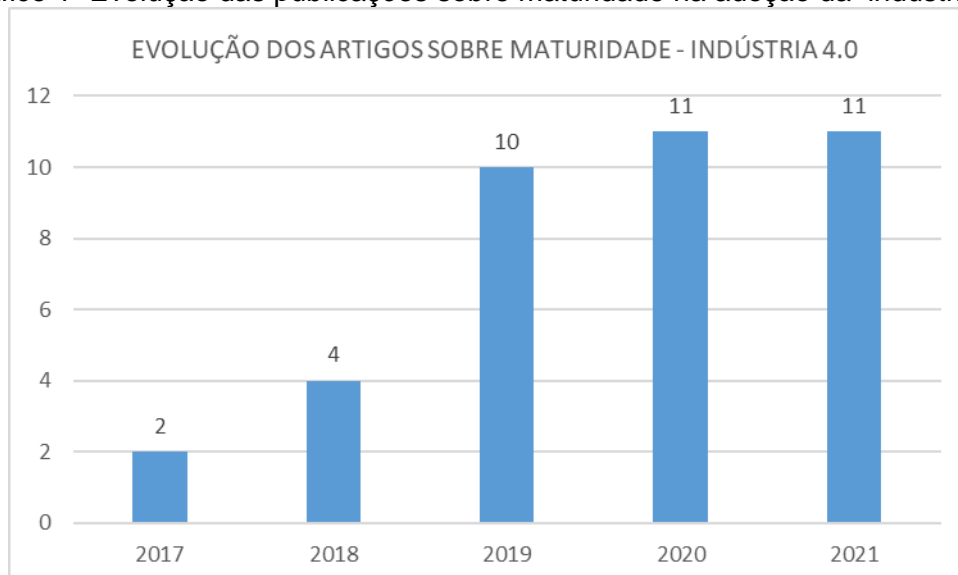
Figura 2 -Método de pesquisa e desenvolvimento do estudo



Fonte:o autor

Pela análise quantitativa, podemos observar um crescimento na produção de artigos sobre o tema a partir de 2017, atingindo maior relevância em 2021.

Gráfico 1 -Evolução das publicações sobre maturidade na adoção da indústria 4.0



Fonte:o autor

Conforme é possível perceber no Gráfico 1 a produção de artigos sobre o tema a partir de 2019 aumentou substancialmente. Enquanto em 2017 e 2018

foram selecionados entre os mais relevantes respectivamente 2 e 4 artigos, em 2019 foram selecionados 10 artigos e em 2020 e 2021 11 artigos em cada ano.

## 4.2 Exemplo de aplicação do modelo Schumacher

Com o objetivo de mostrar a praticidade do modelo Schumacher, o mais completo encontrado na literatura pesquisada, foi construída uma simulação de seu uso apresentada a seguir.

O modelo de Schumacher aqui avaliado apresentou-se bastante adequado como instrumento para medição do nível de maturidade das organizações em relação aos elementos da indústria 4.0, à medida em que consolida conceitos discutidos em outros modelos já consagrados como “The Acatech Industrie 4.0 Maturity Index” e o IMPULS-VDMA. Adicionalmente, como podemos observar no exemplo abaixo apresentado, notamos granularidade de análise bastante interessante, que permite identificar os pontos críticos das organizações no sentido de evolução nos níveis de maturidade, oferecendo instrumentos para elaboração de planos e foco das ações, para adoção das medidas de governança que possibilitem o direcionamento e agilidade na evolução dos níveis de maturidade da organização.

A coleta de informações para a avaliação da maturidade por este método considera a investigação dos itens de maturidade dentro de uma empresa, realizada por meio de um questionário padronizado que consiste em uma pergunta fechada por item. Cada pergunta requer uma resposta a uma escala de Likert que vai de 1- “não distinto” a 5- “muito distinto”.

A escolha do público respondente da pesquisa deve considerar domínio sobre os conceitos básicos da Indústria 4.0 e as respostas devem alimentar uma ferramenta de software para calcular e representar o nível de maturidade.

Paralelamente, são consultados especialistas para definição do grau de importância dos itens para o desenvolvimento em direção a uma empresa madura no sentido da Indústria 4.0. Por exemplo, na dimensão “Tecnologia” a utilização de “Big Data” pode ter uma contribuição maior para a maturidade da Indústria 4.0 do que o item “utilização de dispositivos móveis”. Desta forma foram consideradas as classificações de especialistas para ponderar o efeito deste item na mensuração do grau de maturidade de cada dimensão.

No estudo de Schumaker (2018) esta pesquisa com especialistas foi por meio da distribuição por e-mail de 123 questionários para profissionais e pesquisadores, que resultou em 23 respostas. A importância prática de cada item de maturidade foi avaliada em uma escala Likert, indo de “não importante” (avaliação = 1) a “muito importante” (avaliação = 4). Por exemplo, o item “a utilização de “Big Data” foi classificado com uma importância média de 3,4 em 4, enquanto “utilização de dispositivos móveis” foi classificado com 2,8. Em uma etapa seguinte, o nível de maturidade ( $M_d$ ) de cada dimensão resulta do cálculo da média ponderada de todos os itens de maturidade ( $M_{d,i}$ ) dentro de sua dimensão relacionada. O fator de ponderação ( $G_{d,i}$ ) é igual à classificação de importância média de todos os 23 especialistas para cada item. O nível de maturidade é calculado usando a seguinte fórmula:

$$M_d = \frac{\sum_{i=1}^n M_{d,i} * G_{d,i}}{\sum_{i=1}^n G_{d,i}} \quad \text{onde: } M - \text{Maturidade} \\ d - \text{Dimensão}$$

- i – Item  
 G – Fator de relevância  
 n – Número do item de maturidade

As respostas das 65 questões referentes a cada um dos itens de maturidade recebidas através de um questionário integrado em uma página da web, são processadas de maneiras suportadas por software e os resultados são automaticamente calculados.

A seguir, apresentamos uma simulação com base no modelo de Schumacher (2018). Para isso consideramos na simulação os seguintes valores de MDi e Gli da Tabela 3.

Tabela 3 - Dimensões e itens de avaliação de maturidade - Schumacher

DIMENSÕES	ITENS DE AVALIAÇÃO DE MATURIDADE	MDi	Gli
TECNOLOGIA	Integração de sistemas	3,0	3,1
	Utilização de cloud computing	2,0	3,2
	Dispositivos móveis no chão de fábrica	1,0	2,8
	Segurança cibernética	2,0	3,1
	Big Data	1,0	3,4
	IOT	2,0	3,0
	Manufatura digital	2,0	3,1
	Manufatura aditiva	2,0	3,1
	Utilização de robôs	2,0	3,1
PRODUTOS	Individualização do produto	2,0	3,0
	Flexibilidade das características do produto	3,0	3,1
	Coleta de informações de uso do produto	3,0	3,0
	Integração dos produtos em outros sistemas	3,0	3,1
	IOT	2,0	3,0
	Compatibilidade digital e interoperabilidade de produtos	2,0	2,9
	Serviços de TI relacionados a produtos físicos	2,0	3,0
CLIENTES e PARCEIROS	Abertura a novas tecnologias	3,0	2,9
	Competência com TIC modernas	2,0	2,8
	Digitalização do contato com o cliente	3,0	3,0
	Integração do cliente no desenvolvimento do produto	2,0	2,9
	Utilização de dados relacionados ao cliente	3,0	2,9
	Colaboração de TI para desenvolvimento de produtos	3,0	3,1
	Contato digital com parceiros da empresa	2,0	2,9
	Grau de digitalização do parceiro da empresa	2,0	3,0
PROCESSO DE CRIAÇÃO DE VALOR	Automação do Processo de criação de valor	2,0	3,0
	Autonomia do parque de máquinas	3,0	3,1
	M2M	3,0	3,0
	Controle remoto do parque de máquinas	3,0	3,0
	Controle de qualidade automatizado	3,0	3,2
	Manutenção de máquinas baseadas em banco de dados	2,0	3,1
	Controle de elementos de automação	2,0	3,1
	Colaboração de humanos e robôs	1,0	3,2
DADOS E INFORMAÇÕES	Processos de informação digital	2,0	3,2
	Coleta de dados automatizada	2,0	3,1
	Análise dos dados coletados	1,0	3,1
	Tomada de decisão baseada em dados	1,0	3,3
	Fornecimento automatizado de informações	2,0	3,1
	Individualização das informações fornecidas	2,0	3,0
	Visualização digital de processos	2,0	3,0
	Simulação de software baseada em dados de cenários futuros	2,0	3,1

Fonte:Schumacher,2018

Tabela 3 -Dimensões e itens de avaliação de maturidade - Schumacher

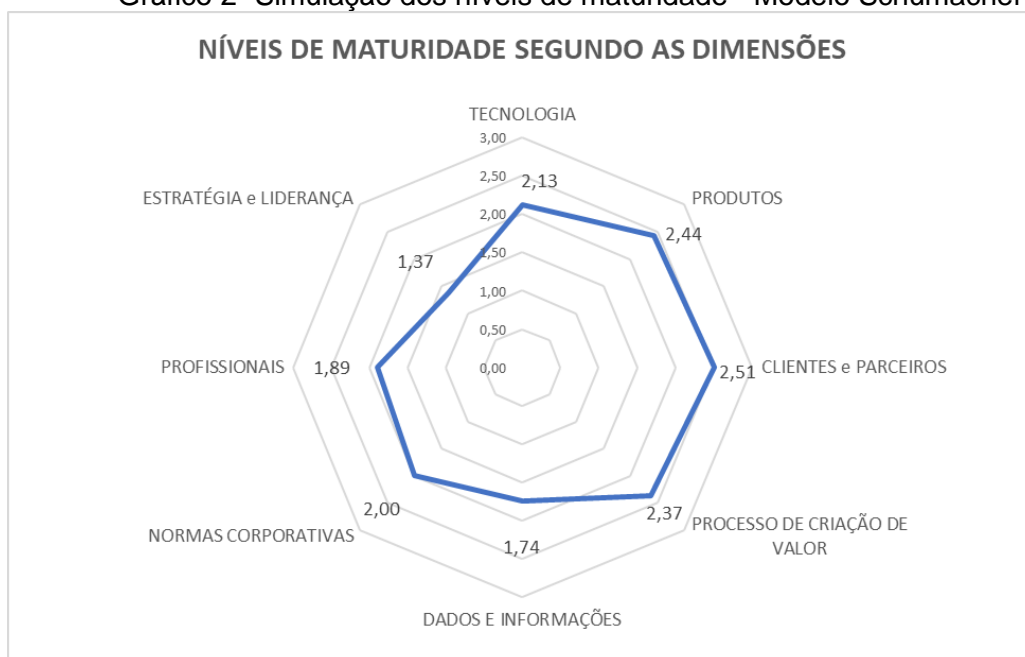
DIMENSÕES	ITENS DE AVALIAÇÃO DE MATURIDADE	MDi	Gli
NORMAS CORPORATIVAS	Acompanhamento da realização da Indústria 4.0	2,0	3,2
	Padrões tecnológicos	2,0	3,2
	Recrutamento para Indústria 4.0	2,0	3,3
	Ajustes de arranjos de trabalho	2,0	3,0
	Treinamentos de funcionários para competências digitais	2,0	3,2
	Proteção legal para produtos e serviços digitais	2,0	3,3
	Segurança cibernética	2,0	3,1
	Regras para funcionários em ambiente de trabalho digital	2,0	3,0
PROFISSIONAIS	Abertura a novas tecnologias	3,0	3,2
	Competências com TIC modernas	2,0	3,1
	Conscientização dos trabalhadores sobre os dados	1,0	3,2
	Conscientização dos trabalhadores sobre segurança cibernética	1,0	3,1
	Disponibilidade para flexibilizar o trabalho	2,0	3,0
	Autonomia dos trabalhadores do chão de fábrica	2,0	3,1
	Experiência com trabalho interdisciplinar	2,0	3,0
	Disponibilidade para a formação contínua em serviço	2,0	3,3
ESTRATÉGIA e LIDERANÇA	Conhecimento sobre as competências dos funcionários	2,0	3,2
	Mapa estratégico para a implementação da Indústria 4.0	1,0	3,4
	Disponibilidade de recursos para a realização das ações	2,0	3,2
	Avaliação de risco para a Indústria 4.0	2,0	3,1
	Comunicação e documentação das atividades da Indústria 4.0	1,0	3,2
	Objetivos dos funcionários para realizar a Indústria 4.0	1,0	3,3
	Preparação das lideranças	1,0	3,4
	Competencias e métodos de gestão	2,0	3,3
Coordenação central das atividades da Indústria 4.0	1,0	3,2	

Fonte:Schumacher,2018

Neste caso, para efeito ilustrativo e de um melhor entendimento do método, simulamos os níveis atingidos pela pesquisa em cada item de maturidade, conforme apresentado na coluna MDi da Tabela 3.

Os cálculos da simulação foram realizados através da ferramenta Excel, no Gráfico 2 – radar é visualizado o nível de maturidade em oito dimensões.

Gráfico 2 -Simulação dos níveis de maturidade - Modelo Schumacher



Fonte:o autor

Para aumentar a compreensão sobre a sistemática do modelo, a avaliação e cálculo da dimensão número 8 denominado “Estratégia e Liderança” é apresentado em detalhes no Gráfico 3.

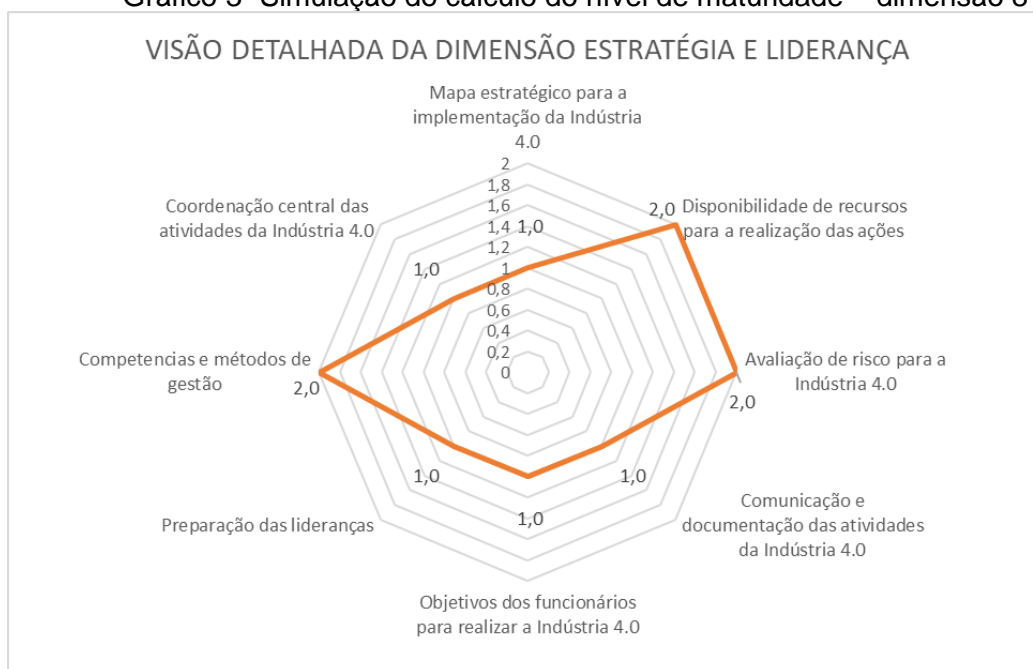
### Exemplo do cálculo da dimensão número 8 – Estratégia e liderança

- M8/1 (Mapa estratégico para implementação da Indústria 4.0) = 1; G8/1 = 3,4
- M8/2 (Disponibilidade de recursos para realização das ações) = 2; G8/2 = 3,2
- M8/3 (Avaliação de risco para a Indústria 4.0) = 2; G8/3 = 3,1
- M8/4 (Comunicação e documentação das atividades da Indústria 4.0) = 1; G8/4 = 3,2
- M8/5 (Objetivos dos funcionários para realizar a Indústria 4.0) = 1; G8/5 = 3,3
- M8/6 (Preparação das lideranças) = 1; G8/6 = 3,4
- M8/7 (Competências e métodos de gestão) = 2; G8/7 = 3,3
- M8/8 (Coordenação central das atividades para a Indústria 4.0) = 1; G8/8= 3,2

$$M8 = \frac{\sum_{i=1}^n M8, i * G8, i}{\sum_{i=1}^n G8, i} = \frac{(1*3,4)+(2*3,2)+(2*3,1)+(1*3,2)+(1*3,3)+(1*3,4)+(2*3,3)+(1*3,2)}{3,4+3,2+3,1+3,2+3,3+3,4+3,3+3,2} =$$

Nível de maturidade apurado = 1,37

Gráfico 3 -Simulação do cálculo do nível de maturidade – dimensão 8



Fonte: o autor

## 5. Considerações finais

A questão de pesquisa foi respondida de forma satisfatória. O estudo bibliográfico apresentou três modelos de maturidade com referências da aplicação, proporcionando uma cobertura abrangente sobre os elementos da indústria 4.0.

Os modelos de maturidade da The Acatech Industrie 4.0 Maturity Index e IMPULS-VDMA consideraram a medição através de 6 níveis, onde o nível inicial indica que a organização não tem nenhuma habilidade da indústria 4.0 e no último nível temos as empresas com pleno uso da tecnologia, já o modelo sugerido por Schumacher adota a mesma abordagem com a medição em 5 níveis de maturidade.

Tabela 4 -Visão comparativa das dimensões entre os modelos

Schumacher	ACATECH	IMPULS-VDMA
Estratégia e Liderança	Estrutura Organizacional	Estratégia e Organização
Processos de criação de valor	Cultura Organizacional	Força de Trabalho
Profissionais		
Tecnologia	Recursos	Fábricas Inteligentes
Dados e Informações	Sistemas de Informação	Operações Inteligentes
Produtos		Produtos inteligentes
		Serviços derivados de Dados coletados
Clientes		
Normas Corporativas		

Fonte: o autor

Os três modelos consideram o enquadramento das análises em dimensões, conforme observado na tabela 4. Em Acatech Study, (Günther, 2020) enfatiza que cada organização de acordo com suas características e objetivos estratégicos, terá um diferente caminho na transformação inerente a Indústria 4.0, desta forma, o estabelecimento de índices de maturidade neste processo deve observar estas diferenças, Essa visão por dimensões possibilita um melhor tratamento destas especificidades. No modelo de Schumacher os itens de maturidade pesquisados em cada dimensão tem uma granularidade maior que os demais, adicionalmente são ponderados com um índice de relevância para o segmento econômico apresentado por especialistas do setor.

O modelo IMPULS-VDMA propõe que as empresas tenham condições de fazer uma autoavaliação, através de uma ferramenta on-line que trata os efeitos comparativos das referências do setor.

Observamos também, durante as pesquisas, uma frequência de artigos em datas recentes, a partir de 2017 conforme demonstrado no gráfico 1, indicando que o interesse pelo tema vem crescendo recentemente, possivelmente a medida que as expectativas quanto a evolução do processo de adoção da indústria 4.0 se consolida.

Como estudos futuros propõe-se a aplicação em organizações Brasileiras, com uma pesquisa ampla e a aplicação de estudos de casos específicos. Porém o artigo apresenta uma farta referência para estudos acadêmicos e deve contribuir para outros estudos futuros.

## Referências

ARAGON, A. F.; DINIZ, J. L.; ABREU, V.F. *Governança Digital 4.0 1ª ed*, Rio de Janeiro, BRASPORT, 2019.

ANDRADE, A.L. *Pensamento Sistêmico: Caderno de Campo*. Porto Alegre, Bookman, 2006.

AKSU, H. *BT Yoneticisinin El Kitabı: Kurumsal Bilisim Olgunluk Modeli*, Pusula Published Turkey 2013.

BARDIN, Laurence. *Análise de Conteúdo*. Edições Persona. São Paulo. Livraria Martins Fontes. 1977.

CMMI Product Team “Capability Maturity Model® Integration (CMMISM), Version 1.1” Carnegie Institute Pittsburgh, PA 15213-3890 Augst 2002.

GOKSEN, Y.; CEVIK, E.; AVUNDUK, H. - *A case analysis on the focus on the maturity models and information technologies* - Nis, Serbia, EBEEC, 2014.

KOHLEGGER, M.; MAIER, R.; S. THALMANN, S. *Understanding Maturity Models Results of a structured Content Analysis*, IKNOW, '09 and I-SEMANTICS '09, Graz, Austria, 2009.

MAASZ, G.J.; DARWISH, H. *Towards an initiative-based Industry 4.0 maturity improvement process: Master drilling as a case study*, South African Journal of Industrial Engineering, Vol 29(3) Special Edition, pp 92-107, 2018.

SANTOS, C. S.; MARTINHO, J.L.F. *Proposta de modelo de avaliação de maturidade da Indústria 4.0*. 1994. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) – ISEC Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, 2018.

SCHUH, G. S.; ANDERL, R.; DUMITRESCU, R.; KRÜGER, A.; HOMPEL, M. *Industrie 4.0 Maturity Index - Managing the Digital Transformation of Companies*, acatech STUDY, 2020.

SCHUMACHER, A.; NEMETH, T.; SIHN, W. *Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises*, 12<sup>th</sup> CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, ITALY, 2018.

SCHUMACHER, A., EROL, S., & SIHN, W. *A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises*. Procedia CIRP, 2016, 161–166. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>, 2016.