



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE MATURIDADE PARA *HEALTHCARE***

***4.0***

EVELINY DIAS DE MEDEIROS

JOÃO PESSOA

2023

EVELINY DIAS DE MEDEIROS

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE MATURIDADE PARA *HEALTHCARE 4.0***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para conclusão do Mestrado

Orientador: Dr. Prof. Luciano Costa Santos  
Coorientadora: Dra. Prof<sup>ª</sup>. Cláudia Fabiana Gohr

**JOÃO PESSOA**  
**2023**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

M488d Medeiros, Evelyn Dias de.

Desenvolvimento de um modelo de maturidade para  
Healthcare 4.0 / Evelyn Dias de Medeiros. - João  
Pessoa, 2023.

146 f. : il.

Orientação: Luciano Costa Santos.

Coorientação: Cláudia Fabiana Gohr.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Tecnologia - Healthcare 4.0. 2. Indústria 4.0. 3.  
Modelo de maturidade. I. Santos, Luciano Costa. II.  
Gohr, Cláudia Fabiana. III. Título.

UFPB/BC

CDU 004(043)

# DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE MATURIDADE PARA *HEALTHCARE 4.0*

EVELINY DIAS DE MEDEIROS

Esta Dissertação foi julgada e aprovada em sua forma final para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal da Paraíba.

João Pessoa, 28 de abril de 2023.



---

Prof. Dr. Luciano Costa Santos  
(Orientador)  
UFPB. CT. PPGEPS

Documento assinado digitalmente  
gov.br LUCIANO COSTA SANTOS  
Data: 25/06/2023 18:49:14-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente  
gov.br CLAUDIA FABIANA GOHR  
Data: 25/06/2023 18:52:01-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Cláudia Fabiana Gohr  
(Coorientadora)  
UFPB. CT. PPGEPS

Documento assinado digitalmente  
gov.br MARIA SILENE ALEXANDRE LEITE  
Data: 25/06/2023 23:22:17-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Maria Silene Alexandre Leite  
(Examinador interno)  
UFPB. CT. PPGEPS

Documento assinado digitalmente  
gov.br KLEBER FRANCISCO ESPOSTO  
Data: 26/06/2023 11:31:22-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Kleber Francisco Espôsto  
(Examinador externo)  
USP. EESC

**“Tudo posso naquele que me fortalece”  
Filipenses 4:13**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por permitir chegar até aqui, embora cheia de incertezas, anseios e dúvidas.

À minha família: minha mãe e irmãos pelas orações, incentivos, e por todo apoio material e emocional, aos meus sobrinhos, por serem o meu céu aqui na terra, especialmente Eloízy Mariana, por seus ensinamentos e cuidado a mim dispensados ao longo desse percurso.

Ao meu pai (*in memoriam*), que desde muito cedo tive que me adaptar à sua ausência, mas sei que sempre estive ao meu lado, ao meu irmão Edney (*in memoriam*), que por tão pouco tempo não pôde participar desse momento, porém sempre admirou a minha coragem.

Aos meus amigos, especialmente Diana, José e Klícia, que se fizeram presentes em toda a trajetória desse mestrado, me incentivando e acreditando em mim, quando muitas vezes nem eu acreditei, além de todo apoio material e emocional, me dando amor em forma de amizade.

Ao meu orientador Luciano Costa Santos, pela disponibilidade, atenção e zelo em todas as etapas deste trabalho, prezando sempre pela solidez científica e contribuição ao meio acadêmico.

À minha Coorientadora Cláudia Fabiana Gohr, pelos seus ensinamentos, e a quem devo a minha não desistência, por quem tenho grande admiração, respeito e por exercer a profissão de educador com tanto amor, paciência e dedicação, e me conduzir à finalização desse trabalho.

À professora Maria Silene Alexandre Leite, por todo o incentivo ao longo dessa jornada.

Aos professores doutores Maria Silene Alexandre Leite e Kleber Francisco Espôsto, pela disponibilidade em avaliar esse trabalho e pelas ricas contribuições feitas em suas avaliações.

À Universidade Federal da Paraíba e aos demais professores e funcionários ligados ao Programa de Pós-Graduação, que contribuíram direta ou indiretamente na minha formação.

A todos aqueles que fizeram parte dessa caminhada e que contribuíram de maneira direta ou indireta para que eu pudesse chegar até aqui: Muito Obrigada!

## RESUMO

Embora a Indústria 4.0 (I4.0) já tenha sido adotada por diferentes organizações, as empresas ainda precisam de instrumentos para avaliar o progresso alcançado. Dessa forma, os modelos de maturidade (MMs) são ferramentas úteis para essa finalidade, mas, em sua maioria, a literatura aponta que são elaborados para empresas de manufatura. Dentro da literatura consultada não foi encontrado modelos de maturidade para o *Healthcare* 4.0. Todavia, o impacto das tecnologias da I4.0 também é visível nos serviços de saúde e é denominado *healthcare* 4.0 (*H4.0*). Dessa forma, essas novas tecnologias podem fornecer serviços de saúde aprimorados e de valor agregado para os pacientes. Diante do exposto, essa dissertação tem como principal objetivo desenvolver um modelo de maturidade para *H4.0*. Especificamente, pretende-se (i) identificar níveis, dimensões e procedimentos dos modelos de maturidade para Indústria 4.0; (ii) analisar as particularidades dos conceitos e tecnologias da I4.0 para as operações de saúde; (iii) analisar a aderência dos níveis e dimensões de um modelo de maturidade para *Healthcare* 4.0 por meio da opinião de especialistas e estruturar um modelo para o *H4.0*; e (iv) aplicar do modelo proposto em hospitais públicos paraibanos. Por meio de uma revisão sistemática da literatura (RSL), foi possível identificar níveis, dimensões e procedimentos utilizados nos MMs possibilitando construir um quadro de referência com níveis de maturidade (do inexistente ao avançado) e dimensões (pessoas e cultura, estratégia, produtos/serviços, processos/operações, governança, organização, segurança, tecnologia e criação de valor) que podem auxiliar na adoção ou no desenvolvimento de novos modelos de maturidade. Em seguida, foi realizada uma pesquisa para identificar as principais tecnologias I4.0 utilizadas nos serviços de saúde e com base nos MMs da I4.0 foi proposto um MM para o *H4.0* que foi avaliado por especialistas e posteriormente refinado. O modelo refinado considerou cinco níveis de maturidade (0 para inexistente e 4 para avançado). Quanto as dimensões do modelo, foram sintetizadas em três dimensões como habilitadores para *H4.0*, tais como: estratégia, pessoas e organização, e a dimensão tecnologia como práticas para o *H4.0* (Telemedicina, Internet das coisas (IOT), *Big data*, Computação em nuvem, Robôs autônomos, Impressão 3D, Realidade virtual e aumentada, Sistemas ciberfísicos, *Blockchain*, Inteligência Artificial e Simulação). Após o refinamento do modelo este foi aplicado por meio de estudos de caso em dois hospitais públicos paraibanos que apresentaram níveis de maturidade distintos. Os resultados dos estudos de caso mostram que o Hospital 1 apresentou um nível de maturidade Intermediário, enquanto o Hospital 2 apresentou um nível de maturidade iniciante. Apesar disso, constatou-se que os dois hospitais têm muito o que evoluir no que diz respeito ao *H4.0*. Mas a aplicabilidade do modelo foi constatada pela forma que os resultados foram obtidos e por sua aderência constatada nos hospitais. Essa dissertação avança na literatura a partir do desenvolvimento e de um modelo de maturidade para *H4.0*, uma vez que não foi encontrado na um MM da I4.0 voltado para operações hospitalares. Além disso, o modelo aplicado pode servir como roteiro para identificar o nível de maturidade para *H4.0*, identificando fatores estratégicos, gestão de pessoas, aspectos organizacionais e tecnologias de *H4.0*, permitindo uma visão sistêmica dos hospitais estudados em direção ao *H4.0*.

**Palavras-chaves:** Indústria 4.0, Modelo de Maturidade, *Healthcare* 4.0.

## ABSTRACT

Although Industry 4.0 (I4.0) has already been adopted by different organizations, companies still need instruments to assess the progress achieved. Thus, maturity models (MMs) are useful tools for this purpose, but, for the most part, the literature points out that they are designed for manufacturing companies. Within the consulted literature, no maturity models were found for Healthcare 4.0. However, the impact of I4.0 technologies is also visible in health services and is called healthcare 4.0 (H4.0). In this way, these new technologies can provide enhanced and value-added healthcare services to patients. Given the above, this dissertation has as main objective to develop a maturity model for H4.0. Specifically, it is intended to (i) identify levels, dimensions and procedures of maturity models for Industry 4.0; (ii) analyze the particularities of the I4.0 concepts and technologies for health operations; (iii) analyze the adherence of the levels and dimensions of a maturity model for Healthcare 4.0 through the opinion of specialists and structure a model for H4.0; and (iv) apply the proposed model in public hospitals in Paraíba. Through a systematic literature review (SLR), it was possible to identify levels, dimensions and procedures used in the MMs, making it possible to build a reference framework with levels of maturity (from non-existent to advanced) and dimensions (people and culture, strategy, products/ services, processes/operations, governance, organization, security, technology and value creation) that can help in the adoption or development of new maturity models. Then, a survey was carried out to identify the main I4.0 technologies used in health services and based on the I4.0 MMs, a MM for H4.0 was proposed, which was evaluated by specialists and subsequently refined. The refined model considered five levels of maturity (0 for nonexistent and 4 for advanced). As for the dimensions of the model, they were synthesized into three dimensions as enablers for H4.0, such as: strategy, people and organization, and the technology dimension as practices for H4.0 (Telemedicine, Internet of Things (IOT), Big data, Cloud Computing, Autonomous Robots, 3D Printing, Virtual and Augmented Reality, Cyber-Physical Systems, Blockchain, Artificial Intelligence and Simulation). After refining the model, it was applied through case studies in two public hospitals in Paraíba that presented different levels of maturity. The results of the case studies show that Hospital 1 presented an Intermediate maturity level, while Hospital 2 presented a beginner maturity level. Despite this, it was found that the two hospitals have a lot to evolve with regard to H4.0. But the applicability of the model was verified by the way the results were obtained and by its adherence verified in the hospitals. This dissertation advances in the literature from the development and a maturity model for H4.0, since it was not found in an MM of I4.0 focused on hospital operations. In addition, the applied model can serve as a roadmap to identify the maturity level for H4.0, identifying strategic factors, people management, organizational aspects and H4.0 technologies, allowing a systemic view of the hospitals studied towards H4.0.

**Keywords:** Industry 4.0, Maturity Model, Healthcare 4.0.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### ILUSTRAÇÕES PARTE 1

#### Figuras

Figura 1 – Relação dos objetivos com os artigos e a pergunta de pesquisa.....14

Figura 2 – Etapas da pesquisa.....17

#### Quadros

Quadro 1 – Tecnologias H4.0.....24

### ILUSTRAÇÕES PARTE 2

#### Artigo 1

##### Figuras

Figura 1 – Etapas da revisão sistemática da literatura.....46

Figura 2 – Processo de redução de dados para a síntese dos modelos de maturidade.....48

Figura 3 – Anos de publicação e métodos científicos adotados.....51

Figura 4 – Artigos mais citados da amostra.....52

##### Quadros

Quadro 1 – Modelos de Maturidade para Indústria 4.0 e setor de aplicação.....50

Quadro 2 – Níveis dos Modelos de Maturidade para I4.0.....56

Quadro 3 – Dimensões dos MM da I4.0.....60

Quadro 4 – Quadro de referência para a avaliação dos níveis de maturidade de acordo com as dimensões identificadas na literatura.....66

#### Artigo 2

##### Figuras

Figura 1 – Determinação da maturidade no modelo inicial proposto.....91

Figura 2 – Proposta final do modelo de maturidade para *H4.0*.....95

##### Quadros

Quadro 1 – Tecnologias para *Healthcare 4.0*.....83

Quadro 2 – Modelos de Maturidade para I4.0.....	86
Quadro 3 – Níveis de maturidade do modelo proposto.....	90
Quadro 4 – Avaliação pelos especialistas.....	92

### **Artigo 3**

#### **Figuras**

Figura 1 – Modelo de Maturidade para <i>Healthcare 4.0</i> .....	122
Figura 2 – Avaliação dos hospitais em relação às dimensões de maturidade.....	131
Figura 3 – Síntese da avaliação de maturidade nos dois hospitais.....	133

#### **Quadros**

Quadro 1 – Dimensões e níveis de maturidade dos modelos de I4.0.....	117
Quadro 2 – Modelo de Maturidade para H 4.0 adotado na pesquisa.....	120
Quadro 3 – Características dos hospitais estudados.....	123
Quadro 4 – Tecnologias adotadas e avaliadas dentro do contexto do H4.0 – Hospital 1.....	128

#### **Tabelas**

Tabela 1 – Síntese da avaliação de maturidade em <i>H4.0</i> – Hospital 1.....	126
Tabela 2 – Síntese da avaliação de maturidade em <i>H4.0</i> – Hospital 2.....	129

## SUMÁRIO

1. PARTE 1 - SEÇÃO INTEGRATIVA .....	11
1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA E PROBLEMA DE PESQUISA .....	11
1.2 OBJETIVOS .....	14
1.2.1. Objetivo Geral .....	14
1.2.2. Objetivos específicos (OE).....	14
1.3 JUSTIFICATIVA .....	15
1.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	17
1.3.1 Método empregado para elaboração do artigo 1: revisão sistemática da literatura (RSL) .....	18
1.3.2 Método empregado para elaboração do artigo 2: pesquisa com especialistas .....	20
1.3.3 Método empregado para elaboração do artigo 3: estudos de caso.....	21
1.4 REFERENCIAL TEÓRICO .....	22
1.4.1 <i>Healthcare</i> 4.0 .....	22
1.4.2 Tecnologias para o <i>Healthcare</i> 4.0.....	24
1.4.3 Princípios de <i>Healthcare</i> 4.0 .....	30
1.4.4 Modelos de maturidade .....	31
1.5 PRINCIPAIS RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	32
1.5.1 Resultados e discussão do artigo 1 .....	32
1.5.2 Resultados e discussão do artigo 2 .....	33
1.5.3 Resultados e discussão do artigo 3 .....	34
1.6 CONCLUSÕES .....	36
REFERÊNCIAS DA SEÇÃO 1 .....	38
PARTE 2 – ARTIGOS NA ÍNTEGRA .....	44
Artigo 1: Dimensões e níveis dos modelos de avaliação de maturidade para a Indústria 4.0: uma revisão sistemática da literatura .....	45
1. INTRODUÇÃO.....	45
2. MÉTODO DE PESQUISA.....	47
2.1 Planejamento da revisão .....	48
2.2 Conduzindo a revisão, reportando e divulgando os resultados.....	48
3. RESULTADOS .....	51
3.1 Visão geral dos modelos de maturidade .....	51
3.2 Modelos de maturidade da I4.0: níveis, dimensões, procedimentos e limitações .....	55
4. DISCUSSÃO E PROPOSTA DE AGENDA DE PESQUISA.....	66
5. CONCLUSÃO.....	69
REFERÊNCIAS .....	70

Artigo 2: Modelo de maturidade para <i>Healthcare</i> 4.0: uma proposta a partir da opinião de especialistas .....	81
1. INTRODUÇÃO.....	81
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	83
2.1 <i>Healthcare</i> 4.0: conceitos e tecnologias .....	83
2.2 Modelos de maturidade para a I4.0 .....	86
3. MÉTODO DE PESQUISA.....	89
4. PROPOSTA INICIAL DE UM MODELO DE MATURIDADE PARA H4.0 .....	90
5. AVALIAÇÃO DO MODELO SEGUNDO A OPINIÃO DE ESPECIALISTAS .....	92
6. DISCUSSÃO E REFINAMENTO DO MODELO .....	94
7. CONCLUSÃO.....	97
REFERÊNCIAS .....	98
APÊNDICE A – CARTA DE APRESENTAÇÃO DA PESQUISADORA .....	103
APÊNDICE B (PARTE 1) – ROTEIRO DE PESQUISA COM OS ESPECIALISTAS .....	104
APÊNDICE B (PARTE 2) – AVALIAÇÃO DO MODELO DE MATURIDADE PARA H4.0 .....	112
Artigo 3: Avaliação da maturidade em <i>Healthcare</i> 4.0: um estudo em dois hospitais públicos brasileiros .	114
1. INTRODUÇÃO.....	114
2. MATURIDADE EM <i>HEALTHCARE</i> 4.0 .....	116
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	122
3.1 Etapa 1 – Definição da estrutura conceitual teórica .....	122
3.2 Etapa 2 – Planejamento dos casos .....	123
3.3 Etapa 3 – Coleta de dados .....	123
3.4 Etapa 4 – Análise e síntese dos dados .....	124
4. RESULTADOS .....	125
4.1 Hospital 1.....	125
4.2 Hospital 2.....	128
4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	130
6. CONCLUSÃO.....	133
REFERÊNCIAS .....	134
APÊNDICE – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA MATURIDADE PARA <i>HEALTHCARE</i> 4.0 ....	137

## 1. PARTE 1 - SEÇÃO INTEGRATIVA

### 1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA E PROBLEMA DE PESQUISA

Os serviços de saúde enfrentam muitos desafios em todo o mundo e tornam-se cada vez mais necessários em razão do aumento da expectativa de vida, sendo, portanto, indispensável uma gestão mais eficiente para melhoria do cuidado às pessoas. Os sistemas de saúde no Brasil e de muitos países sofrem com falta de recursos sejam eles materiais, equipamentos, e/ou humanos, leitos insuficientes, longas esperas, dentre outros problemas que acarretam na diminuição da qualidade do atendimento ao paciente (ACETO *et al.*, 2020; TORTORELLA *et al.*, 2020; THUEMMLER; BAI, 2017; BBC NEWS, 2020; CHAKRABORTY *et al.*, 2021; MWANZA *et al.*, 2023).

Acompanhando as mudanças promovidas pelas novas tecnologias, a saúde se apoia no conceito de *P4 Medicine* (SOBRADILLO *et al.*, 2011) isto é, a medicina preditiva, preventiva, personalizada e participativa. A utilização dessas tecnologias possibilita uma compreensão abrangente de cada paciente, e pode ser aplicada para reduzir significativamente os gastos globais com saúde, por exemplo, reduzindo a hospitalização e minimizando a utilização desnecessária de recursos, como medicamentos e procedimentos (NICE, 2016; CHEN; SNYDER, 2013).

A evolução tecnológica no contexto industrial tem sido representada atualmente pelo termo Indústria 4.0 (I4.0). A I4.0 emerge promovendo mudanças significativas aos processos operacionais ao utilizar-se de uma abordagem fortemente baseada em tecnologias digitais (SADIQ *et al.*, 2021), as quais são importantes para atender com rapidez as demandas crescentes dos consumidores e satisfazer suas expectativas (PAGLIOSA *et al.*, 2019). De forma geral, caracteriza-se pelo emprego de tecnologias digitais que podem promover melhoria nos processos, produtos e serviços customizados em massa, permitindo que as empresas alcancem melhores níveis de desempenho (ZUEHLKE, 2010; ZÁVADSKÁ; ZÁVADSKÝ, 2020).

No setor de saúde, as tecnologias provenientes da I4.0 têm o potencial de mitigar ou mesmo eliminar os diversos desafios na saúde, proporcionando redução de custos, melhoria da experiência do usuário e aumento na qualidade do atendimento prestado. A integração das tecnologias I4.0 aplicadas ao domínio da saúde estão mudando a forma de fornecer serviços e produtos tradicionais (ACETO *et al.*, 2020; CHAKRABORTY *et al.*, 2021), surgindo o conceito de *Healthcare 4.0 (H4.0)*. O *H4.0* é um termo utilizado para dados e tecnologias digitais nos serviços de saúde contemplando: saúde inteligente, *mHealth* (saúde móvel), saúde sem fio, *eHealth*, saúde *online*, informática médica,

telemedicina, medicina digital, informática em saúde, saúde generalizada e informações de saúde (HERRMANN *et al.*, 2018).

Assim, as tecnologias da I4.0 também se apresentam como alternativa para ganhos de produtividade e melhoria dos serviços de saúde. De modo análogo a I4.0, para ter sucesso, o *H4.0* necessita de um ambiente multidisciplinar que reúna os avanços nos diferentes campos, incluindo ciência da computação, engenharia, economia, ciências sociais, saúde pública, epidemiologia, dentre outras. Dessa forma, possibilita que a base digital do *H4.0* ultrapasse a tecnologia para atender às questões sociais e humanas, conferindo uma maior qualidade na prestação dos serviços na saúde (JAYARAMAN *et al.*, 2020).

Estudos recentes mostram que a adoção do *H4.0* ainda é incipiente. Segundo Cwiklicki *et al.* (2020), Chakraborty *et al.* (2021) e Mwanza *et al.* (2023) a pesquisa sobre a adaptabilidade do sistema de saúde à I4.0 permanece em estágios iniciais e os determinantes mais significativos da capacidade adaptativa de saúde para a quarta revolução industrial são capital humano, recursos financeiros e regulamentações.

Tortorella *et al.* (2020) também afirmam que estudos sobre a influência de fatores contingenciais na introdução de novas tecnologias digitais em sistemas de alta complexidade, como hospitais, ainda são incipientes, tendo em vista que a introdução do *H4.0* geralmente implica em altos gastos de capital e requer uma força de trabalho mais qualificada (JOSE *et al.*, 2022). O exposto ganha relevância ao se considerar hospitais em economias emergentes, mais propensos a ter recursos limitados (TORTORELLA *et al.*, 2020; BUCHELT *et al.*, 2020; CHAKRABORTY *et al.*, 2021; JOSE *et al.*, 2022) também mostram um estudo relatando que a falta de competência gerencial pode se tornar uma grande barreira para lidar com os desafios criados pelo *H4.0* (JOSE *et al.*, 2022). Por outro lado, Tortorella *et al.* (2020) propõem que estudos sejam realizados para identificar as tecnologias da I4.0 e seus impactos no desempenho operacional em serviços de saúde.

Posto que, é importante entender o contexto atual das organizações de saúde no que diz respeito ao *H4.0*, um modelo de maturidade (MM) é uma ferramenta importante, pois permite medir e combinar um conjunto de competências necessárias para que as organizações alcancem o estado desejado (SCHUMACHER *et al.*, 2016). MMs são um meio/roteiro estabelecido para apoiar requisitos de como avaliar a situação atual, determinar a situação desejada e obter possíveis direções para evolução (BECKER *et al.*, 2009). Os MMs se posicionam como uma ferramenta para comparar o nível atual de uma organização ou processo com o nível desejado em termos de maturidade, (SCHUMACHER *et al.*, 2016). São modelos que ajudam as organizações a alcançar as competências

esperadas em determinados aspectos, observando dimensões específicas dentro de um contexto organizacional e seus níveis dentro daquele contexto (JESUS; LIMA, 2020).

Diante desse contexto, o desenvolvimento de modelos de maturidade (MM) para *H4.0* desponta como um fator importante para que os serviços de saúde avaliem a quão habilitada está uma organização para adentrarem neste contexto. A avaliação do nível da maturidade para *H4.0* pode auxiliar gestores a definirem o melhor caminho para que o sucesso seja alcançado.

Alguns MM para I4.0 são encontrados na literatura, dentre eles: modelo de maturidade da I4.0 para empresas de máquinas-ferramentas (RAFAEL *et al.*, 2020); modelo de maturidade para medir o grau de prontidão de organizações de manufatura (autopeças) no que diz respeito à implementação da I4.0 (PACCHINI *et al.*, 2019); modelo de maturidade da I4.0 baseado em regras difusas para operações e gerenciamento da cadeia de suprimentos (CAIADO *et al.*, 2021) e modelo de maturidade para I4.0 no setor de defesa (BIBBY; DEHE, 2018). Mittal *et al.* (2018) também desenvolveram uma revisão crítica sobre os modelos de maturidade da Manufatura Inteligente (SM) e I4.0 disponíveis atualmente e analisaram sua adequação considerando os requisitos específicos de Pequenas e Médias Empresas (PMEs), fornecendo ideias para MM voltados para essas organizações.

Entretanto, apesar de existirem vários MM no contexto da I4.0, na literatura consultada, todos os modelos eram voltados para a manufatura, não sendo encontrados MM na literatura pesquisada com foco em *healthcare*. O desenvolvimento de um modelo de maturidade para *H4.0* corresponde a uma medida relevante para que os serviços de saúde possam compreender mais claramente as características que são necessárias para aquisição das tecnologias 4.0, como exemplos da importância da aplicação de MM para I4.0 podemos citar os modelos de Caiado *et al.*, (2021) que mostra uma contribuição prática relevante com diretrizes para melhoria no gerenciamento da cadeia de suprimentos, bem como o modelo de Çinar *et al.*, (2021) com foco na conscientização, conhecimento, prontidão, vontade de investir, desafios e benefícios do I4.0 em uma empresa de manufatura, compreendendo o estado atual da organização e ações futuras para perseguir tal maturidade.

Ademais, se torna válido para explicitar de que forma pode-se ajudar aos prestadores de serviços de saúde no desenvolvimento de novos serviços voltados tanto para auxiliar profissionais de saúde, hospitais e clínicas, como aos usuários que demandam por modelos de cuidados de saúde personalizados, proativos e preditivos apoiados pelas tecnologias I4.0.

Dessa forma, considerando os estágios iniciais da *H4.0*, e a carência de aplicações empíricas sobre essa temática, na literatura consultada, bem como a ausência de modelos de maturidade para o *H4.0*, o presente estudo buscará responder ao seguinte questionamento: “**Como estruturar e avaliar**

**um modelo de maturidade para auxiliar os serviços de saúde no que tange à implementação do *Healthcare 4.0*?”**

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo Geral**

- Desenvolver um modelo de maturidade para *Healthcare 4.0*.

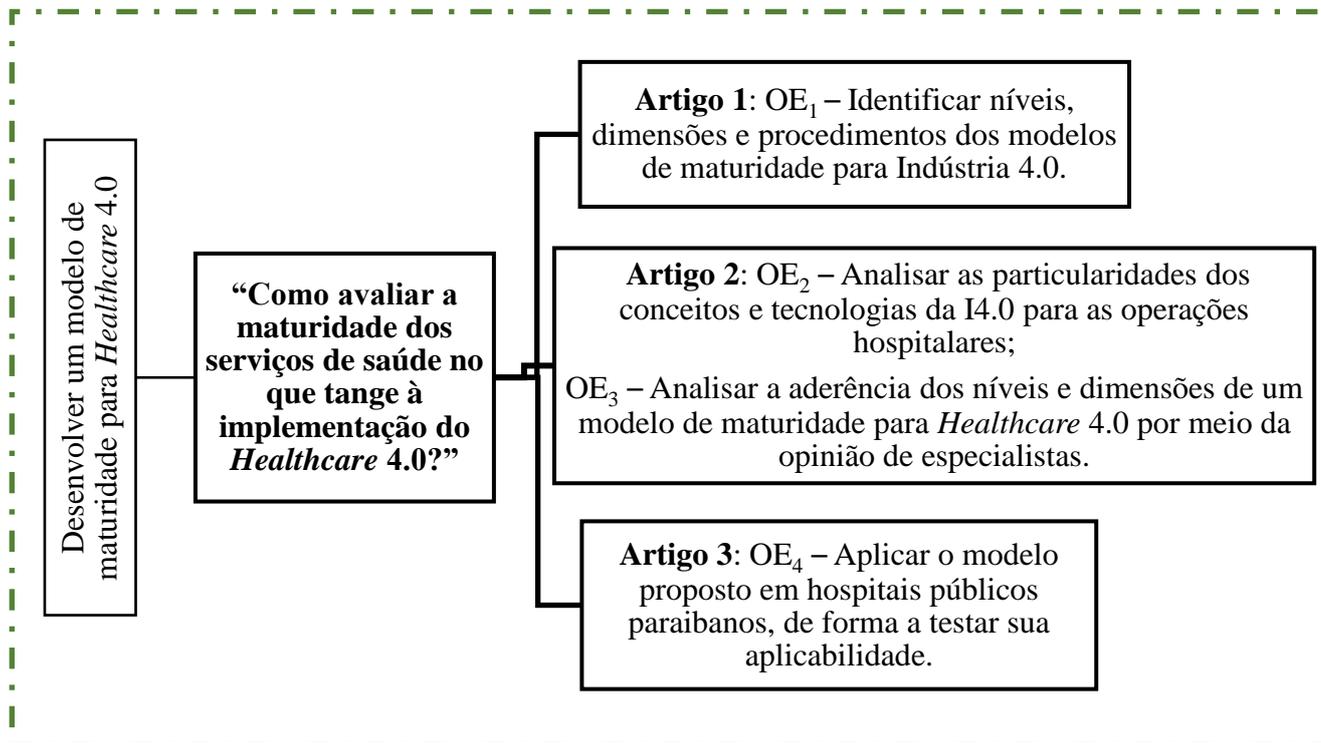
### **1.2.2. Objetivos específicos (OE)**

- OE<sub>1</sub> – Identificar níveis, dimensões e procedimentos dos modelos de maturidade para Indústria 4.0.
- OE<sub>2</sub> – Analisar as particularidades dos conceitos e tecnologias da I4.0 para as operações hospitalares.
- OE<sub>3</sub> – Analisar a aderência dos níveis e dimensões de um modelo de maturidade para *Healthcare 4.0*, por meio da opinião de especialistas e estruturar o modelo.
- OE<sub>4</sub> – Aplicar o modelo proposto em hospitais públicos paraibanos, de forma a testar sua aplicabilidade.

Para o alcance dos objetivos, este trabalho está estruturado em artigos que se relacionam com os OEs, conforme pode ser observado na Figura 1, que mostra a integração dos OEs com o objetivo geral desse trabalho. O Artigo 1 se relaciona com o OE<sub>1</sub> e tem como finalidade sintetizar níveis, dimensões e procedimentos dos MM para I4.0 por meio de uma revisão sistemática da literatura (RSL). A pesquisa apresenta uma visão geral dos modelos de maturidade para a I4.0 por meio por meio análises quantitativas e descritivas; identifica níveis, dimensões, procedimentos e limitações dos modelos de avaliação da maturidade da I4.0; e propõe uma agenda de pesquisa sobre o tema.

O Artigo 2 está relacionado com os outros dois objetivos específicos (OE<sub>2</sub>; OE<sub>3</sub>) e tem como finalidade propor e validar com especialistas um modelo de maturidade para *Healthcare 4.0*. Por fim, o artigo 3 se relaciona com o OE<sub>4</sub>, que tem como principal finalidade analisar a aplicabilidade do modelo proposto a partir de estudos de caso em hospitais públicos paraibanos.

**Figura 1** – Relação dos objetivos com os artigos e a pergunta de pesquisa



### 1.3 JUSTIFICATIVA

Um dos fatores que contribuem para a relevância deste trabalho é a escassez de produção científica abordando a temática de modelos de maturidade para *H4.0*, considerando o corpo de conhecimento teórico estudado. As pesquisas exploratórias da literatura demonstram que existem alguns modelos de maturidade para I4.0, como por exemplo o estudo de Caiado *et al.* (2021), no qual são apresentados 25 MM para I4.0 que foram categorizados em três tipos de estudos. O primeiro concentra na fabricação de produtos focados na manufatura inteligente, o segundo concentra em MM voltados para cadeias de suprimentos, e o terceiro grupo focado na integração de tecnologias digitais, além de outros MM que combinam diferentes escopos.

O *H4.0* é uma tendência, e conforme Buchelt *et al.* (2020) os efeitos dessa revolução estão progredindo de duas maneiras diferentes: (i) na própria medicina; e, (ii) na gestão das organizações de saúde. Portanto, os serviços de saúde precisam estar aptos, pois à medida que os registros eletrônicos de saúde, as trocas de informações de saúde e os dispositivos conectados as pessoas proliferam (Jayaraman *et al.*, 2020), uma quantidade maior de dados de pacientes está disponível em diversas fontes (CHAKRABORTY *et al.*, 2021).

Isto oferece desafios que se transformam em oportunidades. Por exemplo, os registros eletrônicos de saúde servem para identificar lacunas no atendimento, como, pacientes que faltaram

em exames anuais ou o reabastecimento de medicamentos importantes. O H4,0 possibilita o fechando dessas lacunas (BUHELDT *et al.*, 2020). Manter os pacientes no caminho certo para o tratamento é bom para saúde deles, e também para redução de custos. Nesta perspectiva, um MM direcionado para H4.0 é importante para que as organizações de saúde compreendam em que estágio de evolução se encontram e o que é necessário para aderirem às tecnologias 4.0 sem desperdícios de recursos.

O setor de saúde tem particularidades que não podem ser ignoradas e a pandemia da doença Covid-19, causada pelo Coronavírus SARS-CoV-2, mostrou as fragilidades dos sistemas de saúde em todo o mundo, tornando-se visível a sobrecarga neste setor pela constatação da superlotação nos hospitais e serviços de apoio à saúde. Neste sentido, as tecnologias da I4.0 não se referem apenas à integração de tecnologias, mas a todo o conceito de como adquirir, compartilhar, usar, organizar dados e recursos para tornar o produto/serviço mais rápido, mais barato, mais eficaz e mais sustentável (PICCAROZZI *et al.*, 2018; CHAKRABORTY *et al.*, 2021). Nesse contexto, o H4.0 pode trazer impactos positivos em relação à melhoria do desempenho operacional dos serviços de saúde. Estudos recentes apontam que adoção do H4.0 em hospitais impactam positivamente no desempenho centrado no paciente, medido por meio de cinco indicadores (taxa de reinternação do paciente, taxa de mortalidade, tempo de internação, satisfação e segurança) (TORTORELLA *et al.*, 2022).

Herrmann *et al.* (2018) descrevem que as fronteiras digitais e a inovação disruptiva no setor de saúde estão impulsionando novos modelos de negócios e redes de valor. Avanços e adoções do H4.0 estão ocorrendo em muitos países desenvolvidos em todo o mundo, com o mercado digital de saúde previsto para crescer US \$ 223,7 bilhões até 2023 (PRESCIENT E STRATEGIC INTELLIGENCE, 2020). Assim, o desenvolvimento de MMs para analisar em qual estágio os serviços de saúde estão em relação à adoção de tecnologias da I4.0 pode facilitar no avanço da implementação de tais tecnologias e princípios, permitindo uma gestão da saúde mais personalizada, devido ao monitoramento e gerenciamento das atividades de saúde usando ferramentas de virtualização e sistemas que conectam o mundo físico e o virtual em tempo real. Além disso, os aspectos de segurança, proteção e privacidade são de extrema importância para as estratégias de H4.0 prosperarem e desenvolverem seus benefícios potenciais integrando pacientes, cuidadores formais e informais, assistentes sociais e médicos (THUEMMLER; BAI, 2017).

Os serviços de saúde lidam com processos produtivos diferenciados, pacientes em momentos delicados, concorrência crescente e por isso, precisam reduzir custos e melhorar a qualidade do serviço entregue ao usuário. Além disso, a COVID-19 impulsionou o crescimento do mercado digital de saúde nos próximos anos. Devido à pandemia, governos de diferentes países têm tomado medidas

para limitar várias atividades, cujo objetivo é controlar a propagação da doença (PRESCIENT E STRATEGIC INTELLIGENCE, 2020). A impossibilidade de realizar visitas fisicamente aos centros de saúde, configurando uma mudança de comportamento do consumidor, associada às restrições governamentais levou a uma demanda crescente por soluções digitais de saúde (PRESCIENT E STRATEGIC INTELLIGENCE, 2020).

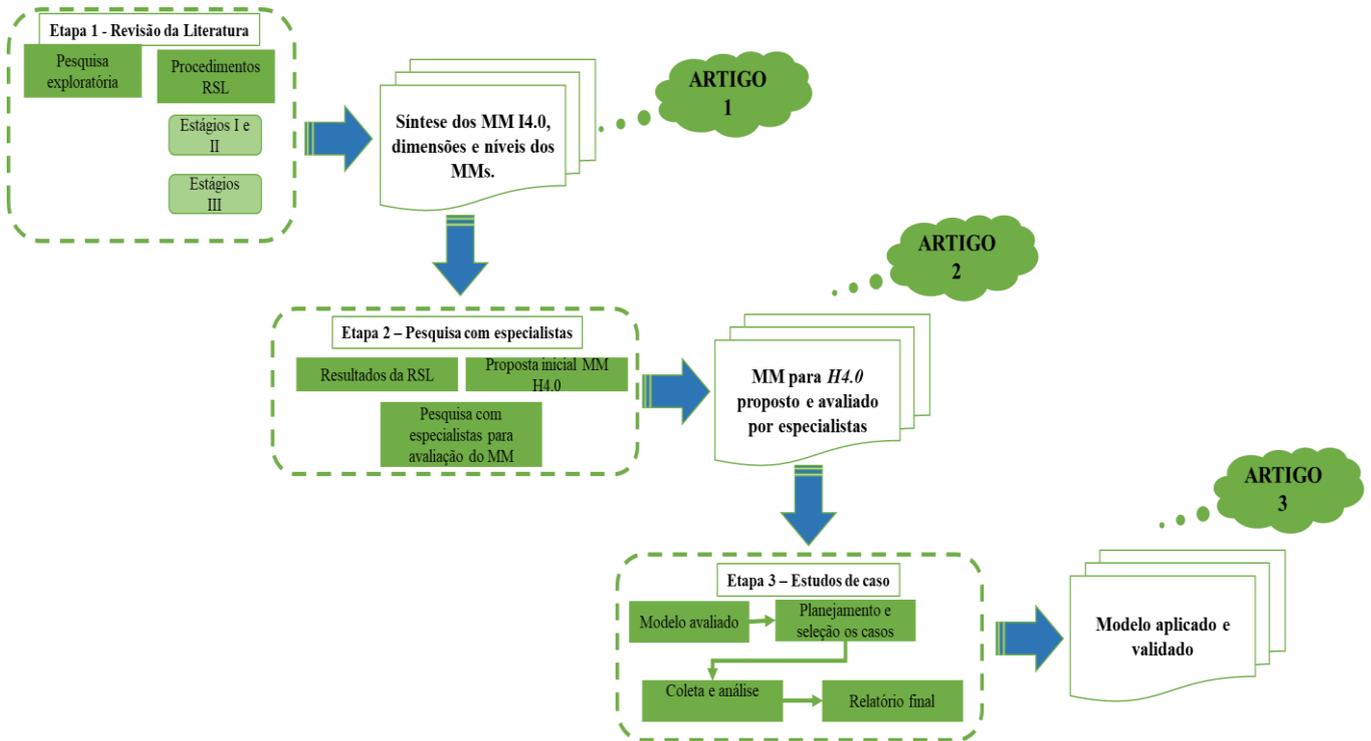
Por fim, o desenvolvimento de MMs para I4.0, em sua maioria, estão concentrados na indústria manufatureira. Assim, o desenvolvimento de um MM para *H4.0* é de grande relevância para os serviços de saúde, devido a importância de compreender o contexto no qual a organização está inserida, permitindo uma melhor gestão e estratégia para o gerenciamento das organizações de saúde no contexto da I4.0. Por este motivo, defende-se a ideia de que o desenvolvimento de um MM para *H4.0* pode servir como roteiro para que os serviços de saúde entrem nesse ambiente de forma mais segura, identificando suas necessidades e fragilidades.

### **1.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Conforme destacado anteriormente, os resultados da dissertação serão expostos em formato de três artigos que se destinam a atender aos objetivos específicos explicitados na seção 1.2. Dessa forma, uma vez que os objetivos específicos são atendidos, o objetivo geral também é, bem como a pergunta de pesquisa é respondida. Assim, nesta seção será apresentado os métodos que foram adotados nos 3 artigos a fim de alcançar o objetivo de geral de “Desenvolver um modelo de maturidade para o *Healthcare 4.0*”.

A Figura 2 ilustra as etapas dessa pesquisa bem como os métodos empregados em cada uma delas. Tais etapas serão detalhadas a seguir.

**Figura 2 – Etapas da pesquisa**



### 1.3.1 Método empregado para elaboração do artigo 1: revisão sistemática da literatura (RSL)

Para elaboração do artigo 1 o método utilizado foi uma RSL. A execução do método iniciou com o desenvolvimento de uma análise exploratória da literatura de modo a obter um conhecimento prévio a respeito do tema modelos de maturidade para I4.0. Afim de conduzir a RSL, alguns estágios foram seguidos (TRANFIELD *et al.*, 2003): (i) planejamento da revisão, (ii) conduzindo a revisão e (iii) reportando e disseminando dos resultados. Os estágios propostos pelos autores permitem a sistematização de informações importantes e a análise do estado atual do escopo da pesquisa.

No **estágio I** foi realizado o planejamento da revisão para identificar a relevância e o tamanho da literatura e delimitar a área de assunto por meio de uma pesquisa exploratória. Isso permitiu preparar uma proposta de revisão a fim de verificar como as temáticas “modelo de maturidade e indústria 4.0” eram abordadas na literatura. Tal pesquisa possibilitou a seleção das *strings* de pesquisa mais apropriados sendo eles: (1): “*Industrie 4.0*” or “*Industry 4.0*” que retornaram trazendo características da I4.0, e para o grupo (2) “*Maturity model*” or “*Maturity approach*” or “*Maturity assessment*”, que estavam relacionados aos MMs Neste estágio também se definiu as bases de dados Web of Science (WoS) e *Scopus* para a realização da pesquisa.

O **estágio II** consistiu na condução da revisão. A pesquisa contemplou artigos até dezembro de 2021, a fim de se obter o máximo de informações sobre a temática em questão. A partir dos grupos

(1) e (2) apresentados anteriormente e das expressões mais alinhadas aos grupos, foram realizadas as buscas nas bases de dados. Na WOS foram inseridos os termos de busca e a categoria escolhida foi “tópico” que busca os termos contidos no título, nas palavras-chave, nas *keywords plus* e no resumo dos trabalhos disponíveis. Para a base Scopus foram inseridos os termos de busca e a categoria aplicada foi *search within* que alcança título do artigo, resumo e palavras de busca.

A pesquisa considerou apenas artigos e revisões, excluindo conferências, resenhas, etc., e resultou em 177 trabalhos, sendo 100 provenientes da base de dados WOS e 77 da base *Scopus*. Para gerenciar as referências, foi utilizado o *software RStudio* para eliminar os artigos duplicados, e foram eliminados 50 artigos, gerando uma amostra de 127 artigos, destes foram selecionados 117 artigos em inglês (sendo descartados 10 que estavam em outras línguas). Na sequência, a análise focou na leitura dos títulos e resumos, e posteriormente a leitura na íntegra dos artigos, considerando como critério de inclusão os estudos alinhados ao Modelo de Maturidade da Indústria 4.0.

Após a leitura de todos os artigos, se obteve amostra final de 68 artigos que abordavam aspectos da I4.0, revisões de literatura sobre os MM para I4.0 e/ou aplicações desses modelos para I4.0. Para a análise dos artigos foi adotada a técnica de análise de conteúdo que é considerada flexível e tem sido utilizada em diversos estudos com diferentes metas e objetivos de pesquisa (WHITE; MARSH, 2006). De acordo com os autores, a sua aplicação ocorre de forma qualitativa, quantitativa e empregando uma ampla gama de técnicas para gerar descobertas e colocá-las em contexto. A análise da amostra foi estruturada em duas partes. A primeira parte é composta por uma análise quantitativa e descritiva dos artigos, a fim de obter uma visão geral sobre o tema pesquisado. Para tanto, foi adotada a bibliometria que consiste em analisar dados bibliográficos e para isso foram utilizadas planilhas do Microsoft *Excel* para a extração de dados tais como número de citações, ano, autor, nome do modelo de maturidade, setor econômico de aplicação da pesquisa, métodos científicos adotados e formas de aplicação dos modelos.

A segunda parte da análise contou com a revisão mais aprofundada dos artigos por meio de uma análise semântica conforme sugere Tranfield *et al.*, (2003). Da mesma forma, foram adotadas planilhas do Microsoft *Excel* para extração de informações, tais como: características gerais dos modelos de maturidade; dimensões, níveis de maturidade, técnicas e procedimentos de análise dos níveis e dimensões e limitações dos modelos. Foi possível perceber que dos 68 artigos selecionados para a amostra final, apenas 30 artigos tratavam especificamente de modelos de maturidade para I4.0, e, portanto, esses foram utilizados para compor uma síntese dos modelos de maturidade para I4.0.

O **estágio III** está relacionado com a divulgação dos resultados. Como uma RSL deve facilitar o entendimento das pesquisas e descrever o que é conhecido e estabelecido a partir da extração de dados, as formas das contribuições principais, identificar os principais temas emergentes e questões de pesquisa (TRANFIELD *et al.*, 2003), o resultado dessa RSL é relatado no Artigo 1 dessa dissertação (apresentado na parte dois desse trabalho).

### **1.3.2 Método empregado para elaboração do artigo 2: pesquisa com especialistas**

Tomando como base os resultados do artigo 1, especialmente a síntese dos MM para a I4.0, suas dimensões e níveis, foi possível propor um MM voltado para o *H4.0*, considerando as características desse sistema de produção, sendo este o principal objetivo do artigo 2. Dado que nenhuma evidência foi encontrada para fornecer suporte suficiente para projetar o MM para *H4.0*, o modelo proposto foi construído com base nos MM para I4.0, adaptando-se às características do *H4.0*.

A proposta inicial do modelo foi composta por cinco níveis de maturidade, do inexistente (0) ao avançado (4), e cinco dimensões (Estratégia, Cultura organizacional, Pessoas, Organização e Tecnologia), e 25 critérios, nos quais foram selecionadas a partir da literatura pesquisada e com base nos modelos de maturidade para I4.0 e nas características do *healthcare* 4.0. Para refinar o modelo, selecionou-se o método de pesquisa com especialistas. Esse tipo de pesquisa é relevante pois permite identificar aspectos qualitativos que podem não ter sido identificados na revisão de literatura, e inserir aspectos visualizados na prática. Além disso, é uma forma pela qual o pesquisador pode investigar um fenômeno por meio da experiência das pessoas individuais (SEIDMAN, 2006).

Para coletar as informações, avaliar e refinar o modelo de maturidade com os especialistas, primeiramente foi enviada uma carta de apresentação com o objetivo da pesquisa, em seguida um roteiro composto por: (i) apresentação e operacionalização do MM (considerando dimensões e níveis do MM) e, (ii) avaliação do MM. Para avaliação do modelo foi elaborado um questionário com perguntas fechadas e abertas. As perguntas fechadas eram direcionadas para avaliação considerando os critérios de factibilidade, (utilização do modelo na prática), usabilidade (compreender se modelo é fácil de ser aplicado) e utilidade (verificar quais resultados relevantes o modelo proposto apresenta) (PLATTS, 1993). Para isso, os especialistas poderiam atribuir notas por meio de uma escala Likert de 1 a 5 (1. Péssimo; 2. Ruim; 3. Regular; 4. Bom; 5. Muito bom). Já as perguntas abertas foram elaboradas para que os especialistas pudessem fazer comentários sobre as notas atribuídas, bem como comentários gerais sobre as dimensões e níveis do MM proposto.

Os especialistas foram selecionados com base nas seguintes características: pesquisadores com doutorado com linhas de pesquisa voltadas em I4.0 e *H4.0* e/ou médicos/ Diretores clínicos de organizações hospitalares. Dos 25 especialistas selecionados inicialmente, 9 aceitaram participar da pesquisa, sendo 07 pesquisadores doutores e dois médicos. A coleta de dados junto aos especialistas ocorreu entre os dias 31/07/2022 a 15/08/2022.

De posse das respostas dos especialistas, as informações foram analisadas por meio de técnicas de análise de conteúdo e utilizou-se as etapas de (i) codificação aberta, (ii) codificação, (iii) agrupamento, (iv) categorização e (v) abstração (ELO; KYNGÄS, 2008). A (i) codificação aberta foi realizada a partir da leitura das respostas dos especialistas e de acordo com os pressupostos teóricos da pesquisa. Em seguida foi realizada a (ii) codificação, isto é, as opiniões foram agrupadas em categorias semelhantes ou distintas. Verificou-se as respostas sobre dimensões e níveis de maturidade, sugestões de melhorias e avaliação do modelo e foram feitas várias anotações sobre as concordâncias e divergências entre os especialistas no que tange à avaliação do modelo. Em seguida, foi feito um (iii) agrupamento dessas informações seguido da (iv) categorização por tipo de sugestão de mudança. Por fim, a (v) abstração ocorreu quando se verificou como tais sugestões poderiam ser inseridas no MM, conforme se apresenta na seção de resultados do artigo 2 (apresentado na parte dois desse trabalho).

### **1.3.3 Método empregado para elaboração do artigo 3: estudos de caso**

A partir dos dados do artigo 2, ou seja, após o refinamento do MM para o *H4.0*, este foi aplicado por meio de estudos de caso em hospitais paraibanos. Assim, o principal objetivo deste artigo foi avaliar o nível de maturidade do *H4.0* em hospitais por meio da aplicação de um modelo de maturidade para *H4.0* em dois hospitais públicos paraibanos.

Os estudos de caso foram realizados em cinco etapas (CAUCHICK MIGUEL, 2007): (i) Definição da estrutura conceitual teórica, (ii) Planejamento dos casos, (iii) Coleta dos dados, (iv) Análise e síntese dos dados, e (v) Relatório final da pesquisa, descritas a seguir.

Na etapa (i) foi realizado um mapeamento da literatura sobre o assunto, e apresentado o MM para o *H4.0* que é composto por cinco níveis (0 a 4) e quatro dimensões, sendo as dimensões Estratégia, Pessoas e Organização (Habilitadores de *H4.0*) e a dimensão Tecnologia (Práticas de *H4.0*). A etapa (ii) consistiu na seleção de dois hospitais públicos paraibanos com características distintas representados nessa pesquisa por Hospitais 1 (H1) e Hospital 2 (H2). O critério de seleção foi que os hospitais apresentassem alguma evidência de *H4.0* que pudesse tornar a avaliação possível.

Em relação aos entrevistados, esses deveriam estar envolvidos diretamente com o processo de implementação do *H4.0* e ter uma visão sistêmica do hospital.

Na etapa de coleta de dados (iii) o principal instrumento utilizado foi um roteiro de entrevista (Apêndice A e B do artigo 3) estruturado composto por três partes: (i) informações da pesquisadora/universidade e um resumo do MM para o *H4.0*- Dimensões e níveis; (ii) informações do entrevistado e do hospital; e, (iii) questões sobre a avaliação da maturidade do hospital, com questionamentos sobre as dimensões e níveis de maturidade.

Na quarta (iv) e última etapa do estudo de caso (análise e síntese dos dados) os resultados das entrevistas foram transcritos os dados foram analisados pela técnica de análise de conteúdo dentro e entre casos. Na análise dentro dos casos, foi analisada a trajetória de implementação dos habilitadores e práticas de *H4.0*, isto é, como cada hospital pontuou em relação às dimensões estratégia, pessoas e organização e em que nível de maturidade se encontram. A análise entre casos foi realizada comparando as respostas dos entrevistados com o objetivo de identificar convergências e divergências em relação às tecnologias adotadas, as dimensões abordadas no MM para *H4.0* e os níveis de maturidade.

## **1.4 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **1.4.1 *Healthcare 4.0***

A quarta revolução industrial ou Indústria 4.0 (I4.0) é um sistema de produção baseado em dados que está progredindo exponencialmente remodelando negócios, formas de trabalho e a sociedade (BONGOMIN *et al.*, 2020). A I4.0 é um conceito industrial bem conhecido que aproveita a individualização e virtualização em diferentes domínios industriais (BONGOMIN *et al.*, 2020). Tem como objetivo capacitar as organizações a evoluírem de fabricantes a prestadores de serviços, permitindo quantidades crescentes de individualização e personalização como um serviço ao cliente, clientes e, também, pacientes e cuidadores formais e informais (THUEMMLER; BAI, 2017).

A quarta revolução industrial atingiu os sistemas de saúde que passou da era *Healthcare 1.0* até chegar ao *Healthcare 4.0* (BUCHELT *et al.*, 2020). De acordo com Aceto *et al.* (2020), o *Healthcare 1.0* era mais centrado no médico, onde os registros manuais dos pacientes eram mantidos pelos médicos. Tais registros manuais foram substituídos por sistema de registro eletrônico no *Healthcare 2.0*, que ajuda os médicos a estabelecer um sistema eficiente de comunicação médico-paciente (GUPTA *et al.*, 2019).

Por sua vez, o *Healthcare* 3.0 caracterizou-se pela utilização de dispositivos conectados ao paciente (GUPTA *et al.*, 2019). Posteriormente, um sistema de registro eletrônico de dados surgiu possibilitando armazenar informações sobre os pacientes através da internet (GUPTA *et al.*, 2019). Com isso, surgiu a necessidade de manter a privacidade dos dados do paciente e garantir a segurança dos dados (GUPTA *et al.*, 2019). Era atual da saúde, no *Healthcare* 4.0, o sistema de atendimento é mais prognóstico com portabilidade de dados que ajuda a acessar dados a qualquer hora e em qualquer lugar com o uso de tecnologias da I4.0, que auxiliam na coleta, análise e monitoramento de dados por meio de dispositivos inteligentes, como o monitoramento do sono, pulseira, marca-passos e medição da pressão arterial, de outra localização geográfica (GUPTA *et al.*, 2019). Assim, a adoção de princípios e tecnologias da I4.0 em serviços de saúde é denominado “*Health 4.0*” ou “*Healthcare 4.0*” ou Saúde 4.0 (JAVAID; HALEEM, 2020; REHMAN *et al.*, 2019; KUMARI *et al.*, 2018).

O *H4.0* é um modelo que visa oferecer serviços de saúde eficientes, incluindo segurança e privacidade no registro eletrônico dos dados e permitindo acesso remoto e em tempo real ao diagnóstico de pacientes pelos médicos e profissionais de saúde (JAYARAMAN *et al.*, 2020; HADDARA; STAABY, 2018; ANJUM *et al.*, 2020). Ademais, permite a personalização em tempo real dos serviços de saúde, facilitando a interação e o trânsito de dados e informações entre os usuários e os profissionais de saúde, contribuindo na transição para um ambiente centrado no paciente (ALLOGHANI *et al.*, 2018; TORTORELLA *et al.*, 2022).

Dessa forma, é possível afirmar que analogamente a I4.0, o *H4.0* é uma abordagem tecnológica orientada para saúde que requer mudanças fundamentais nas organizações em termos de aspectos técnicos e socioculturais (NAIR; DREYFUS, 2018).

A OMS (Organização Mundial de Saúde) define saúde 4.0 como um campo do conhecimento associado com o desenvolvimento e uso de novas tecnologias para melhorar a saúde. A Saúde 4.0 expande o conceito de *e-Saúde* para incluir consumidores digitais, abrangendo dispositivos inteligentes e equipamentos conectados à internet. O conceito também abrange outros usos da tecnologia na saúde, como a internet das coisas (*IoT*), inteligência artificial (IA), *big data* e robótica (OMS 2018).

*H4.0* corresponde ao uso de tecnologias digitais para a saúde e sua interação com as pessoas (BONGOMIN *et al.*, 2020). O termo saúde digital é enraizado na saúde eletrônica (*eHealth*). O *eHealth* é definido como o uso de tecnologias de informação e comunicação (TIC) no apoio à saúde e campos relacionados à saúde, enquanto saúde móvel (*mHealth*), que é um subconjunto da *eHealth* envolve o uso de tecnologias sem fio móveis para a saúde (BONGOMIN *et al.*, 2020). Os autores

também consideraram 10 áreas de aplicação que incluíram educação médica, pesquisa e treinamento (MERT), dispositivos e equipamentos médicos (MDE), produtos farmacêuticos, distribuição e descoberta de medicamentos (PDDD), detecção, previsão de diagnóstico, prognóstico, prevenção e tratamento (DDPPPT), telemedicina e registro médico (TMR), gerenciamento de instalações de saúde e otimização de processos (HFMPO), cirurgia, imagens médicas, monitoramento e odontologia (BONGOMIN *et al.*, 2020).

Embora a implementação do conceito de *healthcare* 4.0 seja considerado complexo, tendo em vista que requer uma força de trabalho mais qualificada e altos investimentos, vários hospitais em países desenvolvidos já estão adotando (TORTORELLA *et al.*, 2020; TANWAR *et al.*, 2020). Todavia, Ćwiklick *et al.* (2020) apresentaram um estudo que relata que o *H4.0* em seus estágios iniciais, mas, apesar disso, a utilização de tecnologias inteligentes podem melhorar a prestação dos serviços de saúde em países de baixa e média renda (MWANZA *et al.*, 2023).

O *H4.0* embora ainda incipiente em muitos países, tem se mostrado promissor em direção a otimização das operações realizadas na área da saúde. Exemplos de estratégias de transformação digital nesse seguimento incluem a realização de exames por computadores e Registros Médicos Eletrônicos (RME), a interconexão entre dispositivos móveis conectados aos pacientes (*wearables*), sensores e produtos farmacêuticos inteligentes para gerenciar doenças (THUEMMLER; BAI, 2017), entre outros. Dessa forma, as tecnologias digitais podem oferecer possibilidades ilimitadas para melhorar a saúde, bem como a construção de sistemas de saúde mais sólidos (OMS, 2018).

#### **1.4.2 Tecnologias para o *Healthcare* 4.0**

Mesmo não havendo consenso entre os autores sobre quais tecnologias são utilizadas no *H4.0* a literatura destaca algumas tecnologias que otimizam processos e tratamentos hospitalares que podem ser visualizadas na Tabela 1. Os autores descritos na referida tabela consistentemente reconhecem as funções individuais de cada tecnologia como facilitadores de uma organização de saúde mais eficaz. Entretanto, de acordo com Aceto *et al.* (2020), o *H4.0* é profundamente caracterizado pela adoção de três principais tecnologias, a internet das coisas, a *big data* e a computação em nuvem que estão revolucionando os serviços de saúde. A seguir, cada uma das tecnologias é descrita em detalhes, com exemplos de aplicação no contexto do *healthcare*.

## Quadro 1 – Tecnologias do H4.0

Tecnologias	Autores
Telemedicina	(ACETO <i>et al.</i> , 2020; BITAR; ALISMAIL, 2021; CHANDRA <i>et al.</i> , 2022; CHEN <i>et al.</i> , 2020; HALEEM <i>et al.</i> , 2022; LISBOA <i>et al.</i> , 2023)
Internet das Coisas (IoT) e suas categorias: <i>Internet of Medical Things (IoMT); Internet of Health Things (IoHT); Internet of Nano Things (IoNT); Wearable Internet of Things (WIoT); Internet of m-health Things</i>	(ACETO <i>et al.</i> , 2020; FLÓREZ <i>et al.</i> , 2020 GUPTA <i>et al.</i> , 2019; KISHOR; CHAKRABORTY, 2021; YANG <i>et al.</i> , 2021; THUEMMLER; BAI, 2017; WANG <i>et al.</i> , 2014; GUPTA, <i>et al.</i> , 2023)
<i>Big data</i>	(THUEMMLER; BAI, 2017; BONGOMIN <i>et al.</i> , 2020; CHANDRA <i>et al.</i> , 2022)
Computação em nuvem	(ACETO <i>et al.</i> , 2020; BONGOMIN <i>et al.</i> , 2020; CHANDRA <i>et al.</i> , 2022; THUEMMLER; BAI, 2017)
Robôs autônomos	(BONGOMIN <i>et al.</i> , 2020; GOY <i>et al.</i> , 2019; CHANDRA <i>et al.</i> , 2022; THUEMMLER; BAI, 2017)
Manufatura aditiva ou impressão 3D	(THUEMMLER; BAI, 2017; GOY <i>et al.</i> , 2019; BONGOMIN <i>et al.</i> , 2020; CHANDRA <i>et al.</i> , 2022)
Realidade aumentada e virtual	(GUPTA <i>et al.</i> , 2019; THUEMMLER; BAI, 2017; BONGOMIN <i>et al.</i> , 2020; CHANDRA <i>et al.</i> , 2022)
Sistemas ciberfísicos	(THUEMMLER; BAI, 2017; GUPTA, <i>et al.</i> , 2023)
<i>Blockchain</i>	(KUMAR <i>et al.</i> , 2020; ANJUM <i>et al.</i> , 2020; DIMITROV, 2019; LEEMING <i>et al.</i> , 2019; KUMAR <i>et al.</i> , 2020)
Inteligência Artificial (IA)	(THUEMMLER; BAI, 2017; BONGOMIN <i>et al.</i> , 2020)
Simulação	(BONGOMIN <i>et al.</i> , 2020)

### 1) Telemedicina

Conforme a OMS, a telemedicina é definida como a prestação de serviço(s) de saúde usando tecnologias de telecomunicação (áudio, vídeo, aplicativos de comunicação social e outros meios de comunicação) para a troca de informações entre médicos, pacientes e outros profissionais de saúde. As trocas de modalidades mais comuns de telemedicina incluem tecnologia em tempo real, tecnologia de armazenamento e encaminhamento, monitoramento remoto e abordagens de saúde móvel (FATEHI; WOOTTON, 2012; CHANDRA *et al.*, 2022).

A telemedicina se tornou vital na pandemia da COVID-19, e criou uma pressão significativa nas instalações de saúde existentes, dada as limitações de recursos médicos e profissionais de saúde (CHANDRA *et al.*, 2022).

### b) Internet das Coisas (IoT)

A *IoT* engloba algumas tecnologias ligadas e conectadas pela utilização de grandes quantidades de sensores ligados a vários dispositivos, que geram dados que aumentam a capacidade de tomada de decisão em tempo real (WANG *et al.*, 2014). Sua aplicação nos serviços de saúde é de grande relevância tendo em vista promissores avanços tecnológicos, econômicos e sociais, isto é, as

organizações de saúde estão buscando aplicar tecnologias de TI eficazes que lhes permitam consolidar recursos organizacionais para oferecer uma experiência de alta qualidade ao paciente, melhorar o desempenho organizacional e até mesmo criar novos modelos de negócios baseados em dados (ACETO *et al.* 2020).

Flórez *et al.* (2020) apresenta um estudo sobre *IoT* e simulação computacional aplicado no Departamento de Emergência Hospitalar (HED) cujos resultados mostram uma melhoria na utilização dos recursos e uma redução do tempo de internação que reduz diretamente a taxa de mortalidade do HED, melhorando a qualidade do serviço. Os dados analisados no HED se mostraram úteis para resolver o problema de superlotação, e o uso de ferramentas de simulação permitiu o desenvolvimento de um teste e validação para otimização de HED seguindo os princípios do *e-Health* e Hospital 4.0.

A utilização da *IoT* na área de saúde reduz o tempo de espera em uma emergência, o rastreamento de estoque, equipe e paciente, aumentando o poder de gerenciamento de drogas/medicamentos, monitoramento e relatórios, isso possibilita a redução de custos, assistência médica remota e atendimento mais rápido facilitar o diagnóstico (KISHOR; CHAKRABORTY, 2021).

### **c) Big data**

A *big data* possui grande capacidade de coletar, organizar e analisar enormes quantidades de dados das mais variadas fontes, possibilitando otimizar a produção, reduzir o consumo de energia e melhorar o desempenho dos equipamentos (VAIDYA *et al.*, 2018). A *big data* em um ambiente com grande quantidade de dados estruturados e semiestruturados são armazenados, chegando de várias fontes e conectadas através da *IoT*, de modo a promover e fornecer informações precisas e rápidas para a tomada de decisões (VAIDYA *et al.*, 2018).

No que diz respeito ao setor de saúde a *big data* auxilia nos registros e compartilhamento de informações médicas e podem servir para tomada de decisão, promovendo o gerenciamento e monitoramento da saúde dos pacientes. Noutro aspecto, grandes quantidades de dados biológicos em várias formas podem ser gerados e coletados em um velocidade e escala sem precedentes, possibilitando uma redução no custo de aquisição e a análise de dados que podem ser organizados em quatro níveis diferentes (dados de nível molecular, nível de tecido dados, dados em nível de paciente e dados populacionais) (ACETO *et al.*, 2020).

### **d) Computação em nuvem**

A computação em nuvem é utilizada por muitas empresas, em virtude da possibilidade de acessar arquivos e executar diferentes tarefas pela internet, sem a necessidade de instalar aplicativos no computador (ZHONG *et al.*, 2017). Essa tecnologia indica acesso remoto com uma resposta extremamente rápida aos dados armazenados em um ambiente, por meio da *IoT* (ZHONG *et al.*, 2017).

Os benefícios característicos da computação em nuvem estão relacionados aos custos de integração e otimização de recursos que são especificamente significativos no contexto da saúde (ACETO *et al.*, 2018). A adoção da computação em nuvem no sistema de saúde traz algumas contribuições no que tange à melhoria geral da qualidade do serviço, quando dispositivos e objetos inteligentes são cada vez mais utilizados no dia a dia e vida de pacientes e médicos, permitindo uma maior previsibilidade na descoberta de problemas sérios de saúde (ACETO *et al.*, 2018).

As arquiteturas baseadas na computação em nuvem têm sido amplamente adotadas para fortalecer e simplificar o *design*, o desenvolvimento e a implantação de sistemas de informação, para coleta, processamento e compartilhamento de registros clínicos, informações administrativas de hospitais, imagens médicas, entre outros (ACETO *et al.*, 2018). Todavia, ainda existem preocupações com aspectos relacionados à segurança e privacidade (ACETO *et al.*, 2018).

#### **e) Robôs autônomos**

Robôs são utilizados há muito tempo na indústria manufatureira, no entanto, o diferencial dessa tecnologia na I4.0 está na capacidade de trabalhar sem a supervisão humana, agindo de forma inteligente, cooperativa e autônoma, possibilitando a redução de custos com mão-de-obra e aumento da produção, tornando as indústrias mais competitivas (KAMBLE *et al.*, 2018; PEI *et al.*, 2017).

No contexto do *healthcare*, a melhoria na tecnologia robótica ajuda a construir a capacidade (ou seja, confiança, conhecimento e habilidades) para autogestão, reduzindo a carga sobre profissionais de saúde (THUEMMLER; BAI, 2017). O domínio da saúde emprega uma ampla variedade de dispositivos com diversos recursos técnicos, desde sensores alimentados por bateria a robôs cirúrgicos complexos (THUEMMLER; BAI, 2017). A telecirurgia, por exemplo, necessita fortemente da tecnologia 5G para que os seus requisitos sejam atendidos, como disponibilidade garantida e confiável de informações e bancos de dados e fluxos de dados em tempo real de uma grande variedade de fontes (THUEMMLER; BAI, 2017).

#### **f) Impressão 3D**

A impressão 3D, também chamada de manufatura aditiva, é utilizada para a produção de protótipos físicos e peças únicas (KAMBLE *et al.*, 2018). Na I4.0 a manufatura aditiva como técnica de fabricação, pode trazer contribuições para as empresas, uma vez que permite produzir pequenos lotes de produtos com *design* complexo e leve, proporcionando redução de custos com personalização, fabricação e transporte (KAMBLE *et al.*, 2018).

Dentro do contexto do *healthcare*, a escassez de suprimentos médicos, de equipamentos de proteção individual (PPE) e as peças de reposição (SP) para os ventiladores mecânicos decorrente da falha das cadeias de abastecimento globais devido a pandemia da COVID-19, demonstrou a importância da fabricação aditiva ou impressão 3D associada a Internet das coisas industrial (*IoT*) para apoiar o *H4.0* a enfrentar a atual e futuras pandemias (DARWISH *et al.*, 2020).

### **g) Realidade aumentada e virtual**

Outra tecnologia aplicada a I4.0, a realidade aumentada (AR) e realidade virtual (RV) que configura-se como uma ferramenta que expande as informações no ambiente ao redor de um ser humano, permitindo que ele interaja com objetos virtuais que coexistem simultaneamente com um ambiente físico de maneira virtual, no mesmo espaço do ambiente real (VAIDYA *et al.*, 2018). Isso permite a sobreposição de objetos gerados por computador e permite simular tarefas e cenários.

Nos cuidados de saúde são adotados à RV e AR em grande escala para cirurgia robótica, simulação de cirurgia, reabilitação, condicionamento físico, e treinamento de habilidades (GUPTA *et al.*, 2019). A RV cria um ambiente de treinamento virtual para médicos, por meio do qual eles podem compreender diagnósticos e treinar as habilidades cirúrgicas, além disso é útil em várias áreas de aplicação na área de saúde, como educação médica, diagnósticos, doenças mentais, gerenciamento da dor, aptidão física, terapia de reabilitação, cirurgia, na odontologia, em tratamento de fobias, na enfermagem e também tem ótima influência em terapias de reabilitação como esclerose múltipla (GUPTA *et al.*, 2019).

### **h) Sistemas ciberfísicos**

Para sustentar os outros pilares da Indústria 4.0, a cibersegurança ou sistemas ciberfísicos é uma técnica que serve para proteger a grande quantidade de dados gerados em um mundo altamente conectado e integrado das ameaças cibernéticas (RÜSSMANN, 2015). Dessa forma, uma comunicação genuína e medidas de segurança de dados são necessárias para lidar com a questão da segurança cibernética e proteção dos dados gerados nos sistemas de saúde (AJMERA; JAIN, 2019).

### **1) Blockchain**

A tecnologia *Blockchain* tem sua aplicabilidade em quase todos os domínios em função de suas vantagens, como cripto-segurança, transparência, imutabilidade e rede de dados descentralizada (KUMAR *et al.*, 2020). Nos tempos atuais, um sistema de saúde inteligente com uma rede de dados *blockchain* e processos de saúde 4.0 fornece transparência, acessibilidade fácil e rápida, segurança, eficiência, entre outros (KUMAR *et al.*, 2020; LEEMING *et al.*, 2019).

Além disso, o *blockchain* torna o processo de tomada de decisão contínuo por meio da avaliação simultânea por cada parte interessada o que conseqüentemente aumenta a confiança (LEEMING *et al.*, 2019). Essas características do *blockchain* são consideradas muito importante para resolver os problemas atuais enfrentados pelo setor de saúde, como grande número de pacientes, recursos limitados, mudança da natureza das doenças e do grande número de pacientes idosos (LEEMING *et al.*, 2019). Por outro lado, questões não convencionais envolvem o gerenciamento de dados dos pacientes, incluindo aumento na quantidade de dados, armazenamento de dados, compartilhamento e manutenção da privacidade dos dados médicos para atendimento centrado no paciente (DIMITROV, 2019).

### **j) Inteligência artificial**

A inteligência artificial (IA) consiste em tecnologia de computação com desempenho semelhante à inteligência humana. A IA pode transformar a medicina e suas aplicações podem ser adaptadas para uso mais amplo, incluindo pesquisa farmacêutica e desenvolvimento, vigilância de saúde pública e gestão de cuidados de saúde (ORGANIZATION, 2019). A inteligência artificial é amplamente implementada na área de saúde 4.0 para a produção precoce de resultados precisos. As primeiras previsões de doenças ajudam os médicos a tomar decisões precoces para salvar a vida dos pacientes (KISHOR; CHAKRABORTY, 2021).

### **l) Simulação computacional**

Utilizada para gestão de instalações de saúde, melhoria de processos e planejamento de recursos, de forma a testar soluções antes de implementá-las. A simulação contribui para educação médica, pesquisa e treinamento, administração de medicamentos e agentes antimicrobianos, bem como na gestão de instalações de saúde e otimização de processos e operações, planejamento dos recursos, melhoria da eficiência da sala de emergência; detecção, diagnóstico, previsão, prognóstico, prevenção e tratamento (BONGOMIN *et al.*, 2020).

As tecnologias da I4.0 permitem o atendimento de determinados princípios, não sendo diferente para o contexto H4.0, conforme se verifica a seguir.

### 1.4.3 Princípios de *Healthcare 4.0*

Os princípios do *H4.0* não diferem dos princípios da I4.0. De acordo com Thuemmler e Bai (2017) e Mohamed e Al-Jaroodi (2019) os princípios são: interoperabilidade; virtualização; descentralização; capacidade em tempo real; orientação de serviço; modularidade; proteção, segurança, resiliência.

A Interoperabilidade se refere a capacidade que os componentes da Indústria 4.0 (*IoT*, *IoS*, sistemas operacionais, sistemas embarcados) de se integrar, comunicar, trocar informações, realizar operações e controlar atividade uma das outras de forma autônoma e independente do fabricante e modelo. A interoperabilidade facilita o fluxo contínuo de informações em todos os níveis, dentro da organização e na cadeia de valor em que está inserida. A garantia de interoperabilidade segura é fundamental na área da saúde, pois qualquer falha na comunicação pode causar sérios danos ao paciente.

Por sua vez, a virtualização é a capacidade de criar uma cópia virtual do processo físico através dos dispositivos (CPS) que realizam o monitoramento e comunicação entre a máquina ou processo físico e a máquina que constrói o modelo virtual. A capacidade de acompanhar o processo virtualmente é uma peça chave para o dia-a-dia dos processos nos hospitais, por exemplo. Os CPSs (ex.: biossensores) poderão monitorar de forma bem abrangente os pacientes cirúrgicos desde a entrada no Hospital, passando pelos procedimentos cirúrgicos até a sua alta.

Outro princípio é a Descentralização que é a capacidade de operações locais ou mesmo células operacionais poderem tomar decisões próprias sem passar por qualquer instância centralizadora, os CPSs, *IoT*, *IoS* e *Big Data Analytics* permitem que as ações assistenciais sejam mais eficazes e personalizadas.

Já a Capacidade de resposta em tempo real diz respeito a coleta de dados e análise em tempo real, onde se ajusta o processo e faz correções para atender as demandas dos clientes (personalização dos produtos) e mesmo para se adaptarem as intercorrências do ambiente, como falhas operacionais. Na Saúde, isto levará à implementação de prescrições individualizadas, medicamentos inteligentes, uso de “bio-atuadores” inteligentes e administração da cadeia de suprimentos mais próximo dos eventos. Este princípio tem como um fator crucial a implementação de medicina personalizada, produtos farmacêuticos inteligentes e gestão da cadeia de abastecimento.

A Orientação ao serviço é a utilização das informações captadas antes, durante e após o processo de produção para, através do IoS (*Internet of Services*), prover serviços ao longo de toda a cadeia. Os membros da cadeia de valor possam atuar e monitorar os clientes e usuários finais para que suas especificações e necessidades sejam atendidas pelos seus fornecedores. Os processos de fabricação podem ser alterados a qualquer momento para atender as mudanças que os clientes desejam antes que o produto final seja entregue. Na Saúde a ideia de serviço está na utilização das informações a respeito do paciente para produzir estratégias cada vez mais personalizadas e específicas, por exemplo, as farmacêuticas vão deixar de ser fabricantes de medicamentos e passar a prestadores de serviços em que, conforme os dados dos pacientes, irão desenhar as configurações dos medicamentos que melhor atendam aquele paciente em um caso específico.

A Modularidade é a construção de uma linha de produção ou de serviços montada em uma arquitetura modular, de tal forma, que os processos podem se ajustar facilmente para atender flutuações sazonais ou mudanças nas características dos produtos. Baseado em softwares e interfaces de hardwares padronizados, a linha identifica automaticamente a necessidade de novos módulos para atender a novos requisitos e, que por sua vez, são trocados imediatamente via IoS (*Internet of Services*). Modularidade é muito importante para a assistência para lidar com mudanças de ambientes e necessidades diversas dos pacientes.

O setor de saúde está mudando de um atendimento centrado no hospital tradicional para um atendimento mais virtual e distribuído que aproveita fortemente as tecnologias mais recentes em torno de inteligência artificial, maior aprendizado, análise de dados, genômica, atendimento médico domiciliar, robótica e impressão tridimensional de tecidos e implantes. No futuro, mudanças fundamentais irão remodelar o setor de saúde. Os cuidados de saúde serão fornecidos de forma contínua e diferente de modelos centrado nas organizações para modelos centrado no paciente e com um maior enfoque na prevenção e intervenção precoce (WEHDE, 2019; TORTORELLA *et al.*, 2022). Dessa forma, considerando o exposto e pensando em se tornar Hospitais do futuro, o H4,0 passa a ser fundamental, e para auxiliar no processo de implementação desse novo modelo de negócios, os modelos de maturidade são fundamentais, conforme se verifica a seguir.

#### **1.4.4 Modelos de maturidade**

Os modelos de maturidade (MM) são os meios de medir e combinar um conjunto de capacidades necessárias para que as empresas atinjam o estado desejado (SCHUMACHER *et al.*, 2016). Dessa forma, podem ser considerados como ferramentas importantes para avaliação de

estratégias de gestão e ofereçam parâmetros para que as empresas tenham clareza sobre o resultado de seus esforços para alcançar seus objetivos (JESUS; LIMA, 2020).

Os modelos de maturidade, em sua maioria, são compostos por níveis e dimensões que servem para avaliar em qual nível a empresa está em relação a determinado aspecto (SHUMACHER *et al.*, 2016; JESUS; LIMA, 2020). Convém destacar que os níveis são rótulos graduais que significam estágios de maturidade (RAFAEL *et al.*, 2020; DE SOUZA *et al.*, 2020), já as dimensões representam capacidades de um domínio de interesse (RAFAEL *et al.*, 2020).

Muitas organizações definem I4.0 como sua meta de evolução, mas não sabem o que significa ou como chegar lá, ou ambos (GHOBAKHLOO, 2018). As empresas que buscam ativamente desenvolver seu *status* I4.0 devem começar por compreender seu nível de maturidade atual (BIBBY; DEHE, 2018) e a aplicação de metodologias de avaliação de maturidade adequadas que ajudam entender suas capacidades atuais, dada a maturidade de seus recursos e tecnologias para I4.0 (DE CAROLIS *et al.*, 2017). Neste sentido, Colli *et al.* (2019) propõe um modelo baseado em PDL (*Problem Based Learning*) que conduz para uma avaliação de maturidade digital com recomendações específicas para cada contexto, tal modelo é constituído por etapas que podem auxiliar profissionais de diferentes organizações na operacionalização da transformação digital.

Os modelos de maturidade para I4.0 descritos na literatura consultada apresentam dimensões universais como: estratégia, liderança, consumidores, produtos, operações, cultura, pessoas, governança, segurança e tecnologia. Muitos dos modelos estão fortemente apoiados em três pilares IoT, computação em nuvem e *big data*. As demais tecnologias contempladas na I4.0 estão sustentadas também nesses pilares. Já em relação aos níveis, a literatura mostra que a maioria dos MMs, contemplam cinco níveis de maturidade (Ver Quadro 2 do artigo 1 – parte 2 da dissertação).

## **1.5 PRINCIPAIS RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **1.5.1 Resultados e discussão do artigo 1**

O primeiro artigo teve como objetivo realizar uma síntese dos MM da I4.0 existentes na literatura por meio de uma RSL. Para tanto, foi realizada uma busca de artigos na base de dados *Web of Science* e *Scopus*, em seguida realizada uma análise quantitativa e descritiva dos artigos para identificar níveis, dimensões, procedimentos utilizados aplicação e limitações dos modelos.

Na análise quantitativa e descritiva dos artigos foi possível obter uma visão geral sobre o tema pesquisado, e com a utilização da bibliometria e planilhas do Microsoft Excel extrair dados como: citações, ano, autor, nome do modelo de maturidade, setor econômico de aplicação da pesquisa,

métodos científicos adotados e formas de aplicação dos modelos. A segunda parte da análise contou com a revisão mais aprofundada dos artigos por meio de uma análise semântica conforme sugere (TRANFIELD *et al.*, 2003). De modo igual, foram adotadas planilhas do Microsoft Excel para identificar características gerais dos MM; dimensões, níveis de maturidade, técnicas e procedimentos de análise dos níveis e dimensões e limitações dos modelos. Dos 68 artigos selecionados para a amostra final, apenas 30 artigos tratavam especificamente de modelos de maturidade para I4.0, por isso foram utilizados para compor uma síntese dos modelos de maturidade para I4.0.

Os resultados encontrados na RSL indicam que a maior parte dos MMs possuem cinco níveis de maturidade, do inexistente ao avançado, como exemplo dos modelos propostos por (CAIADO *et al.*, 2021; ÇINAR *et al.*, 2021; MOURA; KOHL, 2020; RAFAEL *et al.*, 2020; RAMANATHAN; SAMARANAYAKE, 2021; SANTOS; MARTINHO, 2019) e expõem dimensões ligadas diretamente à tecnologia de acordo com todos os modelos estudados, dado que a tecnologia é o alicerce principal da I4.0 (ver Quadro 3 do artigo 1– Parte 2 da dissertação) e dimensões de apoio, que norteiam o direcionamento rumo a evolução 4.0, como: estratégia, pessoas, cultura, processos/operações, produtos/serviços, segurança, criação de valor (ver Quadro 3 do artigo 1– Parte 2 da dissertação).

Com a síntese dos modelos existentes, foi possível construir um quadro de referência que serviram de base para o desenvolvimento do artigo 2 e construir um modelo de maturidade para *Healthcare* 4.0, que foi refinado com base na opinião de especialistas.

### **1.5.2 Resultados e discussão do artigo 2**

O artigo 2 teve como objetivo desenvolver um modelo de maturidade para o *H4.0* e validar por meio da opinião de especialistas. A proposta inicial do modelo foi realizada com base numa revisão de literatura, especialmente levando em conta os resultados descritos no artigo 1. Assim, o MM para o *H4.0* apresentou cinco dimensões (estratégia, cultura organizacional, pessoas e tecnologia) e cinco níveis de maturidade (0 para inexistente e 4 para avançado) aderentes às operações hospitalares. O modelo foi enviado para especialistas avaliarem aspectos referentes aos níveis e dimensões, e sua operacionalização segundo os critérios estabelecidos por Platts (1993)- Factibilidade, Usabilidade e Utilidade.

Após as considerações dos especialistas, o modelo proposto continuou composto por cinco níveis, isto é, 0 a 4, sendo, 0 para inexistente e 4 para avançado. Quanto às dimensões o modelo foi

sintetizado em três dimensões como habilitadores para *H4.0*, tais como: estratégia, pessoas e organização, e a dimensão tecnologia como práticas para o *H4.0*.

Depois da avaliação dos especialistas a dimensão “estratégia” ficou composta por quatro critérios: Planejamento estratégico, Orçamento, Criação de valor e colaboração para inovação entre organizações. A dimensão “pessoas” formada pelos critérios: Cultura de inovação, Desenvolvimento de competências, Seleção de pessoal e Especialização. Já para a dimensão “organização” os critérios estabelecidos foram: Infraestrutura, Comunicação entre setores, Processos internos, Serviços e Segurança da informação, neste caso, não houve nenhuma alteração após a avaliação dos especialistas. Em relação a dimensão “tecnologia”, ficou composta por 11 critérios, descrita como práticas para o *H4.0* e ficou composta por 11 critérios: Telemedicina, Internet das coisas (IOT), *Big data*, Computação em nuvem, Robôs autônomos, Impressão 3D, Realidade virtual e aumentada, Sistemas ciberfísicos, *Blockchain*, Inteligência Artificial e Simulação.

As dimensões consideradas no modelo refinado como habilitadoras de *H4.0* (estratégia, pessoas e organização) constam na literatura consultada, entre outros, nos modelos de Aagaard *et al.* (2021), Amaral e Peças (2021), Herceg *et al.* (2020), Sutóová *et al.* (2020) e Wagire *et al.* (2021), Chonsawat e Sopadang (2021), Çinar *et al.* (2021), Stawiarska *et al.* (2021) e Vasconcelos *et al.* (2021). A dimensão tecnologia (práticas de *H4.0*) foi citada em todos os modelos estudados (ver Quadro 3 do artigo 1– Parte 2 da dissertação).

Por último, o MM refinado apresenta características de modelos de maturidade para *I4.0*, mas considerando a opinião dos especialistas e as características das operações de saúde. Assim, serviu de base para a construção do Artigo 3.

### **1.5.3 Resultados e discussão do artigo 3**

Este artigo tem como principal objetivo avaliar o nível de maturidade do *healthcare 4.0 (H4.0)* em dois hospitais públicos paraibanos, de modo a testar a aplicabilidade do modelo proposto. Para tal propósito, um modelo de maturidade foi aplicado, considerando, especialmente, os resultados do artigo 2, que descreveu um MM para o *H4.0* já refinado segundo a opinião dos especialistas.

Dessa forma, tomando como base o modelo proposto, a próxima etapa foi a sua validação por meio dos estudos de caso. Para tanto, o primeiro passo foi selecionar as unidades de análise dos entrevistados, conforme destacado na seção 1.3.3. De acordo com a análise das informações, verificou-se que o Hospital 1 apresentou um nível de maturidade Intermediário, enquanto o Hospital

2 apresentou um nível de maturidade iniciante. Os dois hospitais divergem, nas quatro dimensões/critérios.

No que diz respeito aos habilitadores de *H4.0* (estratégia, pessoas, organização) o H1 apresenta um melhor resultado nas dimensões, estratégia e organização, dado que o H1 possui um planejamento estratégico direcionado para o *H4.0* e dispõe de uma melhor infraestrutura física. Quanto à dimensão pessoas, o fato de o processo de seleção de pessoas ser por concurso público, nem sempre contempla profissionais qualificados para o *H4.0*, todavia o hospital dispõe de uma política de desenvolvimento de competências para o *H4.0*, bem como colaboradores especializados em tecnologias, atuando de forma integrada com o setor de desenvolvimento de tecnologias. No que diz respeito à dimensão tecnologia o H1 se destaca na utilização da *big data*, computação em nuvem, realidade aumentada e virtual e *blockchain*, e pouca utilização de telemedicina, impressão 3D e simulação.

Por sua vez, o Hospital 2 não possui um planejamento estratégico com ações voltadas para o *H4.0*, isso dificulta sua implementação, dado que a adoção de medidas que direcionam para o *H4.0* são tomadas para atender problemas pontuais e não de forma sistemática. Em relação à dimensão pessoas, existem algumas ações para atrair e manter profissionais habilitados em novas tecnologias, mas não há direcionamento claro para o *H4.0*. Na dimensão organização, o H2 necessita de infraestrutura física e tecnológica para apoiar os processos. No aspecto de tecnologia, o H2 se destaca na utilização de telemedicina e pouca utilização realidade aumentada e virtual. As demais tecnologias ainda não são utilizadas pelo hospital.

No entanto, verificou-se que os dois hospitais estudados ainda têm muito a avançar no contexto *H4.0*. Os resultados dessa pesquisa ratificam os resultados de outros estudos que reiteram que o *H4.0* é pouco difundido dentro de contextos hospitalares (TORTORELLA *et al.*, 2021; JOSE *et al.*, 2022) e que a adoção do *H4.0* está em estágios iniciais, bem como aspectos relacionados à estratégia, capital humano e recursos financeiros que são determinantes para saúde 4.0 (ĆWIKLICKI *et al.*, 2020; MWANZA *et al.*, 2023) isso ocorre tanto em economias desenvolvidas, como em economias emergentes.

Apesar de os estudos de caso apresentarem percepções importantes, os resultados não deixam de estar associados a um contexto específico de estudo, e, neste caso no Estado da Paraíba, onde há pouca tradição em serviços de saúde de referência, isso também pode ter interferido nos resultados. A percepção de aplicabilidade do modelo pode mudar quando se observar diferenças contextuais

significativas. Outra limitação diz respeito ao nível de maturidade que pode ser diferente de acordo com o setor do hospital avaliado, isso também é válido em relação às dimensões.

Após a aplicação, concluiu-se que o modelo proposto atendia, de fato, a seu propósito, trazendo a possibilidade de uma autoavaliação de maturidade em *H4.0*.

## **1.6 CONCLUSÕES**

Essa dissertação teve como tema o desenvolvimento e aplicação de um modelo de maturidade para o *H4.0*. Existem várias motivações, incluindo os desafios enfrentados pelos serviços de saúde, as possibilidades que podem surgir com a adoção de tecnologias 4.0 e a escassez de produção científica sobre MM,s para *H4.0*. Desse modo, o objetivo geral da dissertação foi desenvolver um modelo de maturidade para *H4.0*. Para seu alcance foram estabelecidos 4 objetivos específicos que serão descritos a seguir, bem como a forma que foram alcançados. Dessa forma, pode-se afirmar que se os objetivos específicos da dissertação foram atendidos, como consequência, o objetivo geral também foi.

### **OE1 - Identificar níveis, dimensões e procedimentos dos modelos de maturidade para Indústria 4.0.**

A partir de uma revisão sistemática da literatura sobre a temática foram identificados cinco níveis de maturidade, do inexistente ao avançado, e dimensões relacionadas à tecnologia, além de dimensões que servem de apoio para as organizações, tais como: pessoas, cultura, estratégia, produtos/serviços, processos/operações, governança, organização, segurança e criação de valor. Verificou-se também na literatura que os MMs para I4.0, em sua maioria são voltados para manufatura, não dispondo de MMs voltados para serviços. A partir da revisão realizada foi possível construir um quadro de referência para auxiliar na adoção ou no desenvolvimento de novos modelos de maturidade.

### **OE2 - Analisar as particularidades dos conceitos e tecnologias da I4.0 para as operações hospitalares.**

A partir da análise da literatura foi possível identificar as principais tecnologias I4.0 utilizadas nos serviços de saúde, a saber: Telemedicina, Internet das coisas (IOT), *Big data*, Computação em nuvem, Robôs autônomos, Impressão 3D, Realidade virtual e aumentada, Sistemas ciberfísicos, *Blockchain*, Inteligência Artificial e Simulação. As tecnologias da I4.0 apresentam-se também como

alternativa para ganhos de produtividade e melhoria dos serviços de saúde, e são utilizadas, entre outros aspectos para gestão de instalações de saúde, otimização de processos e operações, planejamento dos recursos, melhoria da eficiência da sala de emergência; detecção, diagnóstico, previsão, prognóstico, prevenção e tratamento para medicina preditiva, preventiva, personalizada e participativa.

### **OE3 - Analisar a aderência dos níveis e dimensões de um modelo de maturidade para *Healthcare 4.0* por meio da opinião de especialistas e estruturar o modelo.**

Para analisar a aderência dos níveis e dimensões o MM para *H4.0* foi avaliado por especialistas, e com base na ponderação deles, o MM foi refinado e considerou cinco níveis de maturidade (0 para inexistente e 4 para avançado). As dimensões do modelo foram sintetizadas em habilitadores para *H4.0* (estratégia, pessoas e organização), e a dimensão tecnologia como práticas para o *H4.0* (Telemedicina, Internet das coisas (IoT), *Big data*, Computação em nuvem, Robôs autônomos, Impressão 3D, Realidade virtual e aumentada, Sistemas ciberfísicos, *Blockchain*, Inteligência Artificial e Simulação).

### **OE4 – Aplicar o modelo proposto em hospitais públicos paraibanos, de forma a testar sua aplicabilidade.**

O MM proposto para o *H4.0* foi aplicado em dois hospitais públicos paraibanos. Dessa forma, foi possível identificar o nível de maturidade desses hospitais em relação ao *H4.0*. O Hospital 1 apresentou um nível de maturidade Intermediário, enquanto o Hospital 2 apresentou um nível de maturidade iniciante. Todavia, constatou-se que os dois hospitais estudados têm muito o que evoluir no que diz respeito ao *H4.0*. Por outro, lado a aplicabilidade do modelo foi constatada pela forma que os resultados foram obtidos e por sua aderência constatada nos hospitais estudados.

Por fim, considerando que os objetivos específicos foram alcançados, a questão de pesquisa também foi respondida, ou seja, “como avaliar a maturidade dos serviços de saúde no que tange a implementação do *healthcare 4.0*?” Para responder esse questionamento, um MM voltado para o *H4.0* foi desenvolvido inicialmente por meio de uma RSL e refinado por especialistas.

Essa pesquisa apresenta algumas contribuições teóricas e empíricas. Em termos teóricos a dissertação possui três contribuições principais: (i) a RSL identificou características relevantes dos modelos de maturidade da *I4.0* que tem potencial de apoiar futuros pesquisadores, bem como construir MMs aplicáveis em diferentes organizações; (ii) o desenvolvimento do modelo para

avaliação da maturidade do *H4.0*, posto que não foi encontrado na literatura analisada um MM da I4.0 voltado para operações hospitalares; (iii) o modelo aplicado pode servir como roteiro para identificar o nível de maturidade para *H4.0*, identificando fatores estratégicos, gestão de pessoas, aspectos organizacionais e tecnologias de *H4.0*, permitindo uma visão sistêmica dos hospitais estudados em direção ao *H4.0*.

Em termos práticos e gerenciais, as contribuições se dividem em duas principais: (i) O MM proposto apresentou níveis, dimensões e critérios que possibilitam a avaliação de todo o sistema de forma simples, podendo ser aplicado de forma autônoma pelos gestores dos hospitais, pois foi considerado de fácil aplicação pelos especialistas, apoiando na avaliação do nível de maturidade; (ii) estudar hospitais públicos brasileiros, com características bem específicas e que atuam no SUS (Sistema Único de Saúde), representa um avanço na literatura e uma relevante contribuição prática para essas organizações.

Como era de se esperar, o trabalho também possui algumas limitações que podem se transformar em oportunidades para o desenvolvimento de novas pesquisas. Por exemplo, a RSL utilizou apenas duas bases de dados e um número limitado de termos de busca, a avaliação da maturidade do *H4.0* foi realizada em apenas dois hospitais públicos; e, as entrevistas foram limitadas a engenheiros clínicos e gestores do hospital.

A partir das limitações, novas oportunidades surgem, como a ampliação dos termos de busca e base de dados, a aplicação do MM em diferentes hospitais e regiões, a inclusão de diferentes colaboradores e partes interessadas, para obter análises comparativas mais robustas, além de um apanhado mais específico de tecnologias 4.0 utilizadas no contexto de saúde.

## REFERÊNCIAS DA SEÇÃO 1

AAGAARD, Annabeth *et al.* The Role of Digital Maturity Assessment in Technology Interventions with Industrial Internet Playground. **Electronics**, v. 10, n. 10, p. 1134, 2021.

ACETO, Giuseppe; PERSICO, Valerio; PESCAPÉ, Antonio. Industry 4.0 and Health: Internet of Things, Big Data, and Cloud Computing for Healthcare 4.0. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 18, n. October 2019, p. 100129, 2020.

ACETO, Giuseppe; PERSICO, Valerio; PESCAPÉ, Antonio. The role of Information and Communication Technologies in healthcare: taxonomies, perspectives, and challenges. **Journal of Network and Computer Applications**. v. 107, p. 125-154, 2018.

AJMERA, Puneeta; JAIN, Vineet. Modelling the barriers of Health 4.0—the fourth healthcare industrial revolution in India by TISM. **Operations Management Research**, v. 12, n. 3–4, p. 129–145, 2019.

- ALLOGHANI, Mohamed *et al.* Healthcare Services Innovations Based on the State of the Art Technology Trend Industry 4.0. **2018 11th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE)**. IEEE, 2018. p. 64-70.
- AMARAL, Afonso; PEÇAS, Paulo. SMEs and Industry 4.0: Two case studies of digitalization for a smoother integration. **Computers in Industry**, v. 125, 2021.
- ANJUM, Hira Fariha *et al.* Mapping Research Trends of Blockchain Technology in Healthcare. **IEEE Access**, v. 8, p. 174244–174254, 2020.
- BECKER, J.; KNACKSTEDT, R.; PÖPPELBUß, J. **Developing maturity models for IT management**. *Bus Inf Syst Eng* 1: 213–222. 2009.
- BIBBY, Lee; DEHE, Benjamin. Defining and assessing industry 4.0 maturity levels—case of the defence sector. **Production Planning and Control**, v. 29, n. 12, p. 1030–1043, 2018.
- BONGOMIN, Ocident *et al.* Industry 4.0 Disruption and Its Neologisms in Major Industrial Sectors: A State of the Art. **Journal of Engineering**, v. 2020, p. 1–45, 2020.
- BUHELDT, Beata; FRACZKIEWICZ-WRONKA, Aldona; DOBROWOLSKA, Małgorzata. The organizational aspect of human resource management as a determinant of the potential of Polish hospitals to manage medical professionals in healthcare 4.0. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 12, 2020.
- CAIADO, Rodrigo Goyannes Gusmão *et al.* A fuzzy rule-based industry 4.0 maturity model for operations and supply chain management. **International Journal of Production Economics**, v. 231, n. July 2020, 2021.
- CHAKRABORTY, Samyadip *et al.* Analysis of digital technologies as antecedent to care service transparency and orchestration. **Technology in Society**, v. 65, p. 101568, 2021.
- CHANDRA, Mukesh *et al.* Digital technologies, healthcare and Covid-19: insights from developing and emerging nations. **Health and Technology**, v. 12, n. 2, p. 547–568, 2022.
- CHEN, Rui; SNYDER, Michael. Promise of personalized omics to precision medicine. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Systems Biology and Medicine**, v. 5, n. 1, p. 73–82, 2013.
- CHONSAWAT, Nilubon; SOPADANG, Apichat. Smart SMEs 4.0 Maturity Model to Evaluate the Readiness of SMEs Implementing Industry 4.0. *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*, v. 20, n. 2, p. 1–13, 2021.
- ÇINAR, Zeki Murat; ZEESHAN, Qasim; KORHAN, Orhan. A Framework for Industry 4.0 Readiness and Maturity of Smart Manufacturing Enterprises: A Case Study. **Sustainability**, v. 13, n. 12, p. 6659, 2021.
- ĆWIKLICKI, Marek; KLICH, Jacek; CHEN, Junsong. The adaptiveness of the healthcare system to the fourth industrial revolution: A preliminary analysis. **Futures**, v. 122, 2020.
- DARWISH, Lamis R.; FARAG, Mahmoud M.; EL-WAKAD, Mohamed T. Towards Reinforcing Healthcare 4.0: A Green Real-Time IIoT Scheduling and Nesting Architecture for COVID-19 Large-Scale 3D Printing Tasks. **IEEE Access**, v. 8, p. 213916–213927, 2020.
- DE CAROLIS, Anna *et al.* Guiding manufacturing companies towards digitalization a methodology for supporting manufacturing companies in defining their digitalization roadmap. **2017**

**International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)**. IEEE, 2017. p. 487-495

DE JESUS, Cristiano; LIMA, Rui M. *Literature search of key factors for the development of generic and specific maturity models for industry 4.0*. **Applied Sciences**, v. 10, n. 17, p. 5825, 2020.

DIMITROV, Dimiter V. Blockchain Applications for Healthcare Data Management. **Healthcare Informatics Research**, v. 25, n. 1, p. 51, 2019.

FATEHI, Farhad; WOOTTON, Richard. Telemedicine, telehealth or e-health? A bibliometric analysis of the trends in the use of these terms. **Journal of Telemedicine and Telecare**, v. 18, n. 8, p. 460–464, 2012.

FLÓREZ CÁCERES, Camilo Andrés; ROSÁRIO, João Mauricio; HURTADO, Dario Amaya. Application of automation and manufacture techniques oriented to a service-based business using the Internet of Things (IoT) and industry 4.0 concepts. Case study: Smart hospital. **Gestao e Producao**, v. 27, n. 3, 2020.

GHOBAKHLOO, Morteza. The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 29, n. 6, p. 910–936, 2018.

GUPTA, Aditya; SINGH, Amritpal. A Comprehensive Survey on Cyber-Physical Systems Towards Healthcare 4.0. **SN Computer Science**, v. 4, n. 2, p. 199, 2023.

GUPTA, Rajesh *et al.* Tactile internet and its applications in 5G era: A comprehensive review. **International Journal of Communication Systems**, v. 32, n. 14, 2019.

HADDARA, Moutaz; STAABY, Anna. RFID Applications and Adoptions in Healthcare: A Review on Patient Safety. **Procedia Computer Science**, v. 138, p. 80–88, 2018.

HERCEG, Iva Vuksanović *et al.* Challenges and driving forces for industry 4.0 implementation. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 10, 2020.

HERRMANN, Maximilian *et al.* Digital Transformation and Disruption of the Health Care Sector: Internet-Based Observational Study. **Journal of Medical Internet Research**, v. 20, n. 3, p. e104, 2018.

JAVAID, Mohd; HALEEM, Abid. Impact of industry 4.0 to create advancements in orthopaedics. **Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma**, v. 11, p. S491–S499, 2020.

JAYARAMAN, Prem Prakash *et al.* *Healthcare 4.0: A review of frontiers in digital health*. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery**, v. 10, n. 2, p. e1350, 2020.

JOSE, Abey *et al.* Professional Competence and Its Effect on the Implementation of Healthcare 4.0 Technologies: Scoping Review and Future Research Directions. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 20, n. 1, p. 478, 2022.

KAMBLE, Sachin S.; GUNASEKARAN, Angappa; GAWANKAR, Shradha A. Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 117, p. 408–425, 2018.

KAMBLE, Sachin S.; GUNASEKARAN, Angappa; SHARMA, Rohit. Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry. **Computers in Industry**, v. 101, p. 107–119, 2018.

- KISHOR, Amit; CHAKRABORTY, Chinmay. Artificial Intelligence and Internet of Things Based Healthcare 4.0 Monitoring System. **Wireless Personal Communications**, 2021.
- KUMAR, Adarsh *et al.* A Novel Smart Healthcare Design, Simulation, and Implementation Using Healthcare 4.0 Processes. **IEEE Access**, v. 8, p. 118433–118471, 2020.
- KUMARI, Aparna *et al.* Fog computing for Healthcare 4.0 environment: Opportunities and challenges. **Computers and Electrical Engineering**, v. 72, p. 1–13, 2018.
- LEEMING, Gary; CUNNINGHAM, James; AINSWORTH, John. A Ledger of Me: Personalizing Healthcare Using Blockchain Technology. **Frontiers in Medicine**, v. 6, 24, 2019.
- MOHAMED, Nader; AL-JAROUDI, Jameela. **The impact of industry 4.0 on healthcare system engineering**. In: 2019 IEEE international systems conference (SysCon). IEEE, 2019. p. 1-7.
- MOURA, Luciano Raizer; KOHL, Holger. Maturity assessment in industry 4.0 – a comparative analysis of brazilian and german companies. **Emerging Science Journal**, v. 4, n. 5, p. 365-375, 2020.
- MWANZA, Joseph; TELUKDARIE, Arnesh; IGUSA, Tak. Impact of industry 4.0 on healthcare systems of low- and middle- income countries: a systematic review. **Health and Technology**, v. 13, n. 1, p. 35–52, 2023.
- NAIR, Anand; DREYFUS, David. Technology alignment in the presence of regulatory changes: The case of meaningful use of information technology in healthcare. **International Journal of Medical Informatics**, v. 110, p. 42–51, 2018.
- NICE, E. C. From proteomics to personalized medicine: the road ahead. **Expert Review of Proteomics**, v. 13, n. 4, p. 341–343, 2016.
- ORGANIZATION, World Health. *Towards the Development of guidance on ethics and governance of artificial intelligence for health*. [S.l.: s.n.], 2019.
- PACCHINI, Athos Paulo Tadeu *et al.* The degree of readiness for the implementation of Industry 4.0. **Computers in Industry**, v. 113, p. 103125, 2019.
- PAGLIOSA, Marcos; TORTORELLA, Guilherme; FERREIRA, Joao Carlos Espindola. Industry 4.0 and Lean Manufacturing. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. ahead-of-p, n. ahead-of-print, 2019.
- PEI, Feng-Que *et al.* Process service quality evaluation based on Dempster-Shafer theory and support vector machine. **PLOS ONE**, v. 12, n. 12, p. e0189189, 2017.
- PICCAROZZI, Michela; AQUILANI, Barbara; GATTI, Corrado. Industry 4.0 in management studies: A systematic literature review. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 10, p. 1–24, 2018.
- PLATTS, K.W. A Process Approach to Researching Manufacturing Strategy. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 13, n. 8, p. 4–17, 1993.
- RAFAEL, Lizarralde Dorronsoro *et al.* An Industry 4.0 maturity model for machine tool companies. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 159, n. March, 2020.
- RAMANATHAN, Krishnamurthy; SAMARANAYAKE, Premaratne. Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: a self-diagnostic framework and an illustrative case study. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2021.

- RÜSSMANN, Michael; et Al. Future of Productivity and Growth in Manufacturing. **Boston Consulting**, n. April, 2015.
- SADIQ, Saba *et al.* An integrated framework for lean manufacturing in relation with blue ocean manufacturing - A case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, p. 123790, 2021.
- SANTOS, Reginaldo Carreiro; MARTINHO, José Luís. An Industry 4.0 maturity model proposal. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 31, n. 5, p. 1023–1043, 2019.
- SCHUMACHER, Andreas; EROL, Selim; SIHN, Wilfried. A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. **Procedia CIRP**, v. 52, p. 161–166, 2016.
- SEIDMAN, Irving. *Interviewing as Qualitative Research: A Guide for Researchers in Education and the Social Sciences*. Teachers college press, 2006.
- SOBRADILLO, Patricia; POZO, Francisco; AGUSTÍ, Álvaro. P4 Medicine: the Future Around the Corner. **Archivos de Bronconeumología ((English Edition))**, v. 47, n. 1, p. 35–40, 2011.
- STAWIARSKA, Ewa *et al.* Diagnosis of the maturity level of implementing industry 4.0 solutions in selected functional areas of management of automotive companies in Poland. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 9, 2021.
- SÜTŮOVÁ, Andrea; ŠOOŠ, Ľubomír; KÓČA, Ferdinand. Learning needs determination for industry 4.0 maturity development in automotive organisations in Slovakia. **Quality Innovation Prosperity**, v. 24, n. 3, p. 122–139, 2020.
- TANWAR, Sudeep; PAREKH, Karan; EVANS, Richard. Blockchain-based electronic healthcare record system for healthcare 4.0 applications. **Journal of Information Security and Applications**, v. 50, 2020.
- THUEMMLER, Christoph; BAI, Chunxue (Org.). **Health 4.0: How Virtualization and Big Data are Revolutionizing Healthcare**. Cham: Springer International Publishing, 2017.
- TORTORELLA, Guilherme Luz *et al.* Assessment and prioritisation of Healthcare 4.0 implementation in hospitals using Quality Function Deployment. **International Journal of Production Research**, p. 1–23, 2021.
- TORTORELLA, Guilherme Luz *et al.* Effects of contingencies on healthcare 4.0 technologies adoption and barriers in emerging economies. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 156, 2020.
- TORTORELLA, Guilherme Luz *et al.* Healthcare 4.0 digital applications: An empirical study on measures, bundles and patient-centered performance. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 181, p. 121780, 2022.
- TRANFIELD, David *et al.* Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management**, v. 14, n. 3, p. 207–222, 2003.
- VAIDYA, Saurabh; AMBAD, Prashant; BHOSLE, Santosh. Industry 4.0 – A Glimpse. **Procedia Manufacturing**, v. 20, p. 233–238, 2018.
- VASCONCELOS, Luis Henrique Rigato; GOBO JUNIOR, Paulo; RODRIGUES, Fabiano. An

Industry 4.0 maturity model applied to the automotive supply chain. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 21, n. 4, p. 230–258, 2021.

WAGIRE, Aniruddha Anil *et al.* Development of maturity model for assessing the implementation of Industry 4.0: learning from theory and practice. **Production Planning and Control**, v. 0, n. 0, p. 1–20, 2020.

WEHDE, Mark. Healthcare 4.0. **IEEE Engineering Management Review**, v. 47, n. 3, p. 24–28, 2019.

WHITE, Marilyn Domas; MARSH, Emily E. Content Analysis: A Flexible Methodology. **Library Trends**, v. 55, n. 1, p. 22–45, 2006.

YANG, Po *et al.* Multimodal Wearable Intelligence for Dementia Care in Healthcare 4.0: a Survey. **Information Systems Frontiers**, 2021.

ZÁVADSKÁ, Zuzana; ZÁVADSKÝ, Ján. Quality managers and their future technological expectations related to Industry 4.0. **Total Quality Management & Business Excellence**, v. 31, n. 7–8, p. 717–741, 2020.

ZHONG, Ray Y. *et al.* Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. **Engineering**, v. 3, n. 5, p. 616–630, 2017.

ZUEHLKE, Detlef. SmartFactory—Towards a factory-of-things. **Annual Reviews in Control**, v. 34, n. 1, p. 129–138, 2010.

## **PARTE 2 – ARTIGOS NA ÍNTEGRA**

# Artigo 1: Dimensões e níveis dos modelos de avaliação de maturidade para a Indústria 4.0: uma revisão sistemática da literatura

## RESUMO

**Objetivo:** Embora a Indústria 4.0 (I4.0) já tenha atingido diferentes tipos de negócios, as empresas ainda carecem de instrumentos para avaliar o progresso alcançado. Nesse sentido, os modelos de maturidade (MMs) são metodologias valiosas para essa finalidade, mas que no caso da I4.0, ainda são incipientes. Buscando sintetizar as contribuições que têm sido apresentadas na literatura, este artigo tem como principal objetivo realizar uma síntese dos MM da I4.0 a partir da análise de suas dimensões, níveis e procedimentos para a sua aplicação.

**Desenvolvimento/metodologia/abordagem:** O método utilizado foi uma revisão sistemática da literatura (RSL) que possibilita analisar a literatura disponível e obter uma visão geral sobre o tema. Para isso, alguns estágios foram adotados: (i) planejamento da revisão, (ii) condução da revisão e (iii) reporte e disseminação dos resultados.

**Resultados:** Os resultados indicam que os MMs, em sua maioria, possuem cinco níveis de maturidade, do inexistente ao avançado, e apresentam dimensões ligadas diretamente à tecnologia e dimensões de suporte (estratégia, operações, cultura, pessoas, segurança, etc.). Com a síntese dos modelos existentes, foi possível construir um quadro de referência que pode auxiliar na adoção ou no desenvolvimento de novos modelos de maturidade.

**Limitações da pesquisa:** O artigo utilizou apenas duas bases de dados e um número limitado de termos de busca.

**Implicações teóricas/práticas:** A revisão identificou características importantes dos modelos de maturidade da I4.0 que podem auxiliar futuros pesquisadores na área e também estimular o desenvolvimento de novos modelos aplicados a contextos diferentes do setor manufatureiro.

**Originalidade/valor:** A partir dessa RSL é possível direcionar pesquisadores em relação a diferentes aspectos, como por exemplo métodos científicos a serem adotados no processo de desenvolvimento e validação de um MM, desenvolvimento de modelos mais padronizados que possam ser adotados em diferentes contextos e diversos tipos de tecnologias da I4.0.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0; Modelos de maturidade; Revisão sistemática.

## 1. INTRODUÇÃO

O advento da Indústria 4.0 (I4.0) tem sido marcado pela utilização de diversas tecnologias que promovem vantagens técnicas e organizacionais, implicando na adoção de novas formas de gerenciamento nos diversos tipos de organizações (FETTERMANN *et al.*, 2018; DIKHANBAYEVA *et al.*, 2020). Embora a I4.0 seja uma revolução em curso, as empresas necessitam de preparação para esse ambiente de mudanças e, nesse sentido, os modelos de maturidade (MM) servem para direcionar as organizações a fim de que estas avaliem o seu estado atual (BIBBY; DEHE, 2018) e definam as diretrizes necessárias para adentrarem nesse contexto (CAIADO *et al.*, 2021). Para alcançar os

benefícios da I4.0, as empresas precisam definir prioridades em seus processos gerenciais. Com a avaliação de maturidade, essas prioridades ficam mais claras para os gestores, dado que os modelos de maturidade geralmente sinalizam o caminho para elevar o estágio de desenvolvimento da I4.0 nas organizações.

Um modelo de maturidade é caracterizado por indicar um caminho de evolução da competência de uma organização em um domínio de conhecimento específico (SANTOS; MARTINHO, 2019). Essa evolução é demonstrada em diferentes níveis de maturidade para diferentes dimensões do domínio a ser avaliado. Os modelos de maturidade para I4.0 encontrados na literatura mostram diferentes dimensões de avaliação, o que reflete a falta de consenso entre os autores sobre os elementos que constituem a maturidade para I4.0.

A literatura também mostra haver uma ausência de modelos de maturidade que englobem níveis e dimensões mais amplos para I4.0 e que possam apoiar diferentes organizações (JESUS; LIMA, 2020; DIKHANBAYEVA *et al.*, 2020). Algumas revisões de literatura apresentam levantamentos de modelos genéricos e específicos por setor de aplicação (JESUS; LIMA, 2020; SOUZA *et al.*, 2020), todavia, ainda fornecem pouco direcionamento para definir dimensões e níveis de um modelo de maturidade para I4.0. Assim, este artigo tem como principal objetivo realizar uma síntese dos MM da I4.0 existentes a partir da análise de dimensões adotadas, níveis e procedimentos para a sua aplicação. Para tanto, a pesquisa adotou o método de revisão sistemática da literatura (RSL) para: (i) apresentar uma visão geral dos modelos de maturidade para a I4.0 por meio por meio análises quantitativas e descritivas; (ii) identificar níveis, dimensões, procedimentos e limitações dos modelos de avaliação da maturidade da I4.0; e (iii); propor uma agenda de pesquisa sobre o tema.

O desenvolvimento desse artigo é relevante por algumas razões. Primeiro, a identificação de elementos que permitem avaliar a integração de níveis e dimensões dos modelos de maturidade para I4.0 emerge como um importante tema de pesquisa e o número de publicações científicas ainda é baixo em comparação com outros temas maduros em engenharia (SANTOS; MARTINHO, 2019). Conforme apontado por Jesus e Lima (2020), compreender essa integração de níveis e dimensões pode auxiliar na definição de quais dimensões devem ser consideradas, de acordo com o tipo de empresa. Dessa forma, os resultados apresentados neste artigo podem auxiliar pesquisadores e gestores no desenvolvimento de ferramentas práticas e robustas para avaliar a maturidade na implementação dos conceitos e tecnologias da I4.0.

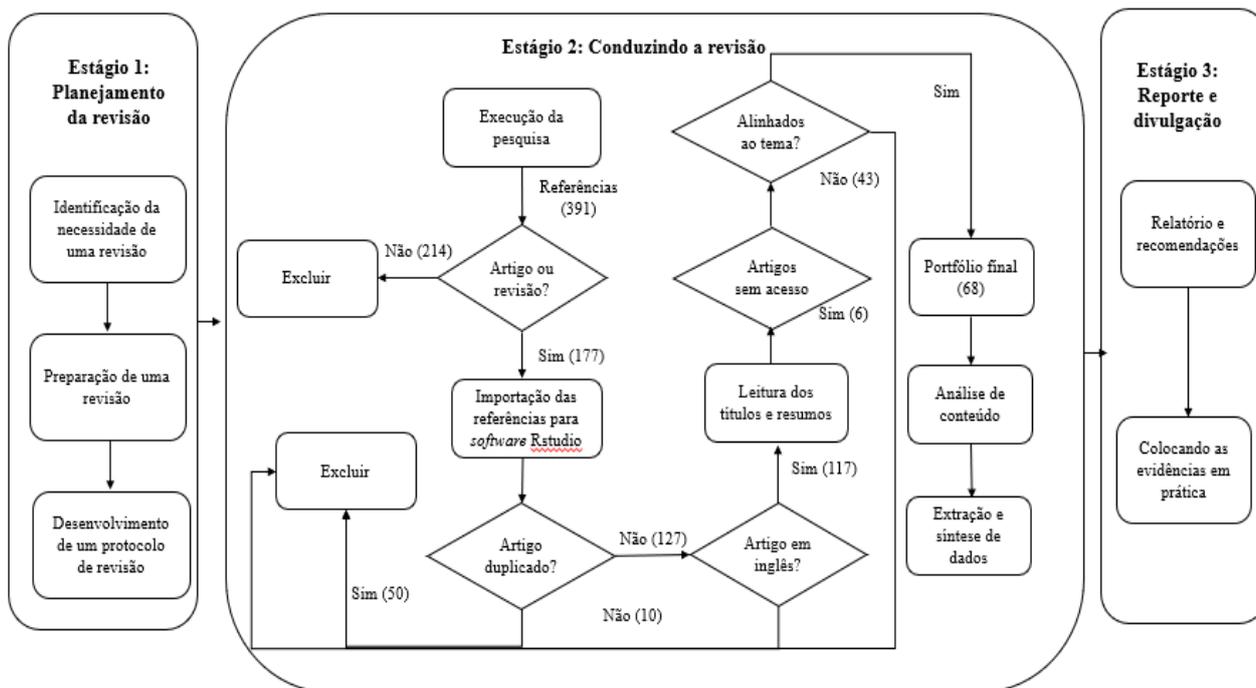
A fim de atender aos objetivos propostos, este artigo está estruturado em cinco seções, incluindo esta introdução. A segunda seção apresenta os procedimentos metodológicos empregados

para o desenvolvimento da RSL. A terceira apresenta os resultados, organizados da seguinte forma: visão geral dos modelos de maturidade para I4.0, níveis, dimensões, procedimentos e limitações dos modelos de maturidade. A quarta seção apresenta uma síntese dos modelos e propõe uma agenda de pesquisa sobre o tema. Por fim, a quinta e última seção apresenta as conclusões, contribuições e limitações da pesquisa.

## 2. MÉTODO DE PESQUISA

A RSL é um método que possibilita analisar a literatura disponível, obter uma visão geral sobre determinado tema e identificar as lacunas existentes na literatura, a partir de um procedimento estruturado de busca e análise de material bibliográfico (TRANFIELD *et al.*, 2003). Uma RSL possibilita também identificar áreas de conhecimento que precisam de estudos mais aprofundados, e para tanto, envolve alguns estágios (TRANFIELD *et al.*, 2003): (i) planejar a revisão, (ii) conduzir a revisão e (iii) reportar e disseminar resultados. Os estágios propostos pelos autores permitem a sistematização de informações importantes e a análise do estado-da-arte no tema pesquisado. A presente pesquisa adotou os estágios propostos por Tranfield *et al.* (2003) e os procedimentos adotados seguem na Figura 1. Estas etapas são detalhadas nas seções 2.1, 2.2 e 2.3, respectivamente.

**Figura 1** – Etapas da revisão sistemática da literatura



Fonte: Adaptado de Tranfield et al. (2003)

## 2.1 Planejamento da revisão

Na fase de planejamento da revisão foi realizada inicialmente uma pesquisa exploratória em artigos, livros e teses sobre a temática. Essa fase foi fundamental para compreensão do tema e definição dos termos (*strings*) mais apropriados à proposta de pesquisa, sendo considerados dois grupos: (1) termos relacionados à I4.0; (2) termos relacionados a modelos de maturidade para a I4.0.

As palavras de busca utilizadas para a pesquisa foram divididas em dois grupos de busca simultânea. O grupo (1) utilizou "*Industrie 4.0*" or "*Industry 4.0*", que retornaram trazendo características da I4.0, e o grupo (2) utilizou "*Maturity model*" or "*Maturity approach*" or "*Maturity assessment*", as quais associaram os MM à I4.0. As bases de dados utilizadas para realização da pesquisa foram *Web of Science* (WoS) e *Scopus*, pois possuem grande notoriedade para a academia e desempenham um papel importante nas análises bibliométricas (WANG; WALTMAN, 2016).

## 2.2 Conduzindo a revisão, reportando e divulgando os resultados

A pesquisa contemplou artigos até dezembro de 2021, sem data inicial definida. A partir dos grupos (1) e (2) apresentados anteriormente e das expressões mais alinhadas aos grupos, foram realizadas as buscas nas bases de dados. Na WoS foram inseridos os termos de busca e a categoria escolhida foi "tópico" que busca os termos contidos no título, nas palavras-chave, nas *keywords plus* e no resumo dos trabalhos disponíveis. Para a base *Scopus* foram inseridos os termos de busca e a categoria aplicada foi *search within* que alcança título do artigo, resumo e palavras de busca. Como resultado, obteve-se um total de 391 publicações somando as duas bases (Figura 1).

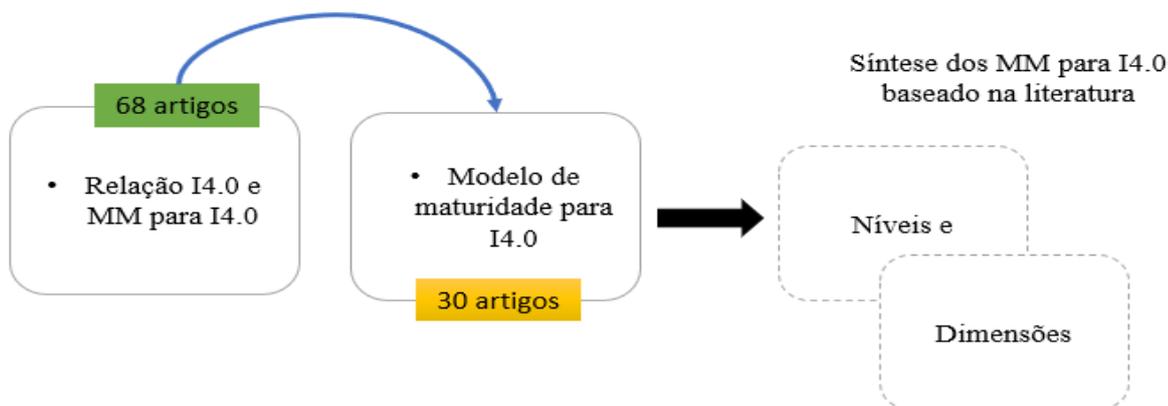
A pesquisa considerou apenas artigos e revisões (excluindo conferências, resenhas, etc.), filtro que resultou em 177 trabalhos, sendo 100 provenientes da base de dados WoS e 77 da base *Scopus*. Para gerenciar as referências, foi utilizado o *software RStudio* para eliminar os artigos duplicados. Foram retirados 50 artigos duplicados, resultando numa amostra de 127 artigos. Desses 127, foram selecionados 117 artigos em inglês (sendo descartados 10 que estavam em outras línguas). Na sequência, a análise focou na leitura dos títulos e resumos, e posteriormente a leitura na íntegra dos artigos, considerando como critério de inclusão os estudos alinhados aos Modelos de Maturidade da Indústria 4.0. Foram excluídos os artigos cujos modelos de maturidade não eram aplicados à I4.0; bem como aqueles que versavam apenas sobre tecnologias na I4.0 (sem constituir modelos de maturidade); ou aqueles que, por outros motivos, não se adequavam ao estudo. Essa análise resultou em uma amostra final de 68 artigos (ver Apêndice A, que apresenta os autores, o ano de publicação e os métodos de pesquisa utilizados nos artigos da amostra final).

Conforme proposto por Tranfield *et al.* (2003), após a seleção dos 68 artigos, a extração e análise dos dados importantes para o estudo foi iniciada. Para a análise dos artigos, adotou-se a técnica de análise de conteúdo. Essa técnica de pesquisa é considerada flexível e tem sido utilizada em diversos estudos com diferentes metas e objetivos de pesquisa (WHITE; MARSH, 2006). De acordo com os autores, a sua aplicação ocorre de forma qualitativa, quantitativa e empregando uma ampla gama de técnicas para gerar descobertas e colocá-las em contexto.

A análise da amostra foi estruturada em duas partes. A primeira parte é composta por uma análise quantitativa e descritiva dos artigos, a fim de obter uma visão geral sobre o tema pesquisado. Para tanto, foi adotada a bibliometria que consiste em analisar e quantificar dados bibliográficos. Para isso, foram utilizadas planilhas do Microsoft *Excel* para a extração de dados, tais como número de citações, ano, autor, nome do modelo de maturidade, setor econômico de aplicação da pesquisa, métodos científicos adotados e formas de aplicação dos modelos. Os resultados dessa análise são reportados na seção 3.1.

A segunda parte da análise contou com a revisão mais aprofundada dos artigos por meio de uma análise semântica conforme sugere (TRANFIELD *et al.*, 2003). Da mesma forma, foram adotadas planilhas do Microsoft *Excel* para extração de informações, tais como: características gerais dos modelos de maturidade; dimensões, níveis de maturidade, técnicas e procedimentos de análise dos níveis e dimensões e limitações dos modelos. Foi possível observar que, dos 68 artigos selecionados para a amostra final, apenas 30 artigos tratavam especificamente de modelos de maturidade para I4.0, sendo utilizados para compor uma síntese dos modelos de maturidade para I4.0 (Figura 2). Os outros 38 artigos da amostra foram usados para reforçar o corpo de conhecimento sobre I4.0 e modelos de maturidade. Dessa forma, foi adotada uma abordagem interpretativa, a fim de delinear o que já é conhecido e estabelecido na literatura sobre o tema em investigação. Os resultados dessa análise foram apresentados na seção 3.2.

**Figura 2** – Processo de redução de dados para a síntese dos modelos de maturidade



Os outros 38 artigos tratavam de temas relacionados a este estudo, como: revisões de literatura sobre modelos de maturidade para I4.0 (MITTAL *et al.*, 2018; SIMETINGER; ZHANG, 2020; ELIBAL; ÖZCEYLAN, 2020), implementação de tecnologias da I4.0 e desafios para a introdução de tecnologias inteligentes em sistemas de manufatura (FETTERMANN *et al.*, 2018), fatores e subfatores críticos para implementar I4.0 em indústrias de manufatura (MICHELER *et al.*, 2019; NARULA *et al.*, 2020; RAMOS *et al.*, 2020; AMARAL; PEÇAS, 2021), princípios de design da I4.0 para o desenvolvimento de modelos de maturidade (DIKHANBAYEVA *et al.*, 2020); proposta de uma estrutura para orientar as pequenas e médias empresas na adoção da manufatura inteligente (MITTAL *et al.*, 2020); classificação das pequenas e médias empresas (PMEs) de acordo com o nível de implementação da I4.0 (PECH; VRCHOTA, 2020); desenvolvimento de Sistema de Monitoramento para Implantação de Sistemas de digitalização e automação industrial usando 143 indicadores-chave de desempenho (SCHUMACHER; SIHN, 2020); metodologia de modelagem estrutural interpretativa total (TISM) para avaliar as inter-relações entre esses fatores os principais capacitadores que influenciam a adoção da Indústria 4.0 (JAIN; AJMERA, 2020); e, análise dos fatores de prontidão para implementação da Indústria 4.0 em PMEs (SRIRAM; VINODH, 2020). Dessa forma, serviram de apoio para o desenvolvimento desse estudo bem como para se obter uma visão geral das pesquisas (seção 3.1).

De posse das informações apresentadas nas seções 3.1 e 3.2, foi possível desenvolver uma síntese das dimensões e níveis dos MM da I4.0, identificar algumas tendências e *gaps* da literatura, sendo possível propor uma agenda de pesquisa sobre a temática, conforme se observa na seção 4. O reporte e a disseminação dos resultados foram concretizados neste texto.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Visão geral dos modelos de maturidade

Os MM são considerados instrumentos cuja finalidade é medir o nível de maturidade de uma empresa, departamento ou processo, relacionando aos propósitos futuros. O seu objetivo é quantificar as atividades realizadas e torná-las mensuráveis, amadurecendo ao longo do tempo (SANTOS; MARTINHO, 2019). A análise dos artigos permitiu identificar 30 modelos de maturidade para I4.0 e sua aplicação, conforme se observa no Quadro 1. Ao analisá-lo, foi constatado que os MM propostos estão direcionados principalmente para empresas do setor manufatureiro.

**Quadro 1** – Modelos de Maturidade para Indústria 4.0 e setor de aplicação

<b>Autores</b>	<b>Nº</b>	<b>Título do artigo que propôs o modelo</b>	<b>Setor de aplicação</b>
Ganzarain e Errasti (2016)	MM1	Three stage maturity model in SME's towards industry 4.0	Aplicação genérica
Asdecker e Felch (2018)	MM2	Development of an industry 4.0 maturity model for the delivery process in supply chains	Logística
Bibby e Dehe (2018)	MM3	Defining and assessing industry 4.0 maturity levels – case of the defence sector	Setor de defesa
Sjödin <i>et al.</i> (2018)	MM4	Smart factory implementation and process innovation: a preliminary maturity model for leveraging digitalization in manufacturing	Manufatura
Basl e Doucek (2019)	MM5	A metamodel for evaluating enterprise readiness in the context of industry 4.0	Aplicação genérica
Bukowski (2019)	MM6	Logistics decision-making based on the maturity assessment of imperfect knowledge	Logística
Colli <i>et al.</i> (2019)	MM7	A maturity assessment approach for conceiving context-specific roadmaps in the Industry 4.0 era	Aplicação genérica
Gajsek <i>et al.</i> (2019)	MM8	Using maturity model and discrete-event simulation for industry 4.0 implementation	Siderurgia
Pacchini <i>et al.</i> (2019)	MM9	The degree of readiness for the implementation of industry 4.0	Manufatura
Pirola <i>et al.</i> (2020)	MM10	Digital readiness assessment of Italian SMEs: case-study research	Manufatura
Santos e Martinho (2020)	MM11	An industry 4.0 maturity model proposal	Manufatura
Dutta <i>et al.</i> (2020)	MM12	Digital transformation priorities of India's discrete manufacturing SMEs – a conceptual study in perspective of industry 4.0	Manufatura
Facchini <i>et al.</i> (2020)	MM13	A maturity model for logistics 4.0: an empirical analysis and a roadmap for future research	Logística
Herceg <i>et al.</i> (2020)	MM14	Challenges and driving forces for industry 4.0 implementation	Manufatura
Lin <i>et al.</i> (2020)	MM15	Dynamic capabilities for smart manufacturing transformation by manufacturing enterprises	Manufatura
Moura e Kohl (2020)	MM16	Maturity assessment in industry 4.0 – a comparative analysis of Brazilian and German companies	Manufatura
Peukert <i>et al.</i> (2020)	MM17	Process model for the successful implementation and demonstration of SME-based industry 4.0 showcases in global production networks	Logística

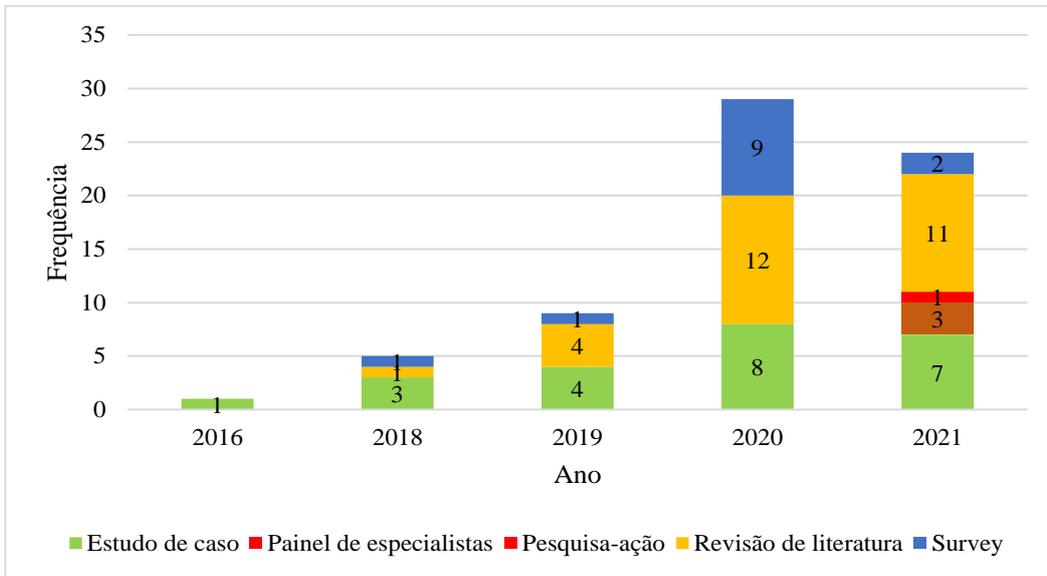
<b>Autores</b>	<b>Nº</b>	<b>Título do artigo que propôs o modelo</b>	<b>Setor de aplicação</b>
Rafael <i>et al.</i> (2020)	MM18	An industry 4.0 maturity model for machine tool companies	Manufatura
Sütőová <i>et al.</i> (2020)	MM19	Learning needs determination for industry 4.0 maturity development in automotive organisations in Slovakia	Manufatura
Wagire <i>et al.</i> (2021)	MM20	Development of maturity model for assessing the implementation of industry 4.0: learning from theory and practice	Manufatura
Agaard <i>et al.</i> (2021)	MM21	The Role of Digital Maturity Assessment in Technology Interventions with Industrial Internet Playground	Manufatura
Amaral e Peças (2021)	MM22	A Framework for Assessing Manufacturing SMEs Industry 4.0 Maturity	Manufatura
Caiado <i>et al.</i> (2021)	MM23	A fuzzy rule-based industry 4.0 maturity model for operations and supply chain management	Cadeia de suprimentos
Chaopaisrn e Woschank (2021)	MM24	Maturity Model Assessment of SMART Logistics for SMEs	Logística
Chonsawat e Sopadang (2021)	MM25	Smart SMEs 4.0 Maturity Model to Evaluate the Readiness of SMEs Implementing Industry 4.0	Manufatura
Çinar <i>et al.</i> (2021)	MM26	A Framework for Industry 4.0 Readiness and Maturity of Smart Manufacturing Enterprises: A Case Study	Manufatura
Rahamaddulla <i>et al.</i> (2021)	MM27	Conceptualizing Smart Manufacturing Readiness-Maturity Model for Small and Medium Enterprise (SME) in Malaysia	Manufatura
Ramanathan e Samaranayake (2021)	MM28	Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: a self-diagnostic framework and an illustrative case study	Manufatura
Stawiarska <i>et al.</i> (2021)	MM29	Diagnosis of the maturity level of implementing industry 4.0 solutions in selected functional areas of management of automotive companies in Poland	Manufatura
Vasconcelos <i>et. al</i> (2021)	MM30	An Industry 4.0 Maturity Model Applied to the automotive supply chain	Cadeia de suprimentos

\*MM (Modelo de Maturidade)

A evolução das publicações indica que o tema tem atraído a atenção dos pesquisadores recentemente, uma vez que a maioria das publicações se concentram no ano de 2020, agrupando 43% dos trabalhos selecionados (Figura 3). Trata-se de um campo de pesquisa emergente, evoluindo em proporção à necessidade das organizações em identificar seus níveis de maturidade da I4.0.

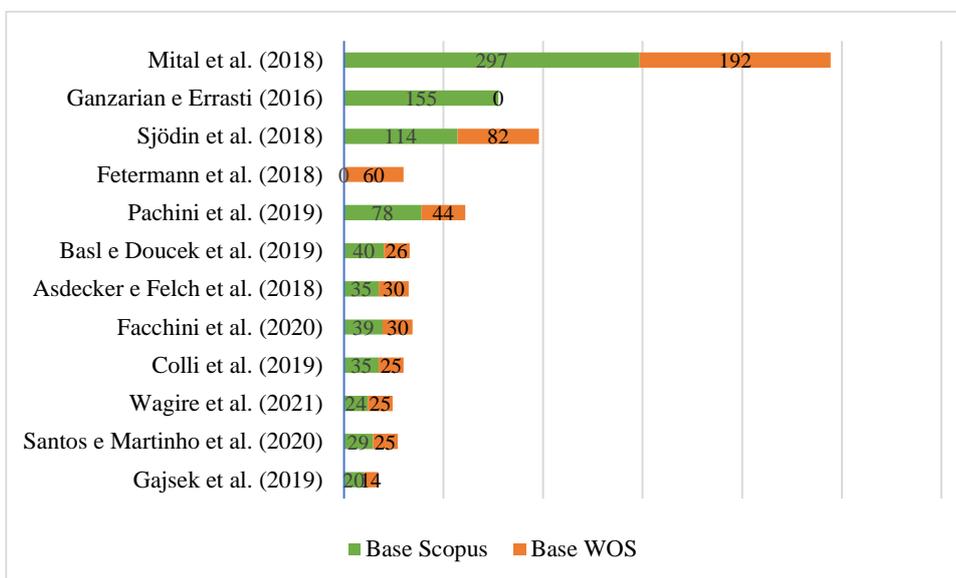
A Figura 3 também mostra os métodos científicos utilizados, distribuídos da seguinte forma: revisão de literatura com 40% (27 artigos), estudo de caso com 34% (23 artigos), seguido por *survey* com 19 % (13 artigos), painel de especialistas com 4% (3 artigos) e, por último, pesquisa-ação com 1% (1 artigo). Desse modo, os resultados corroboram com Santos e Martinho (2020) que afirmam que a I4.0 é uma temática recente que carece de pesquisas mais exploratórias sobre modelos de maturidade.

**Figura 3** – Anos de publicação e métodos científicos adotados



A Figura 4 contempla os artigos mais citados, referente ao período analisado. De forma geral, as referências mais citadas apresentam modelos de maturidade genéricos e predominantemente voltados para a manufatura.

**Figura 4** – Artigos mais citados da amostra



Conforme evidenciado na Figura 4, os autores mais citados foram Mittal *et al.* (2018) e Ganzarain e Errasti (2016), respectivamente. Os primeiros apresentam uma revisão crítica sobre os MM da manufatura inteligente (SMSRA) disponíveis atualmente que podem apoiar a transformação

para I4.0 e sua adequação no contexto de pequenas e médias empresas (PMEs). Ganzarain e Errasti (2016) sugerem um modelo de processo para orientar e treinar empresas para identificar novas oportunidades de diversificação na I4.0. Além disso, mostram que há uma necessidade real de suporte orientado para que as organizações possam desenvolver uma visão específica da I4.0.

Sjödín *et al.* (2018), o terceiro artigo com o maior número de citações, apresenta um MM para implementação de fábricas inteligentes, considerando pessoas, processos ágeis e tecnologias de configurações modulares. Esta pesquisa foi realizada por meio de um estudo de caso aplicado em fábricas automotivas na Suécia (4), no Brasil (1) e na Alemanha (1). Fettermann *et al.* (2018), o quarto mais citado, discorre sobre as contribuições das tecnologias da I4.0 para a gestão das operações e afirma que casos de sucesso analisados são incipientes, indicando potencial para aumento de produtividade após a aplicação dessas tecnologias.

Pacchini *et al.* (2019) sugerem um modelo para medir o grau de prontidão de uma organização de manufatura em relação à implantação da I4.0. Essa pesquisa também foi realizada por meio de um estudo de caso e desenvolveu-se em uma fabricante multinacional de motores no Brasil. Basl e Doucek (2019) fizeram uma análise dos MM existentes e apresentaram uma proposta de metamodelo para avaliar a prontidão da empresa no contexto da indústria 4.0.

Dentre os artigos mais citados, outros modelos de maturidade foram apresentados, cabendo citar Asdecker e Felch (2018) que desenvolveram um modelo para a cadeia de abastecimento com foco no processo de entrega. Facchini *et al.* (2020), por sua vez, mostraram modelos de maturidade para logística 4.0 e identificaram o nível de maturidade das empresas na implantação de tecnologias da I4.0 em seus processos logísticos.

Wagire *et al.* (2021) revelaram um modelo para avaliar o nível de maturidade das organizações indianas de manufatura. O modelo proposto pelos autores é composto por 7 dimensões e 38 itens de maturidade e foi validado em uma empresa de fabricação de componentes automotivos para reforçar o aprendizado do modelo. Já Colli *et al.* (2019), trouxeram um roteiro de maturidade que permite às organizações compreenderem o contexto 4.0 de acordo com objetivos estratégicos, processos essenciais e indicadores-chave de desempenho. O estudo dos autores concentrou-se em duas empresas dinamarquesas de peças mecânicas e de *commodities*.

Santos e Martinho (2020) descreveram uma ferramenta para avaliar o nível de maturidade na implementação de conceitos e tecnologias da I4.0 em empresas de manufatura automotivas. Por fim, Gajsek *et al.* (2019) propuseram uma nova metodologia que combinava o modelo de maturidade para

I4.0 e as ferramentas de simulação de eventos discretos, em uma empresa siderúrgica na Eslovênia voltada para confecção de barras de aço.

### **3.2 Modelos de maturidade da I4.0: níveis, dimensões, procedimentos e limitações**

Os MMs consideram várias abordagens da I4.0, diferentes níveis de maturidade, diferentes dimensões e procedimentos (para análise dos níveis e dimensões), bem como limitações, conforme se verifica a seguir.

#### **(i) Níveis de maturidade**

Os níveis de maturidade são rótulos graduais que significam estágios de maturidade, isto é, servem para indicar o grau desenvolvimento que a organização se encontra em determinado aspecto. Indicam estágios através dos quais pessoas, organizações ou áreas funcionais evoluem rumo à maturidade mais avançada. Esta evolução ocorre por meio de identificação, planejamento e implementação, isto é, consiste na consolidação de práticas específicas relacionadas a uma totalidade de processos predefinidos que aumentam o desempenho de uma organização ou um objetivo específico (DE SOUZA *et al.*, 2020). Os níveis de maturidade devem ser descritos de forma a contemplar sua qualificação e características detalhadas. As características de cada nível devem ser distintas e empiricamente testáveis, devendo a relação de cada nível com o seu predecessor e sucessor serem bem definidas (RAFAEL *et al.*, 2020).

Os MM para I4.0 apresentam algumas semelhanças e, em relação aos níveis de maturidade, demonstram um padrão comum na forma como os níveis são descritos. Em geral, nos primeiros níveis de maturidade a organização não possui avanços em relação a I4.0 e nos últimos níveis a organização já implementou completamente as tecnologias 4.0.

De modo geral, os MM identificados nesta revisão compartilham de cinco a sete níveis (além do Nível 0, presente em alguns modelos). Conforme se observa no Quadro 2, a maioria dos modelos indica nível inicial quando nenhum avanço está presente ou quando a implementação é incipiente, correspondendo ao nível 0 ou 1. Já os níveis 6 ou 7 referem-se aos melhores desempenhos e podem ser caracterizados quando uma organização já implementou sua estratégia da I4.0 e monitora regularmente o estágio alcançado, de forma a manter o patamar avaliado.

As empresas enquadradas no nível 0 (dentre os modelos que preveem este nível) desconhecem ou apresentam baixo ou nenhum grau de implementação da I4.0, fraco controle sobre os processos e operações ineficientes (PACCHINI *et al.*, 2019; LIN *et al.*, 2020; MOURA; KOHL, 2020; RAFAEL

et al. 2020; SANTOS; MARTINHO, 2020; LIN et al., 2020; ÇINAR *et al.*, 2021; RAMANATHAN; SAMARANAYAKE, 2021). De forma semelhante ao nível 0, são enquadradas no nível 1 as organizações que não possuem uma visão específica para I4.0 ou são alheias a este assunto. Convém ressaltar que o nível 0 e o nível 1 são convergentes no sentido de que às organizações nesta fase estão alheias ou apenas apresentam um nível incipiente de implementação, ou mesmo, lhes faltam atributos de suporte à estratégia para I4.0 (GANZARAIN; ERRASTI, 2016; MITTAL et al., 2018; COLLI et al., 2019; FACCHINI et al., 2020; SÜTÖOVÁ et al., 2020; WAGIRE et al., 2021).

Ainda se tratando do nível 1, alguns pesquisadores atribuem essa avaliação para organizações que possuem um nível mínimo de informatização, gerenciamento do programa e ações piloto em planejamento ou em desenvolvimento. Esse nível pode caracterizar organizações que apresentam pré-requisitos para I4.0, mas ainda implantados de forma incompleta (ASDECKER; FELCH, 2018; BIBBY; DEHE, 2018; PACCHINI *et al.*, 2019; GAJSEK *et al.*, 2019; DUTTA *et al.*, 2020 ; HERCEG *et al.*, 2020; LIN et al., 2020; PEUKERT *et al.*, 2020; PIROLA et al., 2020; RAFAEL *et al.*, 2020; SANTOS; MARTINHO, 2019; AAGAARD *et al.*, 2021; CHAOPAISARN; WOSCHANK, 2021; CHONSAWAT; SOPADANG, 2021; ÇINAR *et al.*, 2021).

No nível 2, os autores convergem que há um certo grau de conectividade entre setores, processos e implementação de ações alinhadas à I4.0. Alguns autores apresentam que nesse nível há uma maturidade digital mediana, como por exemplo, Aagaard *et al.* (2021) e Herceg *et al.* (2020). Para Chonsawat e Sopadang (2021), as organizações ainda possuem baixa capacidade tecnológica no nível 2. Para Çinar et al. (2021), esse nível representa que as empresas já deram o primeiro passo para integração ao contexto I4.0.

**Quadro 2 – Níveis dos Modelos de Maturidade para I4.0**

Modelos	Níveis								Autor	
	0	1	2	3	4	5	6	7		
<b>MM1</b>		Não existe uma visão específica para a I4.0	Visão customizada I4.0 - Segmentos de mercado e expectativas do cliente definidas - projetos de <i>portfólio</i> sem priorização	Desenvolver sua compreensão do I4.0 com capacidades e recursos específicos - segmentos de clientes, expectativas e propostas de valor definidas - projetos avaliados e recursos e colaboração necessários identificados	Mapa de oportunidades - Segmentos de clientes e expectativas, VPM e tecnologias / recursos definidos - Projeto de potencial real e futuro detalhado		Desafios futuros pela I4.0			(GANZARAIN; ERRASTI, 2016)
<b>MM2</b>		Digitalização básica	Digitalização entre departamentos	Digitalização horizontal e vertical	Digitalização completa	Digitalização completa otimizada				(ASDECKER; FELCH, 2018)
<b>MM3</b>		Mínimo	Definido	Desenvolvimento	Excelência					(BIBBY; DEHE, 2018)
<b>MM4</b>		Tecnologias conectadas	Coleta e compartilhamento de dados estruturados	Análise e otimização do processo em tempo real	Fabricação inteligente e previsível					(SJÖDIN <i>et al.</i> , 2018)
<b>MM5</b>		Nível inicial uma visão atual da sociedade (Sociedade 4.0)	(Área da sociedade (Indústria 4.0, Agricultura 4.0, Saúde 4.0, entre outros)	Setor dentro de uma área individual da sociedade (para a I4.0, por exemplo, empresas nas indústrias automotiva, química, eletrônica ou alimentícia; atenção especial a pequenas e médias empresas)	Empresa como um todo	Área dentro de uma empresa, (tecnologias, recursos humanos, estratégias, processos, dados, segurança, etc.)	Dimensões dentro da área da empresa. Como exemplos, utilização de tecnologias I4.0 nos processos.	Uma subdimensão dentro de uma dimensão, como exemplo, software aplicativo para apoiar o planejamento, qualidade, conectividade e integrabilidade		(BASL; DOUCEK, 2019)
<b>MM6</b>		Maturidade muito baixa (insuficiente)	Baixo nível de maturidade	Maturidade moderado	Alto nível de maturidade	Maturidade muito alta				(BUKOWSKI, 2019)
<b>MM7</b>		Nenhum	Básico	Transparente	Consciente	Autônomo	Integrado			(COLLI <i>et al.</i> , 2019)
<b>MM8</b>		Estágio 1 (informatização)	Estágio 2 (conectividade)							(GAJSEK <i>et al.</i> , 2019)
<b>MM9</b>	O pré-requisito (tecnologias 4.0) não está presente na empresa analisada	O pré-requisito (tecnologias 4.0) existe, mas está implementado de forma incompleta	O pré-requisito (tecnologias 4.0) existe e está quase totalmente implementado	O requisito (tecnologias 4.0) está totalmente implementado						(PACCHINI <i>et al.</i> , 2019)

Modelos	Níveis							Autor	
	0	1	2	3	4	5	6		7
MM10		Identifica uma empresa que formulou uma estratégia da Indústria 4.0 e está investindo para promover a introdução de manufatura inteligente	Identifica uma empresa de nível intermediário que inclui a Indústria 4.0 em sua estratégia	Identifica uma empresa que formulou uma estratégia da Indústria 4.0 e está investindo para promover a introdução de manufatura inteligente	Identifica uma empresa que já está implementando uma estratégia da Indústria 4.0, monitorar seu desenvolvimento com indicadores adequados	Identifica uma empresa que já implementou sua estratégia da Indústria 4.0 e monitora continuamente sua implementação			(PIROLA; CIMINI; PINTO, 2020)
MM11	Baixo ou nenhum grau de implementação	Ações piloto em planejamento ou em desenvolvimento	Implementação das ações iniciadas, com alguns benefícios sendo observados	Implementação parcial de ações, que aumentem a competitividade da empresa	Implementação avançada de ações, com retorno econômico claro	Referência na aplicação dos conceitos e implementação das tecnologias da I4.0			(SANTOS; MARTINHO, 2020)
MM12		Design de produto - gerenciamento do programa	Planejamento da manufatura- definição do processo de fabricação	Engenharia de produção- planejamento e simulação de automação de máquina/ linha/ célula	Execução da manufatura- gestão da qualidade	Serviços – manutenção			(DUTTA <i>et al.</i> , 2020)
MM13		Inicial	Gerenciado	Definido	Gerenciado quantitativamente	Otimizado			(FACCHINI <i>et al.</i> , 2020)
MM14		Menor maturidade digital	Maturidade digital mediana	Maturidade digital superior					(HERCEG <i>et al.</i> , 2020)
MM15	Iniciado	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Integrado e Interoperado	Otimizado			(LIN; SHENG; JENG WANG, 2020)
MM16	Não iniciado	Iniciante	Intermediário	Experiente	Especialista	Melhor desempenho			(MOURA; KOHL, 2020)
MM17		Inicialização	Análise	Conceito	Realização	Demonstração			(PEUKERT <i>et al.</i> , 2020)
MM18	<i>Outsider</i>	Iniciante	Intermediário	Experiente	Especialista	Melhor desempenho			(RAFAEL <i>et al.</i> , 2020)
MM19		Descreve uma completa falta de atributos de suporte à estratégia de I4.0	Representa um iniciante digital	Um integrador vertical	Colaborador horizontal	Campeão digital			(SŮTŮOVÁ; ŠOOŠ; KÓČA, 2020)
MM20		Estranho	Novato digital	Experiente	Especialista				(WAGIRE <i>et al.</i> , 2021)
MM21		Baixo nível de maturidade	Médio nível de maturidade	Alto nível de maturidade					(AAGAARD <i>et al.</i> , 2021)
MM22		Tecnologia	Processos de produção	Mudança					(AMARAL; PEÇAS, 2021)
MM23	Inexistente	Conceitual	Gerenciado	Avançado	Auto-otimizado				(CAIADO <i>et al.</i> , 2021)
MM24		Inicial	Repetível	Definido	Gerenciado	Otimizado			(CHAOPAISARN; WOSCHANK, 2021)
MM25		Inicial	Gerenciado	Definido	Gerenciado qualitativamente	Otimizado			(CHONSAWAT; SOPADANG, 2021)
MM26	Não iniciado	Principiante	Intermediário	Com experiência	Melhor desempenho				(ÇINAR; ZEESHAN; KORHAN, 2021)

Modelos	Níveis							Autor	
	0	1	2	3	4	5	6		7
MM27		Iniciante em tecnologia	Novato em tecnologia	Aprendiz em tecnologia	Especialista em tecnologia	Líder em tecnologia			(RAHAMADDULLA <i>et al.</i> , 2021)
MM28	Nenhum	Baixo	Inicial	Médio	Alto				(RAMANATHAN; SAMARANAYAKE, 2021)
MM29		<p>Digitalização do Sistema de Produção (DPS)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Iniciação da digitalização</li> </ul> <p>Digitalização do Sistema Logístico (DLS)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Iniciação da digitalização</li> </ul> <p>Maturidade do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sem abordagem formal</li> </ul> <p>Maturidade da Gestão de Recursos Humanos (HRM)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Habilidades básicas de engenharia</li> </ul> <p>Intensidade das atividades de SER (ICSR)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Iniciação</li> </ul>	<p>Digitalização do Sistema de Produção (DPS)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Digitalização básica</li> </ul> <p>Digitalização do Sistema Logístico (DLS)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Digitalização básica</li> </ul> <p>Maturidade do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abordagem reativa</li> </ul> <p>Maturidade da Gestão de Recursos Humanos (HRM)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Habilidades pessoais</li> </ul> <p>Intensidade das atividades de SER (ICSR)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inclusão/ Capacidade</li> </ul>	<p>Digitalização do Sistema de Produção (DPS)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Digitalização departamental</li> </ul> <p>Digitalização do Sistema Logístico (DLS)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Digitalização departamental</li> </ul> <p>Maturidade do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aproximação de sistemas formais e estáveis</li> </ul> <p>Maturidade da Gestão de Recursos Humanos (HRM)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Habilidades sociais na organização</li> </ul> <p>Intensidade das atividades de SER (ICSR)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Integração</li> </ul>	<p>Digitalização do Sistema de Produção (DPS)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Digitalização interdepartamental</li> </ul> <p>Digitalização do Sistema Logístico (DLS)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Digitalização interdepartamental</li> </ul> <p>Maturidade do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhoria contínua</li> </ul> <p>Maturidade da Gestão de Recursos Humanos (HRM)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Habilidades técnicas</li> </ul> <p>Intensidade das atividades de SER (ICSR)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Otimização</li> </ul>	<p>Digitalização do Sistema de Produção (DPS)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Digitalização completa</li> </ul> <p>Digitalização do Sistema Logístico (DLS)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Digitalização completa</li> </ul> <p>Maturidade do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhor desempenho</li> </ul> <p>Maturidade da Gestão de Recursos Humanos (HRM)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Habilidades para I4.0</li> </ul> <p>Intensidade das atividades de SER (ICSR)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pioneirismo</li> </ul>			(STAWIARSKA <i>et al.</i> , 2021)
MM30	Crítico	Inicial	Alerta	Aceitável	Ótimo	Ideal			(VASCONCELOS <i>et al.</i> , 2021)

No nível 3, os modelos geralmente consideram que as organizações apresentam um grau de maturidade definido, estabelecido e transparente, no qual os conceitos da I4.0 já começam a se tornar mais visíveis. No modelo de Herceg *et al.* (2020), este constitui o último nível de maturidade denominado por ele de maturidade digital superior, denominado alto nível de maturidade por Aagaard *et al.* (2021). Para Çinar *et al.* (2021), o nível 3 é denominado “com experiência”, ou seja, as empresas usam tecnologias 4.0 em algumas áreas, mas não na empresa como um todo.

No modelo de Sjödin *et al.* (2018), o nível 4 é o último estágio de implantação da I4.0, quando a organização apresenta autonomia, fabricação inteligente e previsível, e visão de futuro. Desse modo, os autores sintetizam as ideias dos demais autores acerca deste nível, para eles caracterizados como: projeto potencial real e futuro detalhado, digitalização completa, integração e um alto nível de consciência dentro dos preceitos da I4.0. Para Chonsawat e Sopadang (2021), nesse nível as organizações possuem processos com alto desempenho e alta qualidade, mas ainda possuem um estágio adicional para evoluir. Por sua vez, Çinar *et al.* (2021) mostram que as empresas já estão integradas com as tecnologias 4.0 no nível 4.

No nível 5, os modelos apresentam características semelhantes ao nível 4. No entanto, essas características preveem otimização (LIN *et al.*, 2020), melhor desempenho (RAFAEL *et al.*, 2020) e monitoramento contínuo, ou seja, elementos que sinalizam que a I4.0 está consolidada e tem condições para continuar evoluindo, já que, para a maioria dos modelos, esse é o estágio máximo de maturidade. Santos e Martinho (2020) afirmam que nesse estágio a organização se torna referência na aplicação dos conceitos e implementação da I4.0.

O modelo de Basl e Doucek (2019) apresenta mais dois níveis, 6 e 7, considerando que esses níveis adicionais são dedicados a uma particularização a setores específicos da empresa. Nesse sentido, apresentam subdimensões que caracterizam aspectos específicos para cada área da empresa.

## **(ii) Dimensões dos modelos de maturidade**

Uma dimensão do modelo de maturidade representa um campo de aplicação ou áreas de processos ou objetos que estruturam um campo de interesse. Cada dimensão é especificada por um número de medidas (práticas, objetos ou atividades), isto é, são estabelecidas pontuações para cada dimensão considerada (RAFAEL *et al.*, 2020). Conforme mostra o Quadro 3, cada modelo propõe dimensões que considera parte da I4.0.

**Quadro 3 – Dimensões dos MM da I4.0**

MM	Autor	DIMENSÕES								
		Pessoas e cultura	Estratégia	Produto/ Serviços	Processos/ Operações	Governança	Organização	Segurança	Tecnologia	Criação de valor
MM1	(GANZARAIN; ERRASTI, 2016)		•	•	•			•	•	
MM2	(ASDECKER; FELCH, 2018)							•	•	
MM3	(BIBBY; DEHE, 2018)	•	•		•			•	•	
MM4	(SJÖDIN <i>et al.</i> , 2018)	•			•			•	•	
MM5	(BASL; DOUCEK, 2019)	•					•	•	•	
MM6	(BUKOWSKI, 2019)							•	•	
MM7	(COLLI <i>et al.</i> , 2019)	•				•		•	•	•
MM8	(GAJSEK <i>et al.</i> , 2019)	•				•		•	•	•
MM9	(PACCHINI <i>et al.</i> , 2020)			•	•		•	•	•	
MM10	(PIROLA <i>et al.</i> , 2020)	•	•		•			•	•	
MM11	(SANTOS; MARTINHO, 2020)	•	•	•	•		•	•	•	
MM12	(DUTTA <i>et al.</i> , 2020)			•				•	•	•
MM13	(FACCHINI <i>et al.</i> , 2020)							•	•	
MM14	(HERCEG <i>et al.</i> , 2020)	•	•		•		•	•	•	
MM15	(LIN <i>et al.</i> , 2020)				•		•	•	•	
MM16	(MOURA; KOHL, 2020)	•	•	•	•		•	•	•	
MM17	PEUKERT <i>et al.</i> , 2020)	•			•		•	•	•	
MM18	(RAFAEL <i>et al.</i> , 2020)		•	•	•		•	•	•	
MM19	(ŠÚTŤOVÁ; ŠOŠ; KÓČA, 2020)	•	•	•	•	•	•	•	•	•
MM20	(WAGIRE <i>et al.</i> , 2021)	•	•	•	•		•	•	•	•
MM21	(AAGAARD <i>et al.</i> , 2021)	•	•		•		•	•	•	
MM22	(AMARAL; PEÇAS, 2021)	•	•	•	•		•	•	•	
MM23	(CAIADO <i>et al.</i> , 2021)				•			•	•	
MM24	(CHAOPAISARN; WOSCHANK, 2021)	•	•	•	•			•	•	
MM25	(CHONSAWAT; SOPADANG, 2021)	•	•		•		•	•	•	
MM26	(ÇINAR <i>et al.</i> , 2021)	•	•	•	•	•	•	•	•	
MM27	(RAHAMADDULLA <i>et al.</i> , 2021)	•		•	•		•	•	•	
MM28	(RAMANATHAN; SAMARANAYAKE, 2021)		•	•	•		•	•	•	
MM29	(STAWIARSKA <i>et al.</i> , 2021)	•	•	•	•		•	•	•	•
MM30	(VASCONCELOS <i>et al.</i> , 2021)	•	•	•	•		•	•	•	
<b>Total</b>		<b>20</b>	<b>17</b>	<b>15</b>	<b>23</b>	<b>4</b>	<b>19</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>6</b>

De forma geral, os modelos apresentados no Quadro 1 utilizam dimensões como critérios para determinar o nível de aptidão em cada dimensão acerca da aderência à I4.0. Os MM apresentados contemplam dimensões que correspondem a diferentes aspectos que envolvem: elementos relacionados ao planejamento e organização da empresa (como visão, estratégia, liderança, cultura, pessoas, operações processos, tecnologia, etc.), tecnologias da I4.0 (como internet das coisas, *big data*, computação em nuvem, sistemas *ciber* físicos, robôs colaborativos, manufatura aditiva, realidade aumentada, inteligência artificial, etc.) e elementos do ambiente externo (como sociedade, mercados, clientes, governança, etc.).

A revisão de literatura apresentada por Fettermann *et al.* (2018) cita dez dimensões: estratégia, liderança, consumidores, produtos, operações, cultura, pessoas, governança, segurança e tecnologia. Este estudo considerou como variáveis cinco áreas na gestão de operações: (i) fabricação *just in time*, (ii) gestão de tecnologia, (iii) estratégia de operações, (iv) gestão da qualidade e (v) gestão da cadeia de suprimentos. As dimensões mostradas por Fettermann *et al.* (2018) estão contidas nos outros trinta modelos analisados, sendo que nenhum deles excede oito dimensões. Já no MM proposto por Pacchini *et al.* (2019), as dimensões correspondem a oito tecnologias capacitadoras para I4.0: internet das coisas, *big data*, computação em nuvem, sistemas *ciber* físicos, robôs colaborativos, manufatura aditiva, realidade aumentada e inteligência artificial.

Dos 30 MM analisados, 20 modelos citam como relevante a dimensão “pessoas e cultura”. Considerando estritamente “pessoas”, aparecem termos relacionados: sociedade, trabalhador, produtor, fornecedor, recursos humanos e/ ou cliente. Dos 30 MMs, onze citam explicitamente esta dimensão na qual está relacionada a pessoas com experiência, competências e habilidades em tecnologias da I4.0. Em seguida a “cultura” exposta em dez modelos como uma parte fundamental da implementação as I4.0, associando ao valor e poder das pessoas dentro das organizações; trabalho em equipe e uma cultura de inovação; gestão e criação do conhecimento; melhoria contínua, competências e abertura dos funcionários para as novas tecnologias; e, sua autonomia para tomar decisões.

A “estratégia” é outra dimensão muito citada, sendo considerada em dezessete MMs. Essa dimensão compreende, entre outros aspectos, investimento em tecnologias e a compreensão do nível atual de maturidade em um determinado contexto, cabendo identificar forças, fraquezas e oportunidades de melhoria. Também abrange questões como a compatibilização da I4.0 com a estratégia corporativa, o gerenciamento de recursos para a execução das ações e a adaptação do modelo de negócios aos requisitos da I4.0. No modelo de Ganzarain e Errasti (2016), por exemplo,

as dimensões Roteiro 4.0 e Projetos 4.0 foram agrupadas como estratégia, dado que a primeira permite desenhar estratégias e restrições em camadas separadas em uma linha do tempo, já a segunda corresponde a quatro perspectivas estratégicas: mercado, produto, processo e rede de valor.

A dimensão “produtos/ serviços” aparece em quinze modelos de maturidade e dispõem de características, como produtos altamente customizados, produtos com sistemas inteligentes que possibilitam aquisição de dados em tempo real, permitindo a comunicação constante com os clientes, com a fábrica e com os processos produtivos ao longo da cadeia de valor (RAFAEL *et al.*, 2020; SANTOS; MARTINHO, 2020). Essa dimensão aborda a integração de produtos a outros recursos e sistemas por meio de sua digitalização, tratando da flexibilidade de reconfiguração dos produtos e visando sua individualização.

“Processos/operações” foi outra dimensão mencionada sendo identificada em 23 modelos de maturidade. Essa dimensão está fortemente apoiada em tecnologias da I4.0. Também são analisadas as formas como os processos internos são gerenciados a partir de uma digitalização, como os dados são coletados, compartilhados e gerenciados dentro da empresa. Contempla a descentralização, a digitalização de processos e a colaboração interdisciplinar e interdepartamental.

A dimensão “governança” aparece descrita em quatro modelos de maturidade e foi identificada como um importante impulsionador da transformação devido à disposição da gestão e apoio para atividades de transformação digital e aos recursos disponíveis. Clientes e governança são dimensões relacionadas a questões contextuais externas às empresas/organizações, incluindo aspectos relacionados a leis trabalhistas, de propriedade intelectual, padronização de tecnologias, definição de padrões emergentes de tecnologia, gerenciamento, análise digital e utilização de dados relacionados a vendas aos clientes (*Big-Data e Big-Data Analysis*).

A dimensão “organização” é mostrada em dezenove modelos. Essa dimensão é apresentada com nomenclaturas distintas, com termos como: maturidade organizacional (MM5) e está relacionada à forma como as atividades são realizadas pelas empresas para a digitalização e à estrutura organizacional. Ainda nessa dimensão, em sobreposição com a dimensão estratégia, foram consideradas o quão alinhadas estão as estratégias das empresas com as práticas da I4.0, bem como critérios de transformação digital, adaptação de modelos de negócios, estilo de liderança, investimentos em tecnologia e inovação.

A dimensão “segurança” foi identificada de forma implícita em todos os modelos. No modelo de Bukowski (2019), por exemplo, esta dimensão é considerada em todas as dimensões do modelo,

como: precisão, clareza, consistência, plausibilidade e rastreabilidade, dada a necessidade de proteção de dados e sistemas na I4.0.

Vale ressaltar que em todos os modelos analisados a “tecnologia” está presente como dimensão, mesmo utilizando nomenclaturas e concepções diferentes, abordando termos como: visão 4.0, digitalização, fábrica do futuro, fábricas inteligentes, suporte digital, dentre outros termos. Esta dimensão está relacionada à utilização de tecnologias aplicadas para aumentar a eficiência da comunicação e das operações, incluindo a comunicação máquina a máquina. Além disso, é comum que a tecnologia esteja incorporada em outras dimensões, como digitalização de produtos, processos e gestão digital (BASL; DOUCEK, 2019).

A dimensão “criação de valor” foi citada em seis modelos e está relacionada à forma como a empresa irá gerar valor a partir dos dados coletados. Assim, a organização terá uma compreensão mais clara do contexto que está inserida e poderá compreender modelos de negócios, previsão de manutenção, expectativas dos clientes, entre outros (COLLI *et al.*, 2019).

Além das dimensões citadas no Quadro 3, outras dimensões são descritas nos modelos de maturidade estudados. Porém, ao analisar o significado dessas dimensões adicionais (ver Apêndice B para a lista completa), observou-se que representavam outras nomenclaturas para as dimensões já descritas ou subdimensões das mesmas. Desse modo, foi possível incorporá-las nas dimensões supracitadas.

As dimensões identificadas demonstram que a tecnologia é o eixo central da I4.0, afinal, foi a evolução tecnológica que despertou esse conceito. Para o público externo à empresa, a maturidade em I4.0 é percebida por meio da sofisticação da tecnologia empregada e da competência em operá-la com sucesso. Ao analisar as dimensões adotadas pelos modelos analisados, é possível observar muitas variáveis que não representam a tecnologia propriamente dita. Uma empresa, por exemplo, pode demonstrar maturidade nas dimensões não tecnológicas sem ter maturidade nas tecnologias 4.0. Por outro lado, o que se observa nos modelos analisados é que dificilmente a maturidade no uso e na aplicação das tecnologias 4.0 é alcançada sem o suporte das dimensões não tecnológicas, que fornecem suporte estratégico, humano e organizacional para garantir a prontidão da empresa para a I4.0. Ao analisar os MM para I4.0, é possível inferir que as dimensões não tecnológicas são habilitadoras da tecnologia.

### **(iii) Procedimentos de análise e aplicação dos modelos de maturidade**

Praticamente todos os modelos apresentados preveem a utilização de escalas para atribuir pontuações para cada item, como é comum em modelos de maturidade para qualquer outra área. Porém, os modelos estudados neste trabalho diferem no que diz respeito à maneira que os dados são coletados para a avaliação. Grande parte dos modelos dispõe de questionários que podem ser respondidos de forma remota e ainda funcionar como um instrumento de autoavaliação. Porém, autores como Bibby e Dehe (2018) e Sjödin et al. (2018) sugerem a avaliação por meio de *workshops*, tirando proveito da discussão gerada entre os participantes e proporcionando a avaliação em grupo. Mesmo que a avaliação não fosse em grupo, autores como Ramanathan e Samaranayake (2021) e Wagire et al. (2021) ressaltaram a importância da entrevista pessoal (ao invés do envio remoto de questionários) como uma maneira de permitir que o entrevistador possa fornecer orientação para a avaliação e também coletar evidências que justificam o desempenho alcançado.

A análise de resultados nos modelos estudados depende do objetivo de avaliação de cada modelo. Se a intenção é analisar a maturidade de um conjunto de empresas, é normalmente prevista a utilização de ferramentas estatísticas para que se obtenha uma avaliação global da amostra estudada. Se a intenção é obter o diagnóstico de uma empresa por meio de auditoria ou como instrumento de autoavaliação, geralmente é utilizada aritmética simples, algumas vezes incorporando a atribuição de pesos conforme a importância da dimensão. Como instrumento de avaliação individual, pode-se destacar o modelo Caiado et al. (2021), que propôs uma inovação em relação à abordagem aritmética comum. Nesse modelo, os autores propuseram a utilização da lógica *fuzzy* como uma maneira de lidar com as imprecisões naturalmente presentes em avaliações por julgamento pessoal.

#### **(iv) Limitações dos MM**

Os modelos estudados foram desenvolvidos em contextos específicos, para finalidades específicas. Esses propósitos trazem, evidentemente, limitações que podem restringir o escopo de aplicação. Algumas das limitações identificadas podem ser relatadas a seguir.

- **Porte da empresa:** alguns MM foram aplicados apenas no contexto de grandes empresas. A realidade de pequenas empresas pode ser muito diferente no que se refere ao grau de prontidão tecnológica e à capacidade de investimento em tecnologias 4.0. De fato, a inadequação dos modelos para grandes empresas já foi inclusive observada por autores como Amaral e Peças (2021) e Peukert et al. (2020), que propuseram modelos voltados para pequenas e médias empresas.

- **Percepção humana na avaliação da maturidade:** a maior parte dos MM levou em consideração a percepção humana no momento da avaliação, isto é, a aplicação de questionários com

especialistas, que se baseavam em seu conhecimento e em sua percepção para atribuir notas. É de se esperar que essa subjetividade sempre estará presente em modelos de maturidade, o que não impede de se buscar estratégias para reduzir seus efeitos negativos.

- **Modelos customizados:** alguns modelos foram desenvolvidos considerando o contexto específico de aplicação, podendo este ser um limitador de sua replicabilidade. Alguns buscaram o contexto de cadeias de suprimentos, outros, de áreas específicas das empresas. Modelos voltados para um setor industrial específico também são comuns, sob a alegação de que um modelo genérico não poderia captar uma realidade específica.

- **Tecnologias abordadas:** cada modelo incorpora as tecnologias que seus proponentes consideram ser parte do conceito de I4.0. Como a evolução tecnológica ocorre de forma acelerada, é difícil afirmar que exista um modelo que realmente seja capaz de abranger todas as possibilidades tecnológicas da I4.0. Provavelmente, esta será uma limitação recorrente de qualquer MM para I4.0.

- **Países de aplicação:** a maior parte dos modelos estudados foi testada em empresas de um mesmo país. Essa restrição de aplicação pode revelar um potencial limitação quando o modelo for aplicado em empresas de países diferentes, uma vez que é possível encontrar algum viés regional na forma que o modelo foi estruturado.

#### **4. DISCUSSÃO E PROPOSTA DE AGENDA DE PESQUISA**

Ao analisar a literatura, é possível afirmar que ainda não há um pleno entendimento sobre os níveis e dimensões de maturidade mais importantes para avaliar a maturidade no contexto da I4.0 (BIBBY; DEHE, 2018; PACCHINI *et al.*, 2019). No entanto, a revisão dos modelos atuais permitiu sintetizar os achados da literatura no Quadro 4, constituindo um quadro de referência para auxiliar na adoção ou no desenvolvimento de novos modelos de maturidade.

Embora os modelos de maturidade identificados na amostra de artigos tenham apresentado de 0 a 7 níveis de maturidade, o quadro síntese condensou os níveis em seis estágios de maturidade, tornando mais objetiva a avaliação. Em relação às dimensões, o Quadro 4 apresenta nove dimensões, com as dimensões governança e organização compreendidas dentro da dimensão estratégia, o que é coerente com os modelos estudados.

**Quadro 4 – Quadro de referência para a avaliação dos níveis de maturidade de acordo com as dimensões identificadas na literatura**

Níveis	Dimensões						
	Estratégia	Pessoas/Cultura	Processos/Operações	Produtos/Serviços	Segurança	Tecnologia	Criação de Valor
1- Inexistente	Não existe uma estratégia voltada para implementação da I4.0.	Não há abertura à inovação e acesso as tecnologias 4.0. As pessoas não possuem experiência, competências e habilidades para as tecnologias I4.0, nem tampouco autonomia para tomar decisões.	Não há descentralização, digitalização de processos/operações e colaboração interdisciplinar e interdepartamental.	Não há individualização de produtos/serviços e nem interação com outros sistemas.	Não há preocupação com a segurança dos dados.	Nenhuma utilização de tecnologias 4.0.	Nenhum valor é criado a partir de dados gerados em meio tecnológico.
2- Iniciante	Estratégias pontuais para I4.0.	Iniciativas pontuais de abertura à inovação e acesso as tecnologias 4.0. As pessoas possuem pouca experiência, competência e habilidades para as tecnologias I4.0.	Existe pouca utilização de tecnologias para aumentar a eficiência da comunicação e das operações/processos.	Já existe individualização de produtos/serviços, mas não há interação com outros sistemas.	Pouca preocupação com a segurança dos dados.	Existem algumas tecnologias 4.0 que são usadas isoladamente.	Os dados são coletados e disponibilizados para eventual utilização.
3- Intermediário	A estratégia de transformação foi iniciada e existe um roteiro para Indústria 4.0.	Existem ações e treinamento para abertura à inovação e acesso as tecnologias 4.0. As pessoas já possuem competências para as novas tecnologias e certa autonomia para tomada decisões.	Já existe utilização de tecnologias aplicadas para aumentar a eficiência da comunicação e das operações/processos, incluindo a comunicação máquina-máquina.	Há individualização de produtos/ serviços e interação com outros sistemas.	Existe uma preocupação considerável com a segurança dos dados, mas ainda não pode garantir a segurança em todos os casos.	Existem diferentes tecnologias 4.0 que são usadas com alguma integração de sistemas, monitoramento, simulações, precisão e automação de processos.	Os dados são coletados e compartilhados de acordo com o a necessidades dos clientes.
4- Experiente	A estratégia está focada nas ações transformacionais voltadas para I4.0, na alocação de recursos e investimentos e na abertura à inovação.	Existem ações e treinamento para abertura à inovação e acesso as tecnologias 4.0. As pessoas já possuem alguma experiência e competências para as novas tecnologias, além de certa autonomia para tomada decisões.	Os processos internos são voltados para a digitalização, compartilhamento e gerenciamento dos dados. Os processos/operações são descentralizados e há interdisciplinaridade entre departamentos.	A empresa já é experiente na individualização de produtos/serviços e interação com outros sistemas.	Os dados são armazenados e processados de forma segura.	A empresa já é experiente na utilização de tecnologias 4.0 que são usadas com integração de sistemas, monitoramento, simulações, precisão e automação de processos.	Os dados são analisados para capturar informações valiosas para melhoria do negócio.
5- Especialista	A estratégia já foi aplicada em projetos concretos.	Existem ações e treinamento para abertura à inovação e acesso as tecnologias 4.0. As pessoas possuem competências para as novas tecnologias e autonomia completa para tomada decisões.	Os processos/operações internos possuem um gerenciamento voltado para digitalização, compartilhamento e gerenciamento dos dados. Os processos/ operações são descentralizados e há interdisciplinaridade entre os departamentos.	Ocorre individualização de produtos/serviços e interação com outros sistemas. Os processos internos são alinhados com as tecnologias 4.0.	Os dados são armazenados e processados de forma segura e a empresa já tem competência reconhecida nisso.	A empresa pode ser considerada especialista na utilização de tecnologias 4.0 para integração de sistemas, monitoramento, simulações, precisão e automação de processos.	As decisões são executadas autonomamente com base em dados automatizados e sincronizados.
6- Avançado	Adaptação contínua e transformação dos modelos de negócios.	Compartilhamento de conhecimento entre empresas, valorização das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) na empresa. As pessoas possuem competências para uso das tecnologias I4.0 e plena autonomia.	Os processos/operações são descentralizados, há interdisciplinaridade entre os departamentos e constante busca pela melhoria e transformação dos processos/ operações	Ocorre individualização de produtos/serviços e interação com outros sistemas. Os processos internos são alinhados com as tecnologias 4.0. Há uma busca constante para a melhoria de produtos/serviços 4.0.	Os dados são armazenados e processados de forma segura e há uma melhoria constante na segurança dos dados, o que torna a empresa referência no assunto.	A empresa é referência na utilização de tecnologias 4.0 para integração de sistemas, monitoramento, simulações, precisão e automação de processos.	As decisões são executadas autonomamente com base em dados automatizados e sincronizados, além de buscar a melhoria contínua pela criação de valor.

Mesmo que o Quadro 4 sintetize os modelos e direcione novos estudos, a revisão da literatura suscitou novas possibilidades de pesquisa. Algumas dessas possibilidades são mostradas a seguir:

- **Métodos científicos adotados:** dentre os métodos científicos mais utilizados na amostra (Figura 3) destacam-se revisão de literatura e estudos de casos. Nos estudos de caso, grande parte das pesquisas considera a opinião de especialistas da empresa por meio da aplicação de questionários e entrevistas com responsáveis pelas tecnologias da I4.0 e utilizam métodos mistos para avaliação (qualitativos e quantitativos). No entanto, dois potenciais problemas podem ser observados: a quantificação do desempenho ainda é muito sujeita à subjetividade dos avaliadores e os critérios de avaliação são considerados de forma independente, como se a interação deles não influenciasse no desempenho global. Diante disso, futuras pesquisas podem adotar ferramentas mais sofisticadas para atenuar esses problemas.

- **MMs customizados versus universais:** os MMs específicos para I4.0 atendem objetivos singulares de empresas e/ou áreas funcionais. Enquanto os modelos genéricos trazem a vantagem da comparação entre setores, os modelos específicos podem fazer mais sentido para empresas com características peculiares. É importante que pesquisas futuras possam analisar esse *tradeoff* entre as vantagens de modelos genéricos e específicos. Além disso, quando se considera o setor de serviços, por exemplo, é possível observar claramente a inadequação de algumas dimensões propostas pelos modelos atuais. Portanto, mesmo com as vantagens dos modelos genéricos, o desenvolvimento de modelos específicos pode ser inevitável em um momento que começam a aparecer termos como *Healthcare 4.0*, *Construction 4.0*, *Agriculture 4.0* ou *Banking 4.0*.

- **Tecnologias da I4.0:** os MM revisados focam em tecnologias 4.0 específicas, sem necessariamente considerarem todas as possibilidades tecnológicas sob o rótulo da I4.0. Nesse sentido, sugere-se que a avaliação da dimensão “tecnologia” possa ser atualizada continuamente, de forma a acompanhar a evolução tecnológica e incluir as inovações que surgem periodicamente.

- **Níveis e dimensões:** diante de tantas variações de níveis entre os modelos, futuras pesquisas podem buscar compreender se um número maior ou menor de níveis explica adequadamente a maturidade das organizações em relação à I4.0. Em relação às dimensões, algumas delas foram pouco exploradas nos MM analisados, como por exemplo, a criação de valor e a governança. Não se pode definir ainda se as dimensões foram negligenciadas por não terem sido percebidas ou por não serem relevantes para a avaliação de maturidade em I4.0. Assim, futuras pesquisas podem incluir tais dimensões para verificar se elas realmente contribuem para uma avaliação mais completa do nível de maturidade em I4.0 ou se elas se tornam vagas e distantes do objetivo de avaliação.

## 5. CONCLUSÃO

A transformação digital está promovendo um cenário de grandes mudanças. Assim, os modelos de maturidade para I4.0 servem como apoio para direcionar as organizações. Em sua maioria, esses modelos são operacionalizados por meio de questionários padronizados, que fornecem, como resultado uma avaliação do atual estágio de maturidade e apresentam um conjunto de recomendações para melhoria. Os MMs para I4.0 representam um campo de pesquisa relevante e, embora existam muitos modelos para I4.0, estes estão concentrados em empresas de manufatura. Todavia, faltam modelos de maturidade para I4.0 que possam ser exequíveis em diversos tipos de organizações, principalmente empresas prestadoras de serviços.

Este artigo apresentou uma síntese das dimensões e níveis dos MM para I4.0, com base em estudos recentes, publicados em literatura científica. Muitos desses modelos se baseiam em modelos da indústria, extraídos de literatura empresarial, como: Acatech, PwC Industry 4.0, Modelo de Maturidade de Integração de Sistemas Indústria 4.0 (SIMMI 4.0) e IMPULS Industrie 4.0. Assim, este trabalho também incorpora as dimensões de modelos da indústria, contribuindo para um quadro de referência mais abrangente, baseado em pesquisa científica.

Outras contribuições também podem ser extraídas a partir dos resultados desse artigo. Por exemplo, a visão geral das pesquisas pode auxiliar futuros pesquisadores em relação ao tipo de MM que pode ser desenvolvido e aplicado a contextos diferentes do setor manufatureiro. Os resultados também podem direcionar futuros pesquisadores e tomadores de decisão no que tange as dimensões e níveis de maturidade que podem ser considerados na adoção ou desenvolvimento de um MM para a I4.0. Também se verificou que há uma carência de estudos para a sistematização de uma abordagem integrada para um modelo genérico de maturidade para I4.0. Logo, evidenciou-se que o contexto de aplicação dos modelos pesquisados, bem como a visão das pessoas envolvidas pode tornar os modelos menos replicáveis, mas ainda adaptáveis, pois há dimensões universais como: estratégia, liderança, consumidores, produtos, operações, cultura, pessoas, governança, segurança e tecnologia.

Mesmo trazendo contribuições científicas, é importante apresentar algumas limitações que podem ser oportunidades de pesquisas futuras. Uma das limitações é que a RSL contemplou apenas duas bases de base de dados, a *ISI Web of Science* e *Scopus*. Além disso, a utilização de outras *strings* de pesquisa pode ampliar o escopo dos artigos selecionados. Por fim, a comparação dos modelos acadêmicos com os modelos da indústria não foi realizada, fato que motiva a continuidade desse estudo.

## REFERÊNCIAS

- AAGAARD, Annabeth *et al.* The Role of Digital Maturity Assessment in Technology Interventions with Industrial Internet Playground. *Electronics*, v. 10, n. 10, p. 1134, 2021.
- AMARAL, Afonso; PEÇAS, Paulo. A Framework for Assessing Manufacturing SMEs Industry 4.0 Maturity. *Applied Sciences*, v. 11, n. 13, p. 6127, 2021.
- ASDECKER, Björn; FELCH, Vanessa. *Development of an Industry 4.0 maturity model for the delivery process in supply chains*. **Journal of Modelling in Management**, 2018
- BARBALHO, Sanderson César Macêdo; DANTAS, Rafaela de Faria. The effect of islands of improvement on the maturity models for industry 4.0: the implementation of an inventory management system in a beverage factory. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 18, n. 3, p. e20211119, 2021.
- BASL, Josef; DOUCEK, Petr. A metamodel for evaluating enterprise readiness in the context of industry 4.0. **Information (Switzerland)**, v. 10, n. 3, 2019.
- BASTOS, Alan *et al.* Industry 4.0 Readiness Assessment Method Based on RAMI 4.0 Standards. **IEEE Access**, v. 9, p. 119778–119799, 2021.
- BIBBY, Lee; DEHE, Benjamin. Defining and assessing industry 4.0 maturity levels—case of the defence sector. **Production Planning and Control**, v. 29, n. 12, p. 1030–1043, 2018.
- BUKOWSKI, Lech. Logistics decision-making based on the maturity assessment of imperfect knowledge. **Engineering Management in Production and Services**, v. 11, n. 4, p. 65–79, 2019.
- CAIADO, Rodrigo Goyannes Gusmão *et al.* A fuzzy rule-based industry 4.0 maturity model for operations and supply chain management. **International Journal of Production Economics**, v. 231, n. July 2020, 2021.
- CHAOPAISARN, Poti; WOSCHANK, Manuel. Maturity Model Assessment of SMART Logistics for SMEs. **Chiang Mai University Journal of Natural Sciences**, v. 20, n. 2, 2021.
- CHONSAWAT, Nilubon; SOPADANG, Apichat. Defining SMEs' 4.0 Readiness Indicators. **Applied Sciences**, v. 10, n. 24, p. 8998, 2020.
- CHONSAWAT, Nilubon; SOPADANG, Apichat. Smart SMEs 4.0 Maturity Model to Evaluate the Readiness of SMEs Implementing Industry 4.0. **Chiang Mai University Journal of Natural Sciences**, v. 20, n. 2, p. 1–13, 2021.
- ÇINAR, Zeki Murat; ZEESHAN, Qasim; KORHAN, Orhan. A Framework for Industry 4.0 Readiness and Maturity of Smart Manufacturing Enterprises: A Case Study. **Sustainability**, v. 13, n. 12, p. 6659, 2021.
- COLLI, M. *et al.* A maturity assessment approach for conceiving context-specific roadmaps in the Industry 4.0 era. *Annual Reviews in Control*, v. 48, p. 165–177, 1 jan. 2019.
- CULOT, Giovanna *et al.* Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. **International Journal of Production Economics**, v. 226, 2020.
- CZVETKÓ, Tímea; HONTI, Gergely; ABONYI, János. Regional development potentials of Industry 4.0: Open data indicators of the Industry 4.0+ model. **PLOS ONE**, v. 16, n. 4, p. e0250247, 2021.

- DA SILVA, Vander Luiz *et al.* Implementation of Industry 4.0 concept in companies: empirical evidences. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 33, n. 4, p. 325–342, 2020.
- DE JESUS, Cristiano; LIMA, Rui M. *Literature search of key factors for the development of generic and specific maturity models for industry 4.0.* **Applied Sciences (Switzerland)**. 2020
- DE SOUZA, Stanley Soares *et al.* Metanalysis of industry 4.0 maturity models. **Interciencia**, v. 45, n. 8, p. 397–401, 2020.
- DIKHANBAYEVA, Dinara *et al.* Assessment of Industry 4.0 Maturity Models by Design Principles. **Sustainability**, v. 12, n. 23, p. 9927, 2020.
- DUTTA, Gautam *et al.* Digital transformation priorities of India's discrete manufacturing SMEs – a conceptual study in perspective of Industry 4.0. **Competitiveness Review**, p. 289–314, 2020.
- ELIBAL, Kerem; ÖZCEYLAN, Eren. A systematic literature review for industry 4.0 maturity modeling: state-of-the-art and future challenges. **Kybernetes**, v. ahead-of-p, n. ahead-of-print, 2020.
- ELLEFSEN, Anna Paula Tanajura *et al.* Striving for excellence in ai implementation: Ai maturity model framework and preliminary research results. **Logforum**, v. 15, n. 3, p. 363–376, 2019.
- FACCHINI, Francesco *et al.* A maturity model for logistics 4.0: An empirical analysis and a roadmap for future research. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 1, p. 1–18, 2020.
- FETTERMANN, D.C. *et al.* How does Industry 4.0 contribute to operations management? **Journal of Industrial and Production Engineering**, v. 35, n. 4, p. 255–268, 2018.
- FETTERMANN, D.C. Diego Castro *et al.* How does Industry 4.0 contribute to operations management? **Journal of Industrial and Production Engineering**, v. 35, n. 4, p. 255–268, 2018.
- GAJSEK, B. *et al.* Using maturity model and discrete-event simulation for industry 4.0 implementation. **International Journal of Simulation Modelling**, v. 18, n. 3, p. 488–499, 2019.
- GANZARAIN, Jaione; ERRASTI, Nekane. Three stage maturity model in SME's toward industry 4.0. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 9, n. 5, p. 1119, 2016.
- HAJOARY, Pinosh Kumar. Industry 4.0 Maturity and Readiness Models: A Systematic Literature Review and Future Framework. **International Journal of Innovation and Technology Management**, v. 17, n. 07, p. 2030005, 2020.
- HELLWEG, Frauke *et al.* Literature review on maturity models for digital supply chains. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 18, n. 3, p. e20211127, 2021.
- HERCEG, Iva Vuksanović *et al.* Challenges and driving forces for industry 4.0 implementation. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 10, 2020.
- HOYER, Christian; GUNAWAN, Indra; REACHE, Carmen Haule. The Implementation of Industry 4.0 – A Systematic Literature Review of the Key Factors. **Systems Research and Behavioral Science**, v. 37, n. 4, p. 557–578, 2020.
- JAIN, Vineet; AJMERA, Puneeta. Modelling the enablers of industry 4.0 in the Indian manufacturing industry. **International Journal of Productivity and Performance Management**, 2020.

- KIRAZ, Alper *et al.* Analysis of the factors affecting the Industry 4.0 tendency with the structural equation model and an application. **Computers & Industrial Engineering**, v. 150, p. 106911, 2020.
- KOSACKA-OLEJNIK, Monika; PITAKASO, Rapepan. Industry 4.0: State of the art and research implications. **Logforum**, v. 15, n. 4, p. 475–485, 2019.
- LIN, Tzu Chieh; SHENG, Margaret L.; JENG WANG, Kung. Dynamic capabilities for smart manufacturing transformation by manufacturing enterprises. **Asian Journal of Technology Innovation**, 2020.
- LIN, Tzu Chieh; WANG, Kung Jeng; SHENG, Margaret L. To assess smart manufacturing readiness by maturity model: a case study on Taiwan enterprises. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 33, n. 1, p. 102–115, 2020.
- MAISIRI, Whisper; VAN DYK, Liezl; COETZEE, Rojanette. Development of an industry 4.0 competency maturity model. **SAIEE Africa Research Journal**, v. 112, n. 4, p. 189–197, 2021.
- MANSOUR, Husam; AMINUDIN, Eeydzah; MANSOUR, Tahseen. Implementing industry 4.0 in the construction industry- strategic readiness perspective. **International Journal of Construction Management**, p. 1–14, 2021.
- MICHELER, Simon; GOH, Yee Mey; LOHSE, Niels. Innovation landscape and challenges of smart technologies and systems—a European perspective. **Production and Manufacturing Research**, v. 7, n. 1, p. 503–528, 2019.
- MITTAL, Sameer *et al.* A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). **Journal of Manufacturing Systems**, v. 49, n. June, p. 194–214, 2018.
- MITTAL, Sameer *et al.* A smart manufacturing adoption framework for SMEs. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 5, p. 1555–1573, 2020.
- MOURA, Luciano Raizer; KOHL, Holger. *Maturity assessment in industry 4.0 – a comparative analysis of brazilian and german companies*. **Emerging Science Journal**, v. 4, n. 5, p. 365-375, 2020.
- NAFCHI, Majid Ziaei; MOHELSKÁ, Hana. Organizational culture as an indication of readiness to implement industry 4.0. **Information (Switzerland)**, v. 11, n. 3, 2020.
- NAYERNIA, Hamed; BAHEMIA, Hanna; PAPAGIANNIDIS, Savvas. A systematic review of the implementation of industry 4.0 from the organisational perspective. **International Journal of Production Research**, p. 1–32, 2021.
- PACCHINI, Athos Paulo Tadeu *et al.* The degree of readiness for the implementation of Industry 4.0. **Computers in Industry**, v. 113, p. 103125, 2019.
- PECH, Martin; VRCHOTA, Jaroslav. Classification of small-and medium-sized enterprises based on the level of industry 4.0 implementation. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 10, n. 15, 1 ago. 2020.
- PEUKERT, S. *et al.* Process model for the successful implementation and demonstration of SME-based industry 4.0 showcases in global production networks. **Production Engineering**, v. 14, n. 3, p. 275–288, 2020.

- PIROLA, Fabiana; CIMINI, Chiara; PINTO, Roberto. Digital readiness assessment of Italian SMEs: a case-study research. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 31, n. 5, p. 1045–1083, 2019.
- POOR, Peter; ZOUBEK, Michal; SIMON, Michal. Proposal of a Tool for Determining Sub- and Main Dimension Indicators in Assessing Internal Logistics Readiness for Industry 4.0 within a Company. **Applied Sciences**, v. 11, n. 24, p. 11817, 2021.
- RAFAEL, Lizarralde Dorronsoro *et al.* An Industry 4.0 maturity model for machine tool companies. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 159, n. March, 2020.
- RAHAMADDULLA, Syed Radzi Bin *et al.* Conceptualizing Smart Manufacturing Readiness-Maturity Model for Small and Medium Enterprise (SME) in Malaysia. **Sustainability**, v. 13, n. 17, p. 9793, 2021.
- RAMANATHAN, Krishnamurthy; SAMARANAYAKE, Premaratne. Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: a self-diagnostic framework and an illustrative case study. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2021.
- SAAD, Sameh M.; BAHADORI, Ramin; JAFARNEJAD, Hamidreza. The smart SME technology readiness assessment methodology in the context of industry 4.0. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 32, n. 5, p. 1037–1065, 2021.
- SANTOS-NETO, João Batista Sarmiento Dos; COSTA, Ana Paula Cabral Seixas. Enterprise maturity models: a systematic literature review. **Enterprise Information Systems**, v. 13, n. 5, p. 719–769, 2019.
- SANTOS, Reginaldo Carreiro; MARTINHO, José Luís. An Industry 4.0 maturity model proposal. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 31, n. 5, p. 1023–1043, 2019.
- SCHUMACHER, Andreas; SIHN, Wilfried. A strategy guidance model to realize industrial digitalization in production companies. **Management and Production Engineering Review**, v. 11, n. 3, p. 14–25, 2020.
- SIMETINGER, František; ZHANG, Zuopeng. Deriving secondary traits of industry 4.0: A comparative analysis of significant maturity models. **Systems Research and Behavioral Science**, v. 37, n. 4, p. 663–678, 2020.
- SJÖDIN, David R. *et al.* Smart Factory Implementation and Process Innovation: A Preliminary Maturity Model for Leveraging Digitalization in Manufacturing Moving to smart factories presents specific challenges that can be addressed through a structured approach focused on people, p. **Research Technology Management**, v. 61, n. 5, p. 22–31, 2018.
- SRIRAM, R. M.; VINODH, S. Analysis of readiness factors for Industry 4.0 implementation in SMEs using COPRAS. **International Journal of Quality and Reliability Management**, 2020.
- STAWIARSKA, Ewa *et al.* Diagnosis of the maturity level of implementing industry 4.0 solutions in selected functional areas of management of automotive companies in Poland. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 9, 2021.
- SÜTŮOVÁ, Andrea; ŠOOŠ, Ľubomír; KÓČA, Ferdinand. Learning needs determination for industry 4.0 maturity development in automotive organisations in Slovakia. **Quality Innovation Prosperity**, v. 24, n. 3, p. 122–139, 2020.

- TRANFIELD, David *et al.* Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management**, v. 14, n. 3, p. 207–222, 2003.
- TRSTENJAK, Maja; OPETUK, Tihomir. Industry 4.0 Readiness Factor Calculation and Process Planning: State-of-the-Art Review. **Transactions of FAMENA**, v. 44, n. 3, p. 1–22, 2020.
- VASCONCELOS, Luis Henrique Rigato; GOBO JUNIOR, Paulo; RODRIGUES, Fabiano. An Industry 4.0 maturity model applied to the automotive supply chain. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 21, n. 4, p. 230–258, 2021.
- WAGIRE, Aniruddha Anil *et al.* Development of maturity model for assessing the implementation of Industry 4.0: learning from theory and practice. **Production Planning and Control**, v. 0, n. 0, p. 1–20, 2020.
- WANG, Qi; WALTMAN, Ludo. Large-scale analysis of the accuracy of the journal classification systems of Web of Science and Scopus. **Journal of Informetrics**, v. 10, n. 2, p. 347–364, 2016.
- WHITE, Marilyn Domas; MARSH, Emily E. Content Analysis: A Flexible Methodology. **Library Trends**, v. 55, n. 1, p. 22–45, 2006.

## APÊNDICE A

Nº	Autor/ ano	Título	Método predominante de pesquisa
1	Ganzarain e Errasti (2016)	Three stage maturity model in SME's towards industry 4.0	Estudo de caso
2	Asdecker e Felch (2018)	Development of an industry 4.0 maturity model for the delivery process in supply chains	Survey
3	Bibby e Dehe (2018)	Defining and assessing industry 4.0 maturity levels – case of the defence sector	Estudo de caso
4	Fettermann <i>et al.</i> (2018)	How does industry 4.0 contribute to operations management?	Estudo de caso
5	Mittal <i>et al.</i> (2018)	A critical review of smart manufacturing & industry 4.0 maturity models: implications for small and medium-sized enterprises (SMEs)	Revisão de literatura
6	Sjödin <i>et al.</i> (2018)	Smart factory implementation and process innovation: a preliminary maturity model for leveraging digitalization in manufacturing	Estudo de caso
7	Basl e Doucek (2019)	A metamodel for evaluating enterprise readiness in the context of industry 4.0	Revisão de literatura
8	Bukowski (2019)	Logistics decision-making based on the maturity assessment of imperfect knowledge	Revisão de literatura
9	Colli <i>et al.</i> (2019)	A maturity assessment approach for conceiving context-specific roadmaps in the Industry 4.0 era	Estudo de caso
10	Ellefsen <i>et al.</i> (2019)	Striving for excellence in ai implementation: Ai maturity model framework and preliminary research results	Estudo de caso
11	Gajsek <i>et al.</i> (2019)	Using maturity model and discrete-event simulation for industry 4.0 implementation	Estudo de caso
12	Kosacka-Olejnik e Pitakaso (2019)	Industry 4.0: State of the art and research implications	Revisão de literatura
13	Micheler <i>et al.</i> (2019)	Innovation landscape and challenges of smart technologies and systems – a European perspective	Survey
14	Pacchini <i>et al.</i> (2019)	The degree of readiness for the implementation of industry 4.0	Estudo de caso
15	Santos-Neto e Costa (2019)	Enterprise maturity models: a systematic literature review	Revisão de literatura
16	Chonsawat e Sopadang (2020)	Defining SMEs' 4.0 Readiness Indicators	Revisão de literatura
17	Culot <i>et al.</i> (2020)	Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions	Revisão de literatura
18	Dikhanbayeva <i>et al.</i> (2020)	Assessment of industry 4.0 maturity models by design principles	Revisão de literatura
19	Dutta <i>et al.</i> (2020)	Digital transformation priorities of India's discrete manufacturing SMEs – a conceptual study in perspective of industry 4.0	Revisão de literatura
20	Facchini <i>et al.</i> (2020)	A maturity model for logistics 4.0: an empirical analysis and a roadmap for future research	Estudo de caso
21	Hajoary (2020)	Industry 4.0 Maturity and Readiness Models: A Systematic Literature Review and Future Framework	Revisão de literatura
22	Herceg <i>et al.</i> (2020)	Challenges and driving forces for industry 4.0 implementation	Survey
23	Hoyer, Gunawan e Reaiche (2020)	The Implementation of Industry 4.0 – A Systematic Literature Review of the Key Factors	Revisão de literatura

Nº	Autor/ ano	Título	Método predominante de pesquisa
24	Kiraz <i>et al.</i> (2020)	Analysis of the factors affecting the Industry 4.0 tendency with the structural equation model and an application	Survey
25	Jesus e Lima (2020)	Literature search of key factors for the development of generic and specific maturity models for industry 4.0	Revisão de literatura
26	Lin <i>et al.</i> (2020)	Dynamic capabilities for smart manufacturing transformation by manufacturing enterprises	Survey
27	Lin, Wang e Sheng (2020)	To assess smart manufacturing readiness by maturity model: a case study on Taiwan enterprises	Survey
28	Mittal <i>et al.</i> (2020)	A smart manufacturing adoption framework for SMEs	Estudo de caso
29	Moura e Kohl (2020)	Maturity assessment in industry 4.0 – a comparative analysis of Brazilian and German companies	Survey
30	Nafchi e Mohelská (2020)	Organizational culture as an indication of readiness to implement industry 4.0	Survey
31	Narula <i>et al.</i> (2020)	Industry 4.0 adoption key factors: an empirical study on manufacturing industry	Survey
32	Pech e Vrchota (2020)	Classification of small-and medium-sized enterprises based on the level of industry 4.0 implementation	Survey
33	Peukert <i>et al.</i> (2020)	Process model for the successful implementation and demonstration of SME-based industry 4.0 showcases in global production networks	Estudo de caso
34	Pirola <i>et al.</i> (2020)	Digital readiness assessment of Italian SMEs: a case-study research	Estudo de caso
35	Rafael <i>et al.</i> (2020)	An industry 4.0 maturity model for machine tool companies	Estudo de caso
36	Ramos <i>et al.</i> (2020)	Systems evaluation methodology to attend the digital projects requirements for industry 4.0	Estudo de caso
37	Santos e Martinho (2020)	An industry 4.0 maturity model proposal	Estudo de caso
38	Schumacher e Sihm (2020)	A strategy guidance model to realize industrial digitalization in production companies	Estudo de caso
39	Silva <i>et al.</i> (2020)	Implementation of Industry 4.0 concept in companies: empirical evidences	Revisão de literatura
40	Simetinger e Zhang (2020)	Deriving secondary traits of industry 4.0: a comparative analysis of significant maturity models	Revisão de literatura
41	Souza <i>et al.</i> (2020)	Metanalysis of industry 4.0 maturity models	Revisão de literatura
42	Sütöová <i>et al.</i> (2020)	Learning needs determination for industry 4.0 maturity development in automotive organisations in Slovakia	Survey
43	Trstenjak e Opetuk (2020)	Industry 4.0 Readiness Factor Calculation and Process Planning: State-of-the-Art Review	Revisão de literatura
44	Wagire <i>et al.</i> (2020)	Analysis and synthesis of Industry 4.0 research landscape: Using latent semantic analysis approach	Revisão de literatura
45	Agaard <i>et al.</i> (2021)	The Role of Digital Maturity Assessment in Technology Interventions with Industrial Internet Playground	Revisão de literatura
46	Amaral e Peças (2021)	A Framework for Assessing Manufacturing SMEs Industry 4.0 Maturity	Revisão de literatura
47	Amaral e Peças (2021)	SMEs and industry 4.0: two case studies of digitalization for a smoother integration	Estudo de caso
48	Barbalho e Dantas (2021)	The effect of islands of improvement on the maturity models for industry 4.0: the implementation of an inventory management system in a beverage factory	Pesquisa-ação
49	Bastos <i>et al.</i> (2021)	Industry 4.0 Readiness Assessment Method Based on RAMI 4.0 Standards	Revisão de literatura

Nº	Autor/ ano	Título	Método predominante de pesquisa
50	Caiado <i>et al.</i> (2021)	A fuzzy rule-based industry 4.0 maturity model for operations and supply chain management	Estudo de caso
51	Chaopaisarn e Woschank (2021)	Maturity Model Assessment of SMART Logistics for SMEs	Revisão de literatura
52	Chonsawat e Sopadang (2021)	Smart SMEs 4.0 Maturity Model to Evaluate the Readiness of SMEs Implementing Industry 4.0	Survey
53	Czvetkó, Honti e Abonyi (2021)	Regional development potentials of Industry 4.0: Open data indicators of the Industry 4.0+ model	Revisão de literatura
54	Çinar, Zeeshan e Korhan (2021)	A Framework for Industry 4.0 Readiness and Maturity of Smart Manufacturing Enterprises: A Case Study	Estudo de caso
55	Elibal e Özceylan (2021)	A systematic literature review for industry 4.0 maturity modeling: state-of-the-art and future challenges	Revisão de literatura
56	Hellweg <i>et al.</i> (2021)	Literature review on maturity models for digital supply chains	Revisão de literatura
57	Jain e Ajmera (2021)	Modelling the enablers of industry 4.0 in the Indian manufacturing industry	Painel de especialistas
58	Mansour, Aminudin e Mansour (2021)	Implementing industry 4.0 in the construction industry- strategic readiness perspective	Painel de especialistas
59	Maisiri, Van Dyk e Coetzee (2021)	Implementing industry 4.0 in the construction industry- strategic readiness perspective	Painel de especialistas
60	Nayernia, Bahemia e Papagiannidis (2021)	A systematic review of the implementation of industry 4.0 from the organisational perspective	Revisão de literatura
61	Poor, Zoubek e Simon (2021)	Proposal of a Tool for Determining Sub- and Main Dimension Indicators in Assessing Internal Logistics Readiness for Industry 4.0 within a Company	Revisão de literatura
62	Rahamaddulla <i>et al.</i> (2021)	Conceptualizing Smart Manufacturing Readiness-Maturity Model for Small and Medium Enterprise (SME) in Malaysia	Revisão de literatura
63	Ramanathan e Samaranayake (2021)	Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: a self-diagnostic framework and an illustrative case study	Estudo de caso
64	Vasconcelos <i>et al.</i> (2021)	An Industry 4.0 Maturity Model Applied to the automotive supply chain	Estudo de caso
65	Saad, Bahadori e Jafarnejad (2021)	The smart SME technology readiness assessment methodology in the context of industry 4.0	Revisão de literatura
66	Sriram e Vinodh (2021)	Analysis of readiness factors for industry 4.0 implementation in SMEs using COPRAS	Estudo de caso
67	Stawiarska <i>et al.</i> (2021)	Diagnosis of the maturity level of implementing industry 4.0 solutions in selected functional areas of management of automotive companies in Poland	Survey
68	Wagire <i>et al.</i> (2021)	Development of maturity model for assessing the implementation of industry 4.0: learning from theory and practice	Estudo de caso

## APÊNDICE B

<b>Modelo</b>	<b>Dimensões</b>	<b>Autor</b>
MM1	(i) Visão 4.0 (ii) Roteiro 4.0 (iii) Projetos 4.0	Ganzarain e Errasti (2016)
MM2	(i) Processamento de pedidos (ii) Armazenamento (iii) Envio	Asdecker e Felch (2018)
MM3	(i) Fábrica do Futuro (ii) Pessoas e Cultura (iii) Estratégia	Bibby e Dehe (2018)
MM4	(i) Pessoas (ii) Processos (iii) Tecnologias	Sjödin <i>et al.</i> (2018)
MM5	(i) Sociedade (ii) Áreas da sociedade (iii) Áreas dentro da sociedade (iv) Áreas dentro de uma empresa (v) Empresa na sua totalidade (vi) Áreas dentro de uma empresa com base em outros modelos (vii) Dimensões dentro de áreas específicas da empresa (viii) Subdimensões dentro de áreas específicas	Basl e Doucek (2019)
MM6	(i) Precisão (ii) Clareza (iii) Consistência (iv) Plausibilidade (v) Rastreabilidade	Bukowski (2019)
MM7	(i) Governança - Pessoas e cultura (ii) Tecnologia (iii) Conectividade (iv) Criação de valor (v) Competências - Pessoas	Colli <i>et al.</i> (2019)
MM8	(i) Internet das coisas (ii) <i>Big data</i> (iii) Computação em nuvem (iv) Sistemas ciber físicos (v) Robôs colaborativos (vi) Manufatura aditiva (vii) Realidade aumentada (viii) Inteligência artificial	Gajsek <i>et al.</i> (2019)
MM9	(i) Estratégia (ii) Liderança (iii) Produtos (iv) Operações (v) Cultura (vi) Pessoas (vii) Governança (viii) Tecnologias	Pacchini <i>et al.</i> (2019)
MM10	(i) Estratégia (ii) Pessoas (iii) Processos (iv) Tecnologia (v) Integração	Pirola <i>et al.</i> (2020)
MM11	(i) Estratégia organizacional (ii) Estrutura e cultura (iii) Trabalhadores (iv) Fábricas inteligentes	Santos e Martinho (2020)

<b>Modelo</b>	<b>Dimensões</b>	<b>Autor</b>
	(v) Processos inteligentes (vi) Produtos e serviços inteligentes	
MM12	(i) Integração horizontal em toda rede de criação de valor (ii) Integração vertical e sistemas de manufatura em rede (iii) Integração ponta a ponta em todo o ciclo de vida dos produtos	Dutta <i>et al.</i> (2020)
MM13	(i) Gestão (ii) Fluxo de material (iii) Fluxo de informação	Facchini <i>et al.</i> (2020)
MM14	(i) Cliente (ii) Estratégia (iii) Tecnologia (iv) Operações (v) Organização e Cultura	Herceg <i>et al.</i> (2020)
MM15	(i) Processos (ii) Tecnologias (iii) Organizações	Lin <i>et al.</i> (2020)
MM16	(i) Estratégia e organização (ii) Fábrica inteligente (iii) Operações inteligentes (iv) Produtos inteligentes (v) Serviços baseados em dados (vi) Funcionários	Moura e Kohl (2020)
MM17	(i) Comunicação máquina-máquina (ii) Comunicação homem-máquina (iii) Acesso à informação para funcionários (iv) Grau de automação (v) Flexibilidade de Equipamentos e Sistema de produção (vi) Práticas para evitar erros	Peukert <i>et al.</i> (2020)
MM18	(i) Estratégia e organização (ii) Fábrica inteligente (iii) Operações inteligentes (iv) Produtos inteligentes (v) Serviços baseados em dados	Rafael <i>et al.</i> (2020)
MM19	(i) Modelo de Negócios, Portfólio de Produtos e Serviços -digitalização do modelo de negócios, produtos e serviços (6 itens) (ii) Mercado e Acesso do Cliente - canais usados para interações com o cliente (6 itens) (iii) Cadeias de valor e processos - integração da fabricação interna, gestão da cadeia de abastecimento (5 itens) (iv) Infraestrutura de TI - capacidades técnicas e Suporte de TI para processos e serviços (6 itens) (v) Conformidade, Legal, Risco, Segurança - técnica e implementação de garantia de conformidade, foco em risco, confiança cibernética garantida (6 itens) (vi) Organização e Cultura - colaboração e cultura suportando I4.0 (4 itens)	Sütöová <i>et al.</i> (2020)
MM20	(i) Pessoas e Cultura (ii) Conhecimento de I4.0 (iii) Estratégia Organizacional (iv) Processos e cadeia de valor (v) Tecnologia de manufatura inteligente (vi) Tecnologia orientada para produtos e serviços (vii) Tecnologia base para I4.0	Wagire <i>et al.</i> (2021)
MM21	(i) Pessoas (ii) Cultura (iii) Estratégia (iv) Processos (v) Operações	Agaard <i>et al.</i> (2021)

<b>Modelo</b>	<b>Dimensões</b>	<b>Autor</b>
	(vi) Organização (vii) Segurança (viii) Tecnologia	
MM22	(i) Tecnologia (ii) Processos de produção (iii) Pessoas (iv) Produto inteligente (v) Organização (vi) Mudança	Amaral e Peças (2021)
MM23	(i) Gerenciamento da cadeia de suprimentos (ii) Gestão da produção e operações (iii) Gerenciamento da cadeia de suprimentos e Gestão da produção e operações	Caiado <i>et al.</i> (2021)
MM24	(i) Estratégia (ii) Clientes (iii) Produtos (iv) Operações (v) Pessoas (vi) Tecnologia	Chaopaisrn e Woschank (2021)
MM25	(i) Negócios e organizações estratégicas (ii) Processos orientados à tecnologia (iii) Manufatura e Operações (iv) Capacidade das pessoas (v) Suporte digital (vi) Cultura	Chonsawat e Sopadang (2021)
MM26	(i) Logística 4.0 (ii) Gestão 4.0 (iii) Operadores 4.0	Çinar <i>et al.</i> (2021)
MM27	(i) Pessoas (ii) Tecnologia (iii) Processo (iv) Produto (v) Infraestrutura (vi) Organização e cliente (vii) Segurança (viii) Tecnologia	Rahamaddulla <i>et al.</i> (2021)
MM28	(i) Estratégia e Organização (ii) Planta e equipamentos (iii) Sistema de tecnologia e gerenciamento de dados (iv) Recursos humanos (v) Definição de produto (vi) Gerenciamento de operações: consumo de energia, gestão da qualidade, gerenciamento da cadeia de suprimentos	Ramanathan e Samaranayake (2021)
MM29	(i) Processos (ii) Pessoas (iii) Organização (iv) Tecnologia (v) Segurança (vi) Produção	Stawiarska <i>et al.</i> (2021)
MM30	(i) Estratégia (ii) Estrutura (iii) Cultura organizacional (iv) Força de trabalho (v) Fábricas inteligentes (vi) Produtos e serviços inteligentes (vii) Tecnologia	Vasconcelos <i>et al.</i> (2021)

## Artigo 2: Modelo de maturidade para *Healthcare 4.0*: uma proposta a partir da opinião de especialistas

### RESUMO

**Objetivo:** Este artigo procura desenvolver um modelo de maturidade (MM) para *Healthcare 4.0* (*H4.0*), com base nos modelos existentes para Indústria 4.0, nas características específicas do *H4.0* e na opinião de especialistas.

**Desenvolvimento/metodologia/abordagem:** A pesquisa foi realizada em três etapas: análise da literatura, proposição do MM para *H4.0* e avaliação do modelo proposto a partir da opinião de especialistas. Nove especialistas aceitaram participar da pesquisa, fornecendo *feedback* interpretado por meio de uma abordagem qualitativa para análise do conteúdo das respostas.

**Resultados:** A proposta inicial do modelo com base na literatura foi composta por cinco níveis (0 para inexistente e 4 para avançado) e cinco dimensões (estratégia, cultura organizacional, pessoas, organização e tecnologia). Com base na avaliação dos especialistas, o modelo foi refinado e tornado mais conciso, de forma que a dimensão cultura organizacional foi incorporada pelas demais, mas não suprimida. Destaca-se no refinamento do modelo a categorização das dimensões propostas em práticas e habilitadores de *H4.0*, com fatores de ponderação equilibrados entre as duas para definir o valor que corresponde ao grau de maturidade.

**Limitações/implicações da pesquisa:** O modelo proposto ainda não foi aplicado em nenhum hospital. Dessa forma, surgem oportunidades para futuras pesquisas que proponham testar a aplicabilidade do MM em hospitais públicos e privados.

**Implicações teóricas/práticas:** A principal contribuição teórica foi o desenvolvimento do modelo em si, uma vez que não foi encontrado na literatura analisada nenhum MM voltado para *H4.0*. A facilidade de uso obtida com a simplificação do modelo aumenta seu potencial de adoção como uma ferramenta de autoavaliação, constituindo uma relevante contribuição prática deste trabalho.

**Originalidade/valor:** Este estudo abordou uma lacuna da literatura sobre modelos de maturidade para *Healthcare 4.0*, algo que ainda não foi proposto nem em âmbito acadêmico nem em âmbito profissional.

**Palavras-chave:** Modelos de Maturidade; Indústria 4.0; *Healthcare 4.0*.

### 1. INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 (I4.0), também chamada de quarta revolução industrial, compreende um conjunto de tecnologias de comunicação e informação, tendo como objetivo promover níveis mais elevados de automação e interconectividade entre processos, produtos, serviços e pessoas (TORTORELLA *et al.*, 2021), além de proporcionar novos padrões de descentralização (KOH *et al.*, 2019). A utilização de tecnologias emergentes e convergentes que agregam valor a todo ciclo de vida do produto (FRANK *et al.*, 2019) e também dos aplicativos digitais estão modificando a forma como as organizações são estruturadas, bem como suas rotinas de trabalho, exigindo-se novos modelos de negócios (LASI *et al.*, 2014; XU *et al.*, 2018).

A I4.0 oferece inúmeras possibilidades em variados tipos de negócio, sendo relatado em alguns estudos os benefícios da integração das tecnologias digitais na manufatura (KIEL *et al.*, 2017; DALENOGARE *et al.*, 2018), em serviços logísticos (HOFMANN; RÜSCH, 2017) e em serviços de saúde (JAYARAMAN *et al.*, 2020; YANG *et al.*, 2020). Neste último, a utilização de tecnologias digitais de informação e comunicação da I4.0 é conhecida como *Healthcare 4.0 (H4.0)* (THUEMMLER; BAI, 2017; CHEN *et al.*, 2018; TORTORELLA *et al.*, 2020). Esta contribui para a modificação dos serviços de saúde, garantindo pessoas e processos alinhados, com o objetivo comum de fornecer o melhor atendimento ao paciente e ofertar serviços de qualidade (ALLOGHANI *et al.*, 2018).

*Healthcare 4.0* é um processo contínuo e disruptivo de transformação de toda a cadeia de valor da saúde englobando a medicina, produção de equipamentos médicos, cuidados hospitalares, cuidados extra-hospitalares, logística de saúde, assistência em saúde, sistemas financeiros e sociais (YANG *et al.*, 2020). Assim, compreender que a adoção de tecnologias 4.0 agregam valor à cadeia produtiva dos serviços de saúde é essencial (TORTORELLA *et al.*, 2020; VASSOLO *et al.*, 2021), considerando a crescente demanda por serviços de saúde mais eficientes, qualificados e menos dispendiosos por meio de novas soluções tecnológicas (DEHE; BAMFORD, 2017).

No entanto, estudos recentes mostram que a adoção do *H4.0* ainda é incipiente (TORTORELLA *et al.*, 2021). Porém, para caminhar em direção à *H4.0*, a criação de modelos de maturidade (MM) desponta como uma importante ferramenta, uma vez que os MMs demonstram como determinada abordagem vem evoluindo, permitindo às organizações aprimorarem o planejamento de ações para o alcance dos resultados desejados (SANTOS-NETO; COSTA, 2019). Entretanto, ao analisar a literatura sobre os MM da I4.0, nota-se que a maioria é voltada para a indústria de manufatura, algo já esperado, pois foi o ambiente de onde se originou o termo. Mesmo com a ampliação do conceito para a saúde e outros setores (*e.g.*, *Agriculture 4.0*, *Banking 4.0*, etc.), observa-se uma carência de MMs para setores não industriais, não havendo nenhum registro de modelo para *H4.0*.

Considerando os estágios iniciais da *H4.0*, a carência de aplicações empíricas sobre essa temática, bem como a ausência de MMs para o *H4.0*, o presente estudo tem como objetivo desenvolver um modelo de maturidade para *Healthcare 4.0* destinado à avaliação de operações hospitalares. O modelo proposto foi desenvolvido tomando como base as características dos MM para a I4.0, porém, incorporando as particularidades do *H4.0* e ajustando o procedimento por meio da opinião de especialistas.

Este artigo está estruturado em sete seções, considerando esta introdução. A segunda seção apresenta um embasamento da literatura sobre *H4.0*, além de uma síntese sobre os MMs atualmente propostos para I4.0. Os métodos de pesquisa utilizados são apresentados na seção 3. Na quarta seção o MM é proposto, considerando as particularidades do *H4.0*. Posteriormente, na quinta seção, os resultados da avaliação dos especialistas são apresentados, bem como as sugestões de melhorias propostas pelos mesmos. Na sexta seção, os resultados são discutidos e um modelo refinado é apresentado. Por fim, a última seção descreve as principais conclusões, contribuições, limitações e futuras oportunidades de pesquisa.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 *Healthcare 4.0*: conceitos e tecnologias**

Ao longo dos anos o setor de saúde vem passando por diversas transformações tecnológicas, que podem ser divididas em quatro fases, do *Healthcare 1.0* para o 4.0 (HATHALIYA *et al.*, 2019; BONGOMIN *et al.*, 2020). No *Healthcare 1.0*, os registros manuais de pacientes eram mantidos pelos profissionais de saúde (HATHALIYA *et al.*, 2019; BONGOMIN *et al.*, 2020). Ainda, os cuidados de saúde dependiam da perícia médica e da utilização de um número limitado de medicamentos derivados de substâncias naturais (TORTORELLA *et al.*, 2020). Posteriormente, esses registros manuais foram substituídos por registros eletrônicos e os cuidados em saúde incorporaram o advento dos antibióticos e o diagnóstico por imagem, caracterizando a fase de *Healthcare 2.0* (HATHALIYA *et al.*, 2019; BONGOMIN *et al.*, 2020). Na transição para o *Healthcare 3.0*, dispositivos conectados ao corpo passaram a ser usados para rastreamento em tempo real do histórico de saúde do paciente (HATHALIYA *et al.*, 2019; BONGOMIN *et al.*, 2020).

Mais recentemente, a evolução tecnológica do setor de saúde entrou em sua quarta fase, o *H4.0*. Nessa fase, os registros dos pacientes passaram a ser armazenados eletronicamente em bancos de dados que podem ser acessados de qualquer lugar usando a Internet. Esses registros podem ser monitorados em tempo real e auxiliam na entrega de serviços voltados ao paciente, com a utilização da computação em nuvem (do inglês *cloud computing* - CC), internet das coisas (do inglês *internet of things* - IoT) e tecnologias de telessaúde para compartilhar dados entre várias partes interessadas (COVENTRY; BRANLEY, 2018). A interconectividade de tecnologias e microestruturas permitem um tratamento terapêutico e processos administrativos mais eficazes (TORTORELLA *et al.*, 2020).

Acompanhando a evolução da indústria, o *H4.0* utiliza as tecnologias da I4.0, tais como Internet das Coisas (IoT), *big data*, computação em nuvem, realidade aumentada, manufatura aditiva

(do inglês- *additive manufacturing* – AM), simulação, sistemas ciberfísicos (do inglês *cyberphysical systems* – CPS), robôs autônomos e cibersegurança. Essas tecnologias foram incorporadas ao setor e atuam a favor da saúde em diversas formas e processos, desde a infraestrutura dos hospitais e clínicas, oferecendo materiais de ponta que ajudam no bem-estar do paciente, como na digitalização de documentos, processos cirúrgicos, entre outros. O Quadro 1 mostra um conjunto de tecnologias da I4.0 aplicadas no contexto de saúde.

**Quadro 1** – Tecnologias para *Healthcare 4.0*

<b>Tecnologia 4.0</b>	<b>Aplicação</b>	<b>Autores</b>
Internet das coisas	A IoT também veio para permitir a integração entre diferentes dispositivos e pessoas, facilitando a anamnese e o tratamento dos pacientes. Dentre tantos recursos que usam IoT na área médica, podem ser citados: marcapassos, dispositivos de monitoramento de glicose, oxímetro, dentre outros.	(ACETO et al., 2020; FLÓREZ et al., 2020 GUPTA et al., 2019; KISHOR; CHAKRABORTY, 2021; YANG et al., 2021; THUEMMLER; BAI, 2017; WANG et al., 2014; GUPTA, et al., 2023)
<i>Big data</i>	O grande volume de dados gerado dentro de um hospital ou de uma clínica oferece <i>insights</i> preciosos para diagnósticos e tratamentos. A tecnologia <i>big data</i> também auxilia na identificação de sintomas e queixas semelhantes entre indivíduos de um mesmo grupo.	(THUEMMLER; BAI, 2017; BONGOMIN et al., 2020; CHANDRA et al., 2022)
Computação em nuvem	Os <i>softwares</i> médicos integrados à nuvem permitem o uso de prontuários eletrônicos que podem ser acessados em qualquer lugar que esteja conectado à internet. Também facilitam a gestão de instalações de saúde e otimização de processos; detecção, diagnóstico, previsão, prognóstico, prevenção e tratamento; imagens médicas, etc. É uma garantia de acesso rápido aos dados do paciente, o que é importantíssimo em casos de emergência. O uso do <i>cloud computing</i> em hospitais e clínicas também dá mais agilidade às consultas e assertividade aos diagnósticos, além de representar redução de custos operacionais e maior segurança de dados.	(ACETO et al., 2020; BONGOMIN et al., 2020; CHANDRA et al., 2022; THUEMMLER; BAI, 2017)
Robôs	São usados para detecção, diagnóstico, previsão, prognóstico, prevenção e tratamento. Essas máquinas podem executar procedimentos minimamente invasivos, que diminuem a dor e o tempo de recuperação de pacientes. Os robôs também são projetados para serem capazes de realizar tarefas repetitivas e monótonas, para que a equipe humana tenha mais energia para lidar com questões que exigem habilidades de tomada de decisão, criatividade e, acima de tudo, cuidado e empatia.	(BONGOMIN et al., 2020; GOY et al., 2019; CHANDRA et al., 2022; THUEMMLER; BAI, 2017)
Manufatura aditiva ou impressão 3D	Uma impressora 3D permite a cópia de objetos tridimensionais. A tecnologia já é usada na impressão de implantes e próteses e, no futuro, deve ser usada para replicar células e tecidos orgânicos. Também é usada em cirurgia para elaborar artefatos como guia de marcação cirúrgica, guia de colocação de implante, escudo de radiação e guia de serra cirúrgica. Ainda é útil em implantes (implantes metálicos, tala traqueal; implantes cranianos), tecido e fabricação de órgãos (órgão em chips), aparelho respiratório (ventiladores), PPE (máscara e protetor facial), próteses e órteses (por exemplo, substituição do joelho; <i>stent</i> nasal; estojos de	(THUEMMLER; BAI, 2017; GOY et al., 2019; BONGOMIN et al., 2020; CHANDRA et al., 2022)

Tecnologia 4.0	Aplicação	Autores
	aparelhos auditivos), e dispositivos ativos e vestíveis (sensores vestíveis).	
Realidade virtual e realidade aumentada	Usadas em educação médica, pesquisa e treinamento; detecção, diagnóstico, previsão, prognóstico, prevenção e tratamento; telemedicina e registro médico; planejamento cirúrgico, navegação cirúrgica e ensaio cirúrgico; imagens médicas anatômicas; e monitoramento em tempo real.	(GUPTA <i>et al.</i> , 2019; THUEMMLER; BAI, 2017; BONGOMIN <i>et al.</i> , 2020; CHANDRA <i>et al.</i> , 2022)
Sistemas ciberfísicos	Para o domínio da saúde, aplicações concretas podem ser a conexão de redes de área corporal e sensores em produtos farmacêuticos inteligentes para plataformas de gerenciamento de doenças com circuitos de <i>feedback</i> auto regulatório ou por meio de acessórios como <i>smartphones</i> .	(THUEMMLER; BAI, 2017; GUPTA, <i>et al.</i> , 2023)
<i>Blockchain</i>	Tecnologia usada no gerenciamento de reclamações e cobrança, controle de contratos de serviço de saúde, entrega de saúde, rastreamento de medicamentos, rastreamento e verificação, gestão da cadeia de suprimentos de medicamentos.	(KUMAR <i>et al.</i> , 2020; ANJUM <i>et al.</i> , 2020; DIMITROV, 2019; LEEMING <i>et al.</i> , 2019; KUMAR <i>et al.</i> , 2020)
Inteligência artificial	Aplicada em detecção, diagnóstico, previsão, prognóstico, prevenção e tratamento; educação médica, pesquisa e treinamento; telemedicina e registro médico; cirurgia e imagens médicas e imagens anatômicas.	(THUEMMLER; BAI, 2017; BONGOMIN <i>et al.</i> , 2020)
Simulação computacional	Utilizada para gestão de instalações de saúde, melhoria de processos e planejamento de recursos, de forma a testar soluções antes de implementá-las. Ainda contribui para educação médica, pesquisa e treinamento, administração de medicamentos e agentes antimicrobianos.	(BONGOMIN <i>et al.</i> , 2020)

Ao utilizar tais tecnologias, o *H4.0* é considerado um termo coletivo para tecnologias de saúde digitais baseadas em dados, como *smart health*, *mobile health*, *wireless health*, *e-health*, *online health*, informações médicas, telemedicina, medicina digital, informática em saúde, saúde generalizada e sistemas de informação em saúde (HERRMANN *et al.*, 2018). Assim, o *H4.0* caracteriza as fronteiras digitais e a inovação disruptiva no setor de saúde que estão criando novos modelos de negócios e redes de valor (HERRMANN *et al.*, 2018). Essa nova abordagem para a prestação de cuidados melhora a qualidade e a eficácia dos serviços de saúde, abrindo caminho para uma relação mais direta entre pacientes e provedores (CAVALLONE; PALUMBO, 2020), tornando o setor de saúde mais colaborativo, convergente e preditivo. Assim, o *H4.0* permite que as informações estejam disponíveis para os médicos *online*, fazendo com que os dados sejam acessados em qualquer lugar e a qualquer momento pelos profissionais de saúde, possibilitando o aumento do domínio da saúde, pois o atendimento clínico pode ser fornecido virtualmente também fora dos hospitais (AJMERA; JAIN, 2019; COVENTRY; BRANLEY, 2018).

Também é importante evidenciar que os sistemas de saúde, em termos de tecnologia *H4.0*, têm sido mais comumente encontrados nos fluxos de informação dos hospitais, principalmente os relacionados aos tratamentos de saúde. As tendências de implementação identificadas, no entanto,

negligenciam uma abordagem mais holística para *H4.0* (TORTORELLA *et al.*, 2020). Dessa forma, é importante avaliar a maturidade dos serviços de saúde para o *H4.0*, sendo os MMs uma importante ferramenta de apoio e um direcionador para as organizações de saúde, auxiliando na identificação de qual estágio de maturidade a organização se encontra no contexto *H4.0*.

## **2.2 Modelos de maturidade para a I4.0**

Os MM são usados como instrumentos para reconhecer e medir o nível de maturidade de uma empresa em uma determinada área ou processo relacionado a um objetivo futuro (SCHUMACHER *et. al*, 2016). A maioria desses modelos é baseada em um método de pontuação para avaliação de maturidade, que é posteriormente definido para identificar os pontos críticos na implementação e, posteriormente, impulsionar a melhoria de todo o sistema (CAROLIS *et al.*, 2017). Assim, o resultado da avaliação é utilizado para identificar quais melhorias precisam ser introduzidas nas áreas ou processos para aumentar o nível de maturidade (SANTOS-NETO; COSTA, 2019).

Para uma melhor compreensão dos MM para a I4.0, o Quadro 2 sintetiza os modelos identificados na literatura. Como se observa, grande parte dos MMs tem focado especificamente dentro do contexto da indústria de manufatura. Analisando o mesmo quadro, verifica-se que os MM contemplam diferentes dimensões e níveis de maturidade. As dimensões representam um campo de aplicação ou áreas de processos ou objetos que estruturam um campo de interesse (RAFAEL *et al.*, 2020). Cada dimensão é especificada por um número de medidas (práticas, objetos ou atividades), isto é, são estabelecidas pontuações para cada dimensão considerada (RAFAEL *et al.*, 2020).

A dimensão “estratégia” está relacionada ao caminho que a organização vai percorrer para atingir objetivos estratégicos e traçar meios para alcançar a I4.0. No contexto da I4.0, as estratégias são importantes para orientar investimentos em tecnologias, bem como comparar e orientar práticas organizacionais, além de apoiar a execução de tarefas, práticas de gestão e apoiar processos decisórios (VASSOLO *et al.*, 2021).

Já a dimensão “cultura organizacional” compreende um conjunto de valores, crenças e hábitos que contribuem com a prontidão para I4.0. Flexibilidade, capacidade e agilidade na mudança são as expressões que definem uma organização inserida na Revolução 4.0.

A dimensão “pessoas” no contexto 4.0, está relacionada à forma como as pessoas estão sendo exigidas a pensar de forma ágil, que proporcione mudanças em direção à inovação tecnológica. Também representa a capacidade de lidar com os anseios dos novos clientes que estão cada vez mais empoderados devido às novas tecnologias.

**Quadro 2 – Modelos de Maturidade para I4.0**

Autores	Setor de aplicação	Dimensões									Níveis							
		Pessoas e cultura	Estratégia	Produtos/ Serviços	Processos/ Operações	Governança	Organização	Segurança	Tecnologia	Criação de valor	0	1	2	3	4	5	6	7
Ganzarain e Errasti (2016)	Aplicação genérica		X	X	X			X	X			X	X	X	X	X		
Asdecker e Felch (2018)	Logística							X	X			X	X	X	X	X		
Bibby e Dehe (2018)	Setor de defesa	X						X	X			X	X	X	X			
Sjödin <i>et al.</i> (2018)	Manufatura	X			X			X	X			X	X	X	X			
Basl e Doucek (2019)	Aplicação genérica	X					X	X	X			X	X	X	X	X	X	X
Bukowski (2019)	Logística	X						X	X			X	X	X	X	X		
Colli <i>et al.</i> (2019)	Aplicação genérica					X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	
Gajsek <i>et al.</i> (2019)	Siderurgia	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X					
Pacchini <i>et al.</i> (2019)	Manufatura						X	X	X		X	X	X	X				
Pirola <i>et al.</i> (2019)	Manufatura	X	X		X			X	X			X	X	X	X	X		
Santos e Martinho (2019)	Manufatura	X	X	X	X			X	X		X	X	X	X	X	X		
Dutta <i>et al.</i> (2020)	Manufatura							X	X	X		X	X	X	X	X		
Facchini <i>et al.</i> (2020)	Logística		X					X	X			X	X	X	X	X		
Herceg <i>et al.</i> (2020)	Manufatura	X	X		X		X	X	X			X	X	X				
Lin <i>et al.</i> (2020)	Manufatura				X		X	X	X		X	X	X	X	X	X		
Moura e Kohl (2020)	Manufatura	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X		
Peukert <i>et al.</i> (2020)	Logística	X			X			X	X			X	X	X	X	X		
Rafael <i>et al.</i> (2020)	Manufatura		X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X		
Sütőová <i>et al.</i> (2020)	Manufatura	X		X	X		X	X	X			X	X	X	X	X		
Aagaard <i>et al.</i> (2021)	Manufatura	X	X		X		X	X	X			X	X	X				
Amaral e Peças (2021)	Manufatura	X	X	X	X			X	X			X	X	X				
Caiado <i>et al.</i> (2021)	Cadeia de Suprimentos				X			X	X			X	X	X	X			
Chaopaisam e Woschank (2021)	Logística	X	X	X	X			X	X			X	X	X	X	X		
Chonsawat e Sopadang (2021)	Manufatura	X	X		X		X	X	X			X	X	X	X	X		
Çinar <i>et al.</i> (2021)	Manufatura	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X			
Ramamaddulla <i>et al.</i> (2021)	Manufatura	X		X	X		X	X	X			X	X	X	X	X		
Ramanathan e Samaranyake (2021)	Manufatura		X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X			
Stawiarska <i>et al.</i> (2021)	Manufatura	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X	X		
Vasconcelos <i>et al.</i> (2021)	Cadeia de suprimentos	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X		
Wagire <i>et al.</i> (2021)	Manufatura	X	X		X		X	X	X	X		X	X	X	X			

A dimensão “organização”, por sua vez, está relacionada ao modelo de negócios que suporte tecnologias I4.0, aos tipos de serviços oferecidos, à infraestrutura tecnológica, à comunicação entre os departamentos, à organização dos processos e atividades, e às competências dos colaboradores. Esta dimensão incorpora a organização digital e refere-se à forma como uma organização aplica as suas competências para adotar a transformação digital e como integra o desenvolvimento de negócios digitais de forma mais eficaz (AAGAARD *et al.*, 2021).

A dimensão “tecnologia” às tecnologias da I4.0 propriamente ditas (abordada em todos os MMs). São essas tecnologias que despertaram para a I4.0 e são capazes de implementar mudanças significativas na competitividade das empresas e abrir novas oportunidades de negócio. A tecnologia é o elemento central para a I4.0, sendo que as demais dimensões são necessárias para dar suporte à adoção e implementação das tecnologias 4.0.

A dimensão “segurança” também foi considerada em todos os modelos analisados, uma vez que na I4.0 a segurança deve ser compreendida de forma abrangente e sistemática, isto é, desde a segurança de dados e comunicação, confiabilidade e segurança da infraestrutura, até a segurança do sistema global no nível de fábricas ou cadeias, incluindo a preservação da privacidade das informações de indivíduos e de direito de propriedade intelectual (BASL; DOUCEK, 2019).

As dimensões “produtos/serviços” e “processos/operações” estão relacionadas à forma como os processos são gerenciados a partir da digitalização, coleta, compartilhamento e gerenciamento dos dados nas organizações (AMARAL; PEÇAS, 2021; CHAOPAISARN; WOSCHANK, 2021; RAHAMADDULLA *et al.*, 2021; RAMANATHAN; SAMARANAYAKE, 2021).

Já a dimensão “governança” envolve aspectos relacionados ao estado atual da empresa em um nível organizacional (por exemplo, estratégia e plano, alocação de recursos, conscientização digital, engajamento em diferentes níveis hierárquicos (COLLI *et al.*, 2018).

No que tange à dimensão “criação de valor”, esta diz respeito à forma como a empresa irá gerar valor a partir dos dados coletados, fazendo com que a organização tenha uma compreensão mais clara do contexto que está inserida, do modelo de negócios, da previsão de manutenção, das expectativas dos clientes, entre outros (COLLI *et al.*, 2019).

Os níveis apresentados no Quadro 2 servem para avaliar o desempenho nas dimensões (SANTOS; MARTINHO, 2020). Portanto, consistem na consolidação de práticas específicas relacionadas a uma totalidade de processos predefinidos que aumentam o desempenho de uma organização ou um objetivo específico (SOUZA; GOMES, 2015). Dessa forma, eles indicam um grau de maturidade em um determinado aspecto dentro da empresa, assim cada nível apresenta

características distintas e testáveis (RAFAEL et al., 2020). Analisando a literatura, verificou-se que os MMs apresentavam níveis de maturidade que variavam de 0 a 7 (Quadro 2), sendo o primeiro nível quando a organização desconhece ou apresenta um baixo grau de implementação e o último quando apresenta uma sólida infraestrutura tecnológica, melhor desempenho e busca pela melhoria contínua.

### 3. MÉTODO DE PESQUISA

A pesquisa relatada neste artigo foi realizada em três etapas: (i) análise da literatura, (ii) proposição do MM inicial para *H4.0* e (iii) avaliação do MM a partir da opinião de especialistas. A análise da literatura teve foco na *I4.0* e suas tecnologias, *H.4.0* e aplicações das tecnologias 4.0 neste setor. Por meio da literatura analisada, não foram encontradas evidências de um MM para o *H4.0*, sendo esta a principal lacuna que este artigo procura preencher.

Para a etapa (ii), foram consideradas as características dos modelos existentes da *I4.0* (Quadro 2) em consonância com as características das operações hospitalares. Assim, tomando como base a revisão da literatura, foi possível desenvolver uma proposta inicial do MM para o *H4.0*, com aplicação direcionada para hospitais.

Como não foi localizado um MM para *H4.0* na literatura, esta pesquisa tem uma natureza exploratória. Pesquisas exploratórias buscam explorar o que está acontecendo e fazer perguntas a respeito, e são especialmente úteis quando não se sabe o suficiente sobre um determinado fenômeno (GRAY, 2012). Após a proposição do MM inicial, este foi submetido à avaliação de especialistas, de forma verificar a adequação do mesmo ao contexto hospitalar e coletar sugestões de melhoria que pudessem ajudar a refinar o modelo. A pesquisa com especialistas é relevante por permitir a identificação de aspectos qualitativos que podem não ter sido identificados na revisão de literatura, contribuindo para a inserção de aspectos visualizados na prática.

Para coletar as informações, avaliar e refinar o modelo de maturidade com os especialistas, primeiramente foi enviada uma carta de apresentação com o objetivo da pesquisa (Apêndice A). Em seguida, foi elaborado o roteiro de perguntas que seria enviado para os especialistas (Apêndice B). O roteiro foi composto de duas partes: (i) apresentação e operacionalização do MM (considerando dimensões e níveis do MM); e, (ii) avaliação do MM.

Para a avaliação do MM (parte 2 do Apêndice B), foi elaborado um questionário com perguntas fechadas e abertas. As perguntas fechadas eram direcionadas para avaliação de três variáveis: factibilidade, usabilidade e utilidade (PLATTS, 1993). A factibilidade, segundo Platts (1993), diz respeito à viabilidade de utilização do modelo na prática, considerando a aderência ao

contexto que se destina. A usabilidade do modelo consiste em saber se o modelo é fácil de ser aplicado, fator que incentiva a sua adoção. A utilidade, por sua vez, verifica se os resultados gerados pelo modelo são relevantes para a organização. Para a avaliação, os especialistas poderiam atribuir notas por meio de uma escala tipo Likert que variava de 1 a 5 (1. Péssimo; 2. Ruim; 3. Regular; 4. Bom; 5. Muito bom). A atribuição de notas era combinada com perguntas abertas para que os especialistas pudessem fazer comentários sobre a avaliação de cada item, bem como comentários gerais sobre as dimensões e níveis do MM proposto.

Para a seleção dos especialistas, estes deveriam ser: (i) pesquisadores com doutorado com linhas de pesquisa voltadas em I4.0 e H4.0 e/ou (ii) profissionais da área de saúde com experiência em gestão hospitalar ou diretores de organizações hospitalares. Para tanto, foi realizada uma busca na plataforma *Lattes* de forma a identificar quem poderia participar da pesquisa, bem como foram realizados contatos com organizações hospitalares para verificar profissionais especialistas de acordo com o perfil descrito acima. Assim, foram identificados 25 especialistas que poderiam participar da pesquisa. Foi enviando, então, um *e-mail* para estabelecer um contato inicial com a carta de apresentação (Apêndice A). Após o envio do *e-mail*, nove especialistas retornaram aceitando participar da pesquisa, sendo sete pesquisadores doutores e dois médicos. A coleta de dados junto aos especialistas ocorreu entre julho e agosto de 2022.

Após a coleta de dados, a análise qualitativa do conteúdo das respostas ocorreu em cinco etapas: (i) codificação aberta, (ii) codificação, (iii) agrupamento, (iv) categorização e (v) abstração (ELO; KYNGÄS, 2008). A codificação aberta foi realizada a partir da leitura das respostas dos especialistas e de acordo com os pressupostos teóricos da pesquisa. Em seguida, foi realizada a codificação, isto é, as opiniões foram agrupadas em categorias semelhantes relacionadas às dimensões e níveis de maturidade, sendo anotadas também as concordâncias e divergências entre os especialistas no que tange à avaliação do modelo. Depois foi feito um agrupamento dessas informações, conforme as semelhanças na avaliação, seguido da categorização por tipo de sugestão de mudança. Por fim, a abstração ocorreu quando se verificou como tais sugestões poderiam ser ou não inseridas no MM, possibilitando apresentar o modelo refinado.

#### **4. PROPOSTA INICIAL DE UM MODELO DE MATURIDADE PARA H4.0**

A partir da análise da literatura, foi proposto um MM inicial, voltado para ambientes hospitalares. O MM foi proposto considerando cinco níveis, de 0 a 4, sendo 0 para inexistente e 4 para avançado (ver Quadro 3). Estes níveis contemplam os requisitos da literatura para uma avaliação

de maturidade, considerando desde a inexistência de requisitos para *H4.0* até níveis avançados de maturidade em *H4.0*. Também com base na literatura da área, foram propostas cinco dimensões para descrever a maturidade em *H4.0*, sendo subdivididas em 25 subdimensões (ou critérios). Foram alocados quatro critérios representando a dimensão Estratégia, três para Cultura Organizacional, três para Pessoas, cinco para Organização e dez para Tecnologia. Esses critérios são detalhados no Quadro B.1 do Apêndice B.

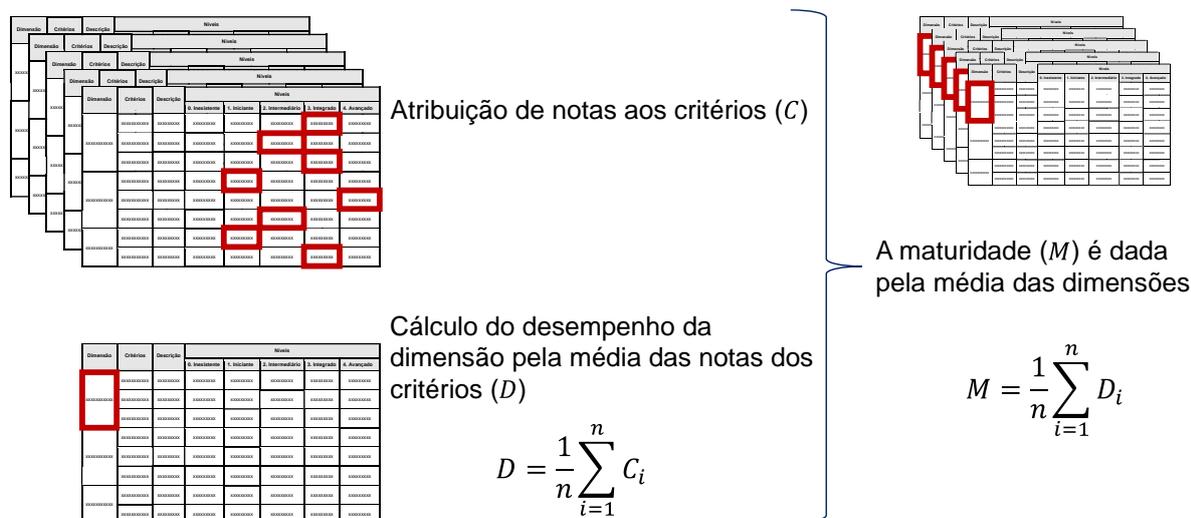
**Quadro 3 – Níveis de maturidade do modelo proposto**

<b>Níveis</b>	<b>Significado</b>
0 – Inexistente	As organizações nesse nível desconhecem ou não apresentam nenhum grau de implementação de <i>Healthcare 4.0</i> .
1 – Iniciante	As organizações nesse nível apresentam um mínimo de informatização, gerenciamento do programa e ações piloto em planejamento ou em desenvolvimento para o <i>Healthcare 4.0</i> .
2 – Intermediário	Existe um certo grau de conectividade entre setores, processos, definição de processos e implementação de ações alinhadas ao <i>Healthcare 4.0</i> . Neste nível, as organizações apresentam um certo grau de maturidade definido, estabelecido e transparente. Estão com alguns dos conceitos do <i>H4.0</i> implantados e/ou planejando estratégias para tal.
3 – Integrado	Neste nível a organização já possui aplicação dos conceitos e implementação de tecnologias para <i>H4.0</i> . Apresentam digitalização completa, integração entre os setores e um alto nível de consciência dentro dos preceitos do <i>H4.0</i> . Há suporte para tomada de decisão, para compartilhamento de informações, digitalização de processos e sistemas de segurança.
4 – Avançado	Neste nível a organização torna-se referência na aplicação dos conceitos e implementação das tecnologias 4.0, possuindo uma sólida infraestrutura tecnológica, melhor desempenho e busca pela melhoria contínua. Os dados disponíveis permitem acessibilidade em tempo real, sendo possível utilizá-los para diagnósticos médicos e tomada de decisão. Este nível engloba a digitalização completa dos processos internos e interempresariais, juntamente com uma forte colaboração, integração de tecnologias 4.0 e habilidades de autoaprendizagem em sistemas de informação, bem como a criação de processos proativos para previsão.

Para aplicação do modelo proposto, é necessário identificar os profissionais mais capacitados para avaliar cada dimensão, de forma que as notas atribuídas correspondam à realidade da organização. Uma alternativa interessante é buscar uma avaliação consensual em grupo, em que se reúnem os especialistas da organização em reuniões do tipo *workshop*, sob a orientação de um facilitador que conheça previamente o modelo.

O procedimento para a determinação da maturidade no modelo proposto é muito simples. As notas são atribuídas de acordo com o enunciado do Quadro B.1 (Apêndice B) que melhor descreve o estágio atual de maturidade do critério (considerando a escala que varia de 0 para inexistente e 4 para avançado). Com as notas atribuídas para cada critério (subdimensão), calcula-se a média de cada dimensão, que determinará o desempenho individual da dimensão. A média das dimensões corresponderá ao nível global de maturidade, classificado conforme a escala previamente estabelecida. A Figura 1 apresenta graficamente o procedimento para a determinação da maturidade no modelo inicial proposto.

**Figura 1 – Determinação da maturidade no modelo inicial proposto**



## 5. AVALIAÇÃO DO MODELO SEGUNDO A OPINIÃO DE ESPECIALISTAS

Os especialistas avaliaram o MM proposto e concordaram que este contempla os estágios de maturidade que se espera em um modelo de avaliação. Em relação às dimensões, os especialistas, de uma forma geral, consideraram adequadas para o contexto *H4.0*.

Avaliando o MM segundo os critérios estabelecidos por Platts (1993) (factibilidade, usabilidade e utilidade), uma síntese das avaliações feitas pelos especialistas pode ser observada no Quadro 4. De uma forma geral, as avaliações foram positivas, cujas respostas podem ser observadas nas células verdes do quadro, com as respostas se concentrando em sua grande maioria como “bom” ou “muito bom”.

Quando perguntados em relação à factibilidade do modelo (perguntas 1, 2 e 3 do Quadro 4), a maior parte dos especialistas avaliou o mesmo de forma muito favorável. Tal resultado sugere que, caso queiram avaliar a maturidade em relação ao *H4.0*, gestores e tomadores de decisão de hospitais podem utilizar o modelo proposto, já que o mesmo é viável e atende à sua finalidade. Essa avaliação é corroborada pelos resultados positivos em relação à utilidade do modelo (perguntas 7 e 8 do Quadro 4). Além de ser de viável aplicação, o modelo é considerado útil para a organização, o que permite inferir sobre a propensão de aplicação prática do mesmo.

Quanto à facilidade de uso (perguntas 4, 5 e 6 do Quadro 4), a maior parte dos especialistas também considerou como muito bom e bom, ou seja, o modelo proposto não possui aspectos que dificultam a sua aplicação. Para os respondentes, o modelo está claro em relação aos níveis e

dimensões que se propõe avaliar e com procedimento de determinação de maturidade de fácil entendimento.

**Quadro 4 – Avaliação pelos especialistas**

Perguntas	Scores				
	1 Péssimo	2 Ruim	3 Regular	4 Bom	5 Muito bom
1- O modelo proposto apresenta dimensões e critérios que são aderentes às operações hospitalares?				Esp. 3, Esp. 4, Esp 8, Esp.9	Esp. 1, Esp. 2, Esp 5, Esp.6, Esp. 7
2- Os níveis de maturidade permitem que os hospitais identifiquem em qual estágio se encontram em relação a cada dimensão?			Esp. 1	Esp. 4	Esp. 2, Esp. 3, Esp 5, Esp.6, Esp. 7, Esp. 8, Esp.9
3- O modelo é exequível ou precisa de adaptações?				Esp. 1, Esp. 4, Esp 5, Esp.6, Esp. 8	Esp. 2, Esp 3, Esp.7, Esp. 9
4- O modelo proposto é fácil de ser utilizado?			Esp. 3, Esp. 8	Esp. 1, Esp. 4, esp. 5, Esp. 7; Esp. 8	Esp. 2, Esp 6, Esp.7
5- Os níveis estabelecidos são facilmente entendidos pelos gerentes de tecnologia hospitalar?			Esp. 3	Esp. 1, Esp 4, Esp.5, Esp. 7, Esp. 8	Esp. 2, Esp 6, Esp.9
6- Os critérios em que as dimensões são subdivididas são facilmente entendidos pelos gerentes de tecnologia hospitalar?			Esp. 4, Esp. 8	Esp. 1, Esp. 5, Esp 6	Esp.2, Esp. 3, Esp. 7; Esp. 9
7. O modelo é capaz de contribuir para melhoria dos hospitais em direção ao <i>Healthcare 4.0</i> ?			Esp. 2	Esp. 1, Esp. 6, Esp. 8, Esp.9	Esp. 3, Esp 4, Esp.5, Esp. 7
8- O modelo de maturidade proposto contribui para identificar em qual nível o hospital se encontra no contexto do <i>Healthcare 4.0</i> ?			Esp. 1, Esp.8	Esp. 5, Esp. 6	Esp. 2, Esp. 3, Esp 4, Esp.7, Esp. 9
9- De uma forma geral, o modelo de maturidade proposto é adequado ao que se propõe?				Esp. 1, Esp. 4, Esp 6, Esp. 8	Esp. 2, Esp. 3, Esp 5, Esp.7, Esp. 9

\*Esp. Especialista

Além da avaliação por pontuação, os especialistas foram solicitados a colocar sugestões, caso desejassem, que pudessem auxiliar no refinamento do modelo. Algumas das sugestões que foram propostas podem ser enumeradas abaixo:

- (i) Considerar a importância de cada critério ao atribuir a pontuação. Segundo três especialistas, os hospitais podem apresentar características distintas, como por exemplo, hospitais públicos ou privados, hospital geral ou atendimentos específicos (emergência, centro cirúrgico, etc.), baixa, média ou alta complexidade, dentre outros aspectos. Assim, um critério pode ser importante para um hospital e para outro não.
- (ii) Em relação à dimensão tecnologia, três especialistas sugeriram estabelecer pontuações particularizadas, pois segundo eles nem todos os hospitais utilizam ou necessitam de todas as

tecnologias citadas no modelo proposto. Por outro lado, foi levantada a questão de que podem existir tecnologias ainda não listadas no modelo.

(iii) Ainda foram obtidas sugestões para a inclusão de novos critérios nas diferentes dimensões, cada um sugerido por um único especialista. Dentre os novos critérios sugeridos, pode-se exemplificar: *fog computing* (dentro da dimensão Tecnologia), *compliance* (dentro da dimensão Estratégia), gerenciamento da mudança (dentro da dimensão Cultura Organizacional), além de critérios que possam diferenciar *hard skills* de *soft skills* (na dimensão Pessoas).

A avaliação dos especialistas e suas sugestões foram levadas em consideração no refinamento do modelo. Embora a avaliação geral tenha sido muito positiva, a contribuição dos especialistas provocou uma reflexão sobre o modelo, de forma a ajustá-lo para uma aplicação prática mais alinhada à realidade.

## 6. DISCUSSÃO E REFINAMENTO DO MODELO

Uma das premissas consideradas para o desenvolvimento é que um modelo sempre é uma representação da realidade, e não a própria realidade. Nesse sentido, a maturidade em *H4.0* é certamente mais complexa do que aquilo que o modelo descreve, pois envolve um número maior de variáveis. Por causa dessa premissa, era esperado que os diversos especialistas tivessem visões diferentes sobre a maturidade em *H4.0*, sugerindo elementos que não eram previstos no modelo inicial, mas que surgem de diferentes perspectivas que enriquecem o desenvolvimento. Surpreendentemente, a percepção entre os especialistas consultados foi muito semelhante e também muito alinhada ao modelo proposto inicialmente. A proposição de novos elementos foi apenas marginal, não comprometendo a proposta inicial.

As sugestões dos especialistas para a inserção de novos critérios foram pontuais, sendo que cada sugestão era defendida por apenas um especialista. Em geral, eram critérios derivados daqueles já existentes, que poderiam ser embutidos nos mesmos, para efeitos de concisão na avaliação. Por exemplo, *fog computing* pode ser avaliada dentro do critério computação em nuvem, pois, embora os conceitos sejam levemente diferentes, pertencem ao mesmo tronco conceitual. Outro exemplo disso aconteceu no entendimento de que a ideia de diferenciar *hard* (conhecimentos técnicos) e *soft skills* (habilidades interpessoais) já estava contemplada no critério desenvolvimento de competências. Ademais, também surgiram sugestões de critérios que não foram considerados pertinentes ao objetivo do modelo, o que poderia prejudicar sua coerência e consistência interna em caso de inclusão.

A questão de incluir ou não novos critérios derivados de critérios já existentes no modelo inicial passa pelo *tradeoff* entre detalhamento e concisão. Por um lado, o detalhamento pode ajudar a obter descrições mais claras em situações específicas. Por outro, pode comprometer a concisão, característica fundamental para encorajar a aplicação prática do modelo. O refinamento do modelo seguiu o caminho do detalhamento em casos de inserção de critérios tidos como distintos e essenciais para o modelo. Esse foi o caso da inclusão da telemedicina na dimensão tecnologia, uma ferramenta frequentemente citada quando se fala sobre *H4.0*. No entanto, o refinamento também seguiu o caminho da concisão, agrupando critérios, eliminando redundâncias e simplificando elementos do modelo que dificultariam sua aceitação e entendimento.

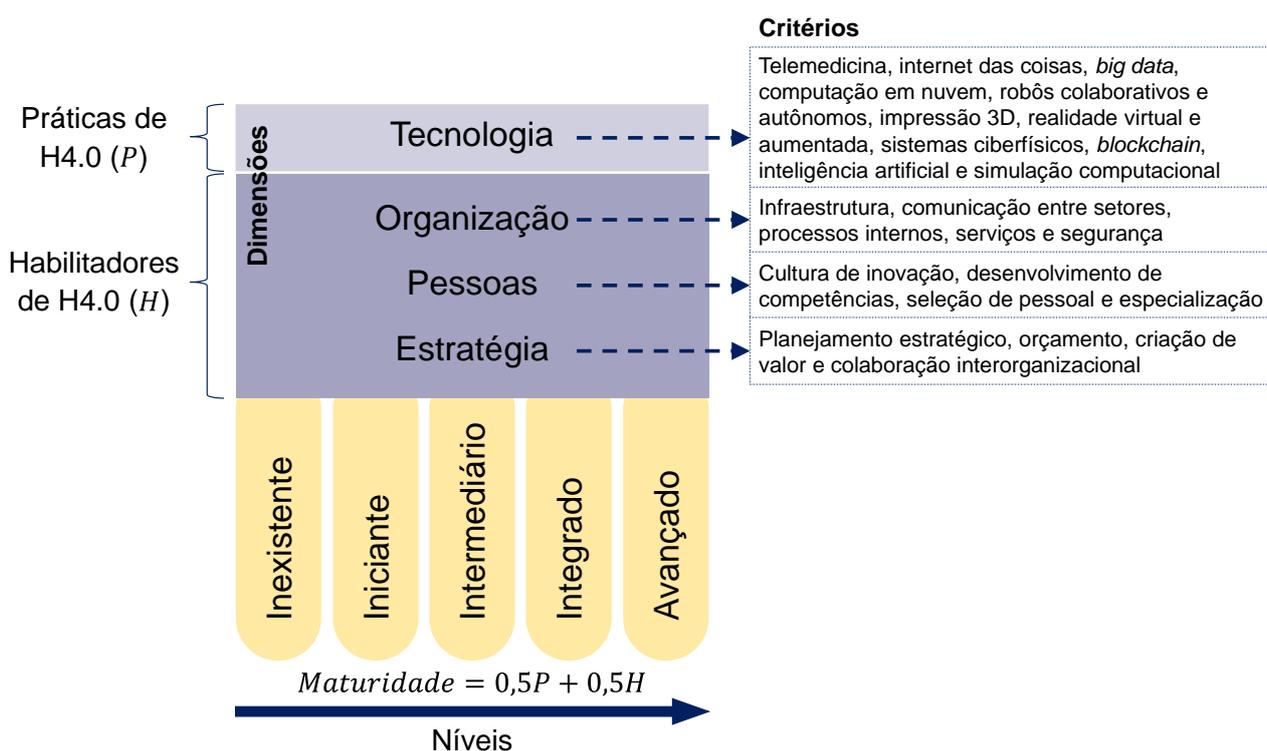
Na tentativa de tornar o modelo mais conciso, a versão final passou a ter quatro dimensões: Estratégia, Pessoas, Organização e Tecnologia (resultando na sugestiva sigla em inglês *SPOT* – *Strategy, People, Organization, Technology*). A dimensão cultura organizacional foi incorporada pelas demais, mas não suprimida. Nesse caso, foram realizadas adequações que tornam o modelo mais focado em seu propósito.

Outra mudança importante a ser destacada é que as dimensões foram divididas em duas categorias: práticas de *H4.0* e habilitadores de *H4.0*. As práticas de *H4.0* correspondem às tecnologias, afinal *H4.0* diz respeito a isso. Entretanto, somente ter um uso avançado das tecnologias 4.0 é suficiente para determinar que um hospital é referência em *H4.0*? Essa questão traz dois desdobramentos: (i) o hospital pode ter a tecnologia como um recurso proveniente de investimento, mas não tirar completo proveito dela como impulsionadora de melhoria efetiva; (ii) dificilmente o hospital tiraria proveito da tecnologia se não tivesse desenvolvido os fatores habilitadores. Assim, a maturidade em *H4.0* só estaria completa com um equilíbrio entre práticas e habilitadores. Os habilitadores funcionam como fatores de prontidão para *H4.0*, ou seja, pré-requisitos que tornam a organização preparada para adotar as tecnologias 4.0. A avaliação de prontidão tem sido abordada de forma recorrente na literatura sobre Indústria 4.0 (PIROLA; CIMINI; PINTO, 2020; PACCHINI *et al.*, 2019) e, analogamente, se aplica para *H4.0*.

Incorporando as alterações da fase de refinamento, a Figura 2 mostra a proposta final do modelo de maturidade para *H4.0*. É interessante observar nessa figura que o modelo estabelece uma pontuação final de maturidade distribuída em 50% para práticas e 50% para habilitadores. Isso atende à sugestão dos especialistas de se estabelecer uma ponderação de importância para as dimensões. Assim, a dimensão tecnologia teria um peso de 50% (considerando a natureza intrínseca ao conceito de *H4.0*) e as outras dimensões teriam um peso de um terço de 50% para cada. Obviamente, os

usuários do modelo poderão adotar outros valores de ponderação que considerem mais adequados à sua realidade, porém, em detrimento da possibilidade de comparação entre diferentes organizações. Ao adotar a proporção 50/50, assume-se o pressuposto de que deve haver equilíbrio entre habilitadores e práticas, considerando a interdependência entre as duas para garantir a maturidade em *H4.0*.

**Figura 2** – Proposta final do modelo de maturidade para *H4.0*



Outra questão levantada pelos especialistas é que nem todo hospital necessitaria de todas as tecnologias listadas. Essa é uma questão que recairia no dilema entre particularizar ou tornar genérica a avaliação. Quanto maior a possibilidade de customização, menor seria a possibilidade de comparação entre diferentes hospitais. Mesmo se os hospitais avaliados pertencessem a uma mesma categoria (hospitais públicos, privados, alta complexidade, etc.), poderiam existir variações contextuais e a mesma questão seria imposta novamente ao modelo de maturidade.

Por outro lado, se a intenção não for a comparação entre hospitais, o modelo pode ser utilizado de maneira customizada a um hospital ou a uma rede de hospitais de um mesmo grupo. Assim, o modelo teria uma estrutura aberta, como um *framework* geral no qual os usuários poderiam adicionar ou retirar critérios e estabelecer ponderações de importância que se ajustassem melhor à realidade

observada. Nesse caso, o modelo ainda cumpriria a finalidade permitir uma avaliação interna de desempenho que constituísse um diagnóstico para compor o planejamento estratégico de tecnologia do hospital.

O MM final apresenta características de modelos de maturidade para I4.0, mas considerando a opinião dos especialistas e as características distintas das operações hospitalares. A observação das características específicas dos hospitais é um aspecto não abordado por nenhum MM para I4.0 encontrado na literatura, mesmo com todo o crescimento de publicações sobre *H4.0*. A proposição de um MM para essa finalidade constitui, portanto, uma contribuição para a área.

## 7. CONCLUSÃO

O advento das tecnologias 4.0 tem impactado os diversos setores econômicos, o que também é visível nos serviços de saúde. Entretanto, estudos recentes mostram que a adoção do *H4.0* ainda é incipiente, dada a necessidade de adaptação de pessoas, investimentos e regulamentações (ĆWIKLICKI *et al.*, 2020). Considerando a necessidade de compreender como os serviços de saúde se encontram dentro desse contexto e o interesse inevitável de caminhar nessa direção, esta pesquisa teve como objetivo desenvolver um modelo de maturidade para *H4.0*, utilizando a opinião de especialistas para refiná-lo.

Pode-se afirmar que a principal contribuição teórica deste trabalho foi o desenvolvimento do modelo em si, uma vez que não foram encontrados similares voltados para operações hospitalares. O MM proposto apresentou níveis, dimensões e critérios que também permitem a avaliação de todo o sistema de forma simples e concisa, tendo sido considerado pelos especialistas um modelo fácil de ser utilizado. Por causa desse atributo, o MM proposto pode ser aplicado de forma autônoma pelos gestores dos hospitais, sem a necessidade da ajuda de facilitadores externos. Assim, a possibilidade de uso do MM como uma ferramenta de autoavaliação constitui uma relevante contribuição prática deste trabalho.

Embora traga contribuições, este trabalho também apresenta algumas limitações que podem ser oportunidades de pesquisas futuras. Por exemplo, o modelo ainda não foi aplicado na prática em nenhum hospital. Portanto, futuras pesquisas podem aplicar o MM em hospitais públicos e privados por meio de estudos de caso. A aplicação do modelo por meio de estudos de caso pode também ajudar a diferentes versões do modelo para diferentes tipos de hospital. De fato, não seria exagero afirmar que o número potencial de modelos de maturidade para *H4.0* que podem ser considerados factíveis, fáceis de usar e úteis (PLATTS, 1993) é tão grande quanto às diferentes visões acerca do tema, fato

que encontra seu paralelo com vasto número de modelos de maturidade para I4.0 que podem ser encontrados na literatura.

Pondera-se também que o número de especialistas que aceitaram participar foi reduzido a ponto de não ser suficiente para conclusões generalizadoras. Por isso, o número de especialistas pode ser ampliado em pesquisas futuras, de forma a verificar se os elementos do modelo são realmente aderentes à proposta de avaliação da maturidade em *H4.0* em operações hospitalares. A depender do número de especialistas, pode-se adotar uma abordagem metodológica diferente da que foi utilizada, constituindo um *survey* com amostra representativa e análise estatística das respostas.

Por fim, uma questão pendente deste trabalho que gera oportunidades futuras é a ponderação de importância dos critérios e das dimensões do modelo. Embora os pesos considerados na versão final do modelo tenham sido justificados, existe uma quantidade significativa de métodos disponíveis na literatura para a atribuição de ponderações de importância, grande parte deles provenientes das abordagens multicritério de apoio à decisão.

## REFERÊNCIAS

AAGAARD, Annabeth *et al.* The Role of Digital Maturity Assessment in Technology Interventions with Industrial Internet Playground. **Electronics**, v. 10, n. 10, p. 1134, 2021.

ACETO, Giuseppe; PERSICO, Valerio; PESCAPÉ, Antonio. Industry 4.0 and Health: Internet of Things, Big Data, and Cloud Computing for Healthcare 4.0. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 18, n. October 2019, p. 100129, 2020.

ACETO, Giuseppe; PERSICO, Valerio; PESCAPÉ, Antonio. *The role of Information and Communication Technologies in healthcare: taxonomies, perspectives, and challenges*. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 107, p. 125-154, 2018.

AJMERA, Puneeta; JAIN, Vineet. Modelling the barriers of Health 4.0—the fourth healthcare industrial revolution in India by TISM. **Operations Management Research**, v. 12, n. 3–4, p. 129–145, 2019.

ALLOGHANI, Mohamed *et al.* Healthcare Services Innovations Based on the State of the Art Technology Trend Industry 4.0. In: **2018 11th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE)**. IEEE, 2018. p. 64-70.

AMARAL, Afonso; PEÇAS, Paulo. A Framework for Assessing Manufacturing SMEs Industry 4.0 Maturity. **Applied Sciences**, v. 11, n. 13, p. 6127, 2021.

ANJUM, Hira Fariha *et al.* Mapping Research Trends of Blockchain Technology in Healthcare. **IEEE Access**, v. 8, p. 174244–174254, 2020.

ASDECKER, Björn; FELCH, Vanessa. Development of an Industry 4.0 maturity model for the delivery process in supply chains. **Journal of Modelling in Management**, v. 13, n. 4, p. 840–883, 2018.

- BASL, Josef; DOUCEK, Petr. A metamodel for evaluating enterprise readiness in the context of industry 4.0. **Information (Switzerland)**, v. 10, n. 3, 2019.
- BIBBY, Lee; DEHE, Benjamin. Defining and assessing industry 4.0 maturity levels—case of the defence sector. **Production Planning and Control**, v. 29, n. 12, p. 1030–1043, 2018.
- BONGOMIN, Ocident *et al.* Industry 4.0 Disruption and Its Neologisms in Major Industrial Sectors: A State of the Art. **Journal of Engineering**, v. 2020, p. 1–45, 10 out. 2020.
- BUKOWSKI, Lech. Logistics decision-making based on the maturity assessment of imperfect knowledge. **Engineering Management in Production and Services**, v. 11, n. 4, p. 65–79, 2019.
- CAIADO, Rodrigo Goyannes Gusmão *et al.* A fuzzy rule-based industry 4.0 maturity model for operations and supply chain management. **International Journal of Production Economics**, v. 231, n. July 2020, 2021.
- CAVALLONE, Mauro; PALUMBO, Rocco. *Debunking the myth of industry 4.0 in health care: insights from a systematic literature review*. **The TQM Journal**, v. 32, n. 4, p. 849-868, 2020.
- CHAKRABORTY, Samyadip *et al.* Analysis of digital technologies as antecedent to care service transparency and orchestration. **Technology in Society**, v. 65, p. 101568, 2021.
- CHAOPAISARN, Poti; WOSCHANK, Manuel. Maturity Model Assessment of SMART Logistics for SMEs. **Chiang Mai University Journal of Natural Sciences**, v. 20, n. 2, 2021.
- CHEN, Min *et al.* Edge cognitive computing based smart healthcare system. **Future Generation Computer Systems**, v. 86, p. 403–411, set. 2018.
- CHONSAWAT, Nilubon; SOPADANG, Apichat. Smart SMEs 4.0 Maturity Model to Evaluate the Readiness of SMEs Implementing Industry 4.0. **Chiang Mai University Journal of Natural Sciences**, v. 20, n. 2, p. 1–13, 2021.
- ÇINAR, Zeki Murat; ZEESHAN, Qasim; KORHAN, Orhan. A Framework for Industry 4.0 Readiness and Maturity of Smart Manufacturing Enterprises: A Case Study. **Sustainability**, v. 13, n. 12, p. 6659, 2021.
- COLLI, M. *et al.* A maturity assessment approach for conceiving context-specific roadmaps in the Industry 4.0 era. **Annual Reviews in Control**, v. 48, p. 165–177, 2019.
- COLLI, M. *et al.* Contextualizing the outcome of a maturity assessment for Industry 4.0. **IFAC-PapersOnLine**, v. 51, n. 11, p. 1347–1352, 2018.
- COVENTRY, Lynne; BRANLEY, Dawn. Cybersecurity in healthcare: A narrative review of trends, threats and ways forward. **Maturitas**, v. 113, p. 48–52, 2018.
- ĆWIKLICKI, Marek; KLICH, Jacek; CHEN, Junsong. The adaptiveness of the healthcare system to the fourth industrial revolution: A preliminary analysis. **Futures**, v. 122, 2020.
- DALENOGARE, Lucas Santos *et al.* The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. **International Journal of Production Economics**, v. 204, p. 383–394, 2018.
- DE CAROLIS, Anna *et al.* A maturity model for assessing the digital readiness of manufacturing companies. **IFIP Advances in Information and Communication Technology**, v. 513, p. 13–20, 2017.

- DEHE, Benjamin; BAMFORD, David. Quality Function Deployment and operational design decisions – a healthcare infrastructure development case study. **Production Planning & Control**, v. 28, n. 14, p. 1177–1192, 2017.
- DIMITROV, Dimiter V. Blockchain Applications for Healthcare Data Management. **Healthcare Informatics Research**, v. 25, n. 1, p. 51, 2019.
- DUTTA, Gautam *et al.* Digital transformation priorities of India’s discrete manufacturing SMEs – a conceptual study in perspective of Industry 4.0. **Competitiveness Review**, p. 289–314, 13 jan. 2020.
- ELO, Satu; KYNGÄS, Helvi. The qualitative content analysis process. **Journal of Advanced Nursing**, v. 62, n. 1, p. 107–115, 2008.
- FACCHINI, Francesco *et al.* A maturity model for logistics 4.0: An empirical analysis and a roadmap for future research. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 1, p. 1–18, 2020.
- FRANK, Alejandro Germán; DALENOGARE, Lucas Santos; AYALA, Néstor Fabián. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. **International Journal of Production Economics**, v. 210, p. 15–26, abr. 2019.
- GAJSEK, B. *et al.* Using maturity model and discrete-event simulation for industry 4.0 implementation. **International Journal of Simulation Modelling**, v. 18, n. 3, p. 488–499, 2019.
- GANZARAIN, Jaione; ERRASTI, Nekane. Three stage maturity model in SME’s toward industry 4.0. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 9, n. 5, p. 1119, 2016..
- GOY, Andre *et al.* Health and healthcare in the fourth industrial revolution. *Wef*, n. April, p. 1–45, 2019.
- GRAY, D. E. **Pesquisa no Mundo Real**. 2.ed. Porto Alegre: Editora Penso, 2012.
- GUPTA, Aditya; SINGH, Amritpal. A Comprehensive Survey on Cyber-Physical Systems Towards Healthcare 4.0. **SN Computer Science**, v. 4, n. 2, p. 199, 2023.
- GUPTA, Rajesh *et al.* Tactile internet and its applications in 5G era: A comprehensive review. **International Journal of Communication Systems**, v. 32, n. 14, 2019.
- HATHALIYA, Jigna J. *et al.* Securing electronics healthcare records in Healthcare 4.0: A biometric-based approach. **Computers and Electrical Engineering**, v. 76, p. 398–410, 2019.
- HERCEG, Iva Vuksanović *et al.* Challenges and driving forces for industry 4.0 implementation. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 10, 2020.
- HERRMANN, Maximilian *et al.* Digital Transformation and Disruption of the Health Care Sector: Internet-Based Observational Study. **Journal of Medical Internet Research**, v. 20, n. 3, p. e104, 2018.
- HOFMANN, Erik; RÜSCH, Marco. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. **Computers in Industry**, v. 89, p. 23–34, ago. 2017.
- JAYARAMAN, Prem Prakash *et al.* *Healthcare 4.0: A review of frontiers in digital health*. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery**. v. 10, n. 2, p. e1350, 2020.
- KIEL, Daniel; ARNOLD, Christian; VOIGT, Kai-Ingo. The influence of the Industrial Internet of

Things on business models of established manufacturing companies – A business level perspective. **Technovation**, v. 68, p. 4–19, 2017.

KOH, Lenny; ORZES, Guido; JIA, Fu (Jeff). The fourth industrial revolution (Industry 4.0): technologies disruption on operations and supply chain management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 39, n. 6/7/8, p. 817–828, 2019.

KUMAR, Adarsh *et al.* A Novel Smart Healthcare Design, Simulation, and Implementation Using Healthcare 4.0 Processes. **IEEE Access**, v. 8, p. 118433–118471, 2020.

LASI, Heiner *et al.* Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, v. 6, n. 4, p. 239–242, 2014.

LEEMING, Gary; CUNNINGHAM, James; AINSWORTH, John. A Ledger of Me: Personalizing Healthcare Using Blockchain Technology. **Frontiers in Medicine**, v. 6, 24 jul. 2019.

LIN, Tzu Chieh; SHENG, Margaret L.; JENG WANG, Kung. Dynamic capabilities for smart manufacturing transformation by manufacturing enterprises. **Asian Journal of Technology Innovation**, 2020.

MOURA, Luciano Raizer; KOHL, Holger. Maturity Assessment in Industry 4.0 - A Comparative Analysis of Brazilian and German Companies. **Emerging Science Journal**, v. 4, n. 5, p. 365–375, 2020.

PACCHINI, Athos Paulo Tadeu *et al.* The degree of readiness for the implementation of Industry 4.0. **Computers in Industry**, v. 113, 2019.

PEUKERT, S. *et al.* Process model for the successful implementation and demonstration of SME-based industry 4.0 showcases in global production networks. **Production Engineering**, v. 14, n. 3, p. 275–288, 2020.

PIROLA, Fabiana; CIMINI, Chiara; PINTO, Roberto. Digital readiness assessment of Italian SMEs: a case-study research. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 31, n. 5, p. 1045–1083, 2019.

PLATTS, K.W. A Process Approach to Researching Manufacturing Strategy. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 13, n. 8, p. 4–17, 1993.

RAFAEL, Lizarralde Dorronsoro *et al.* An Industry 4.0 maturity model for machine tool companies. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 159, n. March, 2020.

RAHAMADDULLA, Syed Radzi Bin *et al.* Conceptualizing Smart Manufacturing Readiness-Maturity Model for Small and Medium Enterprise (SME) in Malaysia. **Sustainability**, v. 13, n. 17, p. 9793, 2021.

RAMANATHAN, Krishnamurthy; SAMARANAYAKE, Premaratne. Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: a self-diagnostic framework and an illustrative case study. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2021.

SANTOS-NETO, João Batista Sarmiento Dos; COSTA, Ana Paula Cabral Seixas. Enterprise maturity models: a systematic literature review. **Enterprise Information Systems**, v. 13, n. 5, p. 719–769, 2019.

SCHUMACHER, Andreas; EROL, Selim; SIHN, Wilfried. A Maturity Model for Assessing

- Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. **Procedia CIRP**, v. 52, p. 161–166, 2016.
- SJÖDIN, David R. *et al.* Smart Factory Implementation and Process Innovation: A Preliminary Maturity Model for Leveraging Digitalization in Manufacturing. Moving to smart factories presents specific challenges that can be addressed through a structured approach focused on people, p. **Research Technology Management**, v. 61, n. 5, p. 22–31, 2018.
- SOUZA, Talita Ferreira De; GOMES, Carlos Francisco Simões. Assessment of Maturity in Project Management: A Bibliometric Study of Main Models. **Procedia Computer Science**, v. 55, p. 92–101, 2015.
- STAWIARSKA, Ewa *et al.* Diagnosis of the maturity level of implementing industry 4.0 solutions in selected functional areas of management of automotive companies in Poland. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 9, 2021.
- SÜTÖOVÁ, Andrea; ŠOOŠ, Ľubomír; KÓČA, Ferdinand. Learning needs determination for industry 4.0 maturity development in automotive organisations in Slovakia. **Quality Innovation Prosperity**, v. 24, n. 3, p. 122–139, 2020.
- THUEMMLER, Christoph; BAI, Chunxue (Org.). **Health 4.0: How Virtualization and Big Data are Revolutionizing Healthcare**. Cham: Springer International Publishing, 2017.
- TORTORELLA, Guilherme Luz; FOGLIATTO, Flávio Sanson; ESPÔSTO, Kleber Francisco; *et al.* Effects of contingencies on healthcare 4.0 technologies adoption and barriers in emerging economies. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 156, 2020.
- TORTORELLA, Guilherme Luz; FOGLIATTO, Flávio Sanson; MAC CAWLEY VERGARA, Alejandro; *et al.* Healthcare 4.0: trends, challenges and research directions. **Production Planning and Control**, v. 31, n. 15, p. 1245–1260, 2020.
- TORTORELLA, Guilherme Luz *et al.* Impacts of Healthcare 4.0 digital technologies on the resilience of hospitals. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 166, n. December 2020, p. 120666, 2021.
- VASCONCELOS, Luis Henrique Rigato; GOBO JUNIOR, Paulo; RODRIGUES, Fabiano. An Industry 4.0 maturity model applied to the automotive supply chain. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 21, n. 4, p. 230–258, 2021.
- VASSOLO, Roberto Santiago *et al.* Hospital Investment Decisions in Healthcare 4.0 Technologies: Scoping Review and Framework for Exploring Challenges, Trends, and Research Directions. **Journal of Medical Internet Research**, v. 23, n. 8, p. e27571, 2021.
- WAGIRE, Aniruddha Anil *et al.* Development of maturity model for assessing the implementation of Industry 4.0: learning from theory and practice. **Production Planning & Control**, v. 32, n. 8, p. 603–622, 2021.
- XU, Li Da; XU, Eric L.; LI, Ling. Industry 4.0: state of the art and future trends. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2941–2962, 2018.
- YANG, Geng *et al.* Homecare Robotic Systems for Healthcare 4.0: Visions and Enabling Technologies. **IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics**, v. 24, n. 9, p. 2535–2549, 2020.

## APÊNDICE A – CARTA DE APRESENTAÇÃO DA PESQUISADORA

João Pessoa, 31 de julho de 2022.

Prezado especialista,

Venho por meio deste documento me apresentar. Me chamo Eveliny Dias de Medeiros, aluna do Programa de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas do (PPGEPS), da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campus I - Centro de Tecnologia/CT. Estou realizando uma pesquisa intitulada “Modelo de Maturidade para *Healthcare* 4.0”, sendo orientada pelos professores Luciano Costa Santos e Cláudia Fabiana Gohr.

Dessa forma, gostaria de verificar a sua disponibilidade em participar da pesquisa, como um especialista na área, para avaliar uma “Proposta do Modelo de Maturidade para *Healthcare* 4.0”. Essa proposta foi desenvolvida tomando como base uma profunda revisão da literatura, realizada em bases de dados internacionais (ISI *Web of Knowledge* e *Scopus*) para coletar e analisar dados sobre o tema.

A proposta do modelo de avaliação é composta por 5 dimensões e 25 critérios que foram estabelecidos para cada dimensão, e são pontuadas de acordo com a escala que vai de 0 a 4 (que representam os níveis de maturidade). Essa proposta segue em anexo neste e-mail por meio de um questionário.

Queremos informar que o caráter ético desta pesquisa assegura o sigilo das informações coletadas e garante, também, a preservação da identidade e da privacidade da instituição e do profissional entrevistado.

Ainda queremos dizer-lhe que uma das metas para a realização deste estudo é o comprometimento desta pesquisadora em possibilitar, aos especialistas, um retorno dos resultados da pesquisa. Por outro lado, solicitamos-lhes, aqui, permissão para a divulgação desses resultados e suas respectivas conclusões, em forma de pesquisa, preservando sigilo e ética.

Agradecemos vossa compreensão e colaboração no processo de desenvolvimento desta futura profissional e da pesquisa científica. Colocamo-nos à vossa disposição o contato dos pesquisadores e respectivos orientadores da UFPB, conforme segue:

[eveliny.medeiros@academico.ufpb.br](mailto:eveliny.medeiros@academico.ufpb.br); [luciano@ct.ufpb.br](mailto:luciano@ct.ufpb.br); [claudiagohr@ct.ufpb.br](mailto:claudiagohr@ct.ufpb.br).

Sendo o que tínhamos para o momento, agradecemos antecipadamente.

**Eveliny Dias de Medeiros**  
*Acadêmico(a) Pesquisador(a)*

**Luciano Costa Santos**  
*Professor Orientador*

**Cláudia Fabiana Gohr**  
*Professora Coorientadora*

## APÊNDICE B (PARTE 1) – ROTEIRO DE PESQUISA COM OS ESPECIALISTAS

Aluna	Eveliny Dias de Medeiros
Título da proposta	Modelo de Maturidade para <i>Healthcare</i> 4.0
Orientador e Coorientador	Luciano Costa Santos / Cláudia Fabiana Gohr
Programa	Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas – PPGEPS/UFPB

### APRESENTAÇÃO E OPERACIONALIZAÇÃO DO MODELO DE MATURIDADE PARA *H.4.0*

O presente estudo tem como principal objetivo **desenvolver um modelo de maturidade para *Healthcare* 4.0**. O modelo proposto foi desenvolvido tomando como base as características dos modelos de maturidade para a Indústria 4.0, considerando as particularidades do *Healthcare* 4.0.

O modelo é composto por cinco dimensões (Quadro 1) (estratégia, cultura organizacional, pessoas, organização, tecnologia) e quatro níveis de maturidade (Quadro 2) (1- Iniciante; 2- Intermediário; 3- Integrado; 4- Avançado). Para avaliação de cada dimensão/critérios o pesquisador atribuiu uma avaliação com pontuação de 0 a 4. A visão geral do modelo é sustentada pelo conceito de que as dimensões do modelo se materializam pela derivação de seus critérios, ou seja, a maturidade se caracterizará a partir do grau de desenvolvimento das práticas utilizadas pela organização.

Para medir o nível de maturidade foram estabelecidos dois aspectos:

(i) Os pontos de transição entre os níveis - para ser calculado será utilizado um questionário com 25 questões, e uma escala que vai de 0 a 4, conforme Quadro 1.

(ii) O *score* total da empresa - tais aspectos precisam levar em consideração as dimensões que são avaliadas a partir dos seus critérios. Os critérios serão pontuados numa escala de 0 a 4, depois será retirado uma média por dimensão.

Por último, para saber em qual nível de maturidade que a empresa está, soma-se os pontos totais obtidos no questionário, calculando a média por dimensão. A maturidade global, será determinada a partir da média aritmética das dimensões.

Quadro B.1 – Dimensões do MM para H4.0

Dimensão	Critérios	Descrição	Níveis				
			0- Inexistente	1- Iniciante	2- Intermediário	3- Integrado	4- Avançado
Estratégia (Est)	Est 1 – Modelo de negócio	Modelo de negócio adaptado ao H4.0.	Não há um modelo de negócio voltado para o H4.0. As ações da empresa não oferecem suporte para negócios, processos, produtos e serviços habilitados digitalmente.	O modelo de negócio apresenta poucas iniciativas para o H4.0. As ações da empresa oferecem pouco suporte para negócios, processos, produtos e serviços habilitados digitalmente.	O modelo de negócio apresenta algumas iniciativas para o H4.0. As ações da empresa já oferecem suporte para negócios, processos, produtos e serviços habilitados digitalmente.	O modelo de negócio dá suporte para o H4.0. As ações da empresa/ oferecem suporte integrado para negócios, processos, produtos e serviços habilitados digitalmente.	O modelo de negócio está alinhado aos requisitos do H4.0 e constitui um padrão de ações competitivas empreendidas por uma empresa para oferecer negócios, processos, produtos e serviços habilitados digitalmente.
	Est 2 – Comprometimento do orçamento	Recursos financeiros disponíveis e necessários para a realização de um roteiro para o H4.0.	A empresa não dispõe de orçamento destinado para o H4.0.	A empresa inicia ações para disponibilizar orçamento para o H4.0.	A empresa já disponibiliza um orçamento para o H4.0.	A empresa dispõe de um orçamento voltado para o H4.0 de forma integrada.	Há empresa considera prioridade um orçamento para H4.0.
	Est 3- Governança	Está relacionada a questões contextuais interna e externas às organizações, incluindo aspectos relacionados a leis trabalhistas, de propriedade intelectual, padronização de tecnologias, definição de padrões emergentes de tecnologia, gerenciamento, análise digital e utilização de dados relacionados aos pacientes.	Não há disposição da gestão e apoio para atividades de transformação digital e aos recursos disponíveis, tampouco questões contextuais externas às empresas/organizações, incluindo aspectos relacionados à regulação, leis trabalhistas, propriedade intelectual, padronização de tecnologias, definição de padrões emergentes de tecnologia, gerenciamento, análise e utilização de dados de pacientes.	Ocorre pouco apoio para atividades de transformação digital e aos recursos disponíveis, bem como apoio às questões contextuais externas às empresas/organizações, incluindo assuntos relacionados à aspectos regulatórios, leis trabalhistas, propriedade intelectual, padronização de tecnologias, definição de padrões emergentes de tecnologia, gerenciamento, análise e utilização de dados de pacientes.	Apoio para atividades de transformação digital e aos recursos disponíveis, bem como apoio às questões contextuais externas às empresas/organizações, incluindo assuntos relacionados a regulações, leis trabalhistas, propriedade intelectual, padronização de tecnologias, definição de padrões emergentes de tecnologia, gerenciamento, análise e utilização de dados de pacientes.	Ocorre integração e apoio para atividades de transformação digital e aos recursos disponíveis, bem como apoio às questões contextuais externas às empresas/organizações, incluindo assuntos relacionados a regulação, leis trabalhistas, propriedade intelectual, padronização de tecnologias, definição de padrões emergentes de tecnologia, gerenciamento, análise e utilização de dados de pacientes.	Ocorre apoio prioritário para atividades de transformação digital e aos recursos disponíveis, bem como apoio às questões contextuais externas às empresas/organizações, incluindo assuntos relacionados à regulação, leis trabalhistas, propriedade intelectual, padronização de tecnologias, definição de padrões emergentes de tecnologia, gerenciamento, análise e utilização de dados de pacientes.

Dimensão	Critérios	Descrição	Níveis				
			0- Inexistente	1- Iniciante	2- Intermediário	3- Integrado	4- Avançado
	Est 4 – Criação de valor	Os dados de saúde gerados serão utilizados para gerar valor para as partes interessadas (i) Paciente (diagnóstico assistido e prescrição, priorização e triagem em tempo real, personalização de cuidados e medicação, análise histórica dos dados clínicos, monitoramento de gestante); (ii) Exames de imagens e diagnósticos (prevenção de falhas de diagnóstico, detecção de anormalidades, acelerar diagnósticos); (iii) Gestão e melhoria de processos, mitigação de custos e risco, gestão de insumos); (iv) pesquisa e desenvolvimento).	Os dados gerados dos pacientes não são utilizados para prestar uma melhor assistência aos pacientes e partes interessadas.	Os dados gerados dos pacientes são pouco utilizados para prestar uma melhor assistência aos pacientes e partes interessadas.	Os dados gerados dos pacientes são utilizados para prestar uma melhor assistência aos pacientes e partes interessadas, mas não de forma sistematizada.	Os dados gerados dos pacientes são utilizados de forma integrada para prestar uma melhor assistência aos pacientes e partes interessadas.	Os dados gerados dos pacientes são utilizados em tempo real para melhorar a assistência aos pacientes e partes interessadas.
Cultura Organizacional (Cult)	Cult 1 – Cultura de inovação	Abertura à inovação e colaboração entre empresas.	Não ocorre abertura à inovação e colaboração entre empresas.	Há pouca abertura à inovação e colaboração entre empresas.	Ocorre abertura à inovação e colaboração entre empresas, mas não de forma integrada	Ocorre abertura à inovação e colaboração entre empresas de forma integrada.	Ocorre abertura à inovação e colaboração entre empresas de forma avançada.

Dimensão	Critérios	Descrição	Níveis				
			0- Inexistente	1- Iniciante	2- Intermediário	3- Integrado	4- Avançado
	Cult 2 – Normas e valores	As normas, valores e comportamento que regem a organização estão vinculados a práticas de digitalização dentro e fora da organização e possuem atuação eficaz na criação de valor para pacientes, cuidadores e sustentabilidade do negócio no contexto da <i>H4.0</i> .	As normas, valores e comportamento não estão vinculados a práticas de digitalização dentro e fora da organização e não possuem atuação eficaz na criação de valor para pacientes, cuidadores e sustentabilidade do negócio no contexto da <i>H4.0</i> .	Existe pouca ligação das normas, valores e comportamento vinculados a práticas de digitalização dentro e fora da organização e pouca atuação na criação de valor para pacientes, cuidadores e sustentabilidade do negócio no contexto da <i>H4.0</i> .	Há ligação das normas, valores e comportamento vinculados a práticas de digitalização dentro e fora da organização e atuação na criação de valor para pacientes, cuidadores e sustentabilidade do negócio no contexto da <i>H4.0</i> .	Ocorre integração das normas, valores e comportamento vinculados a práticas de digitalização dentro e fora da organização e atuação na criação de valor para pacientes, cuidadores e sustentabilidade do negócio no contexto da <i>H4.0</i> .	Existe uma integração das normas, valores e comportamento vinculados a práticas de digitalização dentro e fora da organização e atuação na criação de valor para pacientes, cuidadores e sustentabilidade do negócio no contexto da <i>H4.0</i> .
	Cult 3 – Cultura de engajamento	Assegura o engajamento e aperfeiçoamento dos colaboradores com os pilares do <i>H4.0</i> .	Não há engajamento e aperfeiçoamento dos colaboradores com os pilares do <i>H4.0</i> .	Existe pouco engajamento e aperfeiçoamento dos colaboradores com os pilares do <i>H4.0</i> .	Existe engajamento e aperfeiçoamento dos colaboradores com os pilares do <i>H4.0</i> .	Ocorre engajamento e aperfeiçoamento de forma integrada dos colaboradores com os pilares do <i>H4.0</i> .	Há engajamento e aperfeiçoamento avançado dos colaboradores com os pilares do <i>H4.0</i> .
Pessoas (Pes)	Pes 1 – Desenvolvimento de competências	Assegura a competência nas atividades estruturadas com base nas tecnologias para <i>H4.0</i> .	As atividades realizadas pelos colaboradores não estão estruturadas com base nas tecnologias para o <i>H4.0</i> .	As atividades realizadas pelos colaboradores estão pouco estruturadas com base nas tecnologias para o <i>H4.0</i> .	As atividades realizadas pelos colaboradores estão estruturadas com base nas tecnologias para o <i>H4.0</i> , mas não de forma integrada.	As atividades realizadas pelos colaboradores estão estruturadas com base nas tecnologias para o <i>H4.0</i> de forma integrada.	As atividades realizadas pelos colaboradores estão estruturadas com base nas tecnologias para o <i>H4.0</i> e há constante aperfeiçoamento.
	Pes 2 – Seleção de pessoal	Estratégias para atrair e manter profissionais qualificados para o <i>H4.0</i> .	Não existem estratégias para atração e manutenção de profissionais qualificados para o <i>H4.0</i> .	Existem poucas ações para atração e manutenção de profissionais qualificados para o <i>H4.0</i> .	Existem algumas ações voltadas para atração e manutenção de profissionais qualificados para o <i>H4.0</i> .	Há estratégias para atrair e manter colaboradores qualificados para o <i>H4.0</i> .	As estratégias para atração e manutenção de colaboradores ocorre conforme com base nas tecnologias <i>H4.0</i> .
	Pes 3 - Especialização	Equipe especializada na utilização de tecnologias e Setor de Desenvolvimento de Tecnologias para <i>H4.0</i> trabalhando em conjunto.	Não há equipe especializada na utilização de tecnologias e nem Setor de Desenvolvimento de Tecnologias para <i>H4.0</i> trabalhando em conjunto.	Existem poucos colaboradores especializados em tecnologias para <i>H4.0</i> e não há o Setor de Desenvolvimento de Tecnologias para <i>H4.0</i> trabalhando em conjunto.	Existem poucos colaboradores especializados em tecnologias para <i>H4.0</i> , mas não há o Setor de Desenvolvimento de Tecnologias para <i>H4.0</i> trabalhando em conjunto.	Existem colaboradores especializados em tecnologias para <i>H4.0</i> trabalhando em conjunto.	Profissionais especializados em tecnologias para <i>H4.0</i> e o Setor de Desenvolvimento de Tecnologias para <i>H4.0</i> trabalhando em conjunto.

Dimensão	Critérios	Descrição	Níveis				
			0- Inexistente	1- Iniciante	2- Intermediário	3- Integrado	4- Avançado
Organização (Org)	Org 1 – Infraestrutura	Infraestrutura física e tecnológica suporte para tecnologias no contexto H4.0.	A organização não possui infraestrutura física e tecnológica com suporte para tecnologias no contexto H4.0.	A organização dispõe de pouca infraestrutura e tecnológica com suporte para tecnologias no contexto H4.0.	A organização possui infraestrutura física e suporte para tecnologias no contexto H4.0, mas não são utilizadas de forma integrada.	A organização possui infraestrutura física e tecnológica com suporte integrado para tecnologias no contexto H4.0.	A organização possui infraestrutura física e tecnológica com suporte avançado para tecnologias no contexto H4.0.
	Org 2 – Comunicação interdepartamental	Comunicação entre departamentos/setores.	Não ocorre comunicação de qualidade entre os departamentos/setores.	Ocorre pouca comunicação de qualidade entre os departamentos/setores.	Existe comunicação entre os departamentos/setores, mas sua qualidade precisa de melhorias	Existe comunicação qualificada entre os departamentos/setores e ocorre de forma integrada.	Ocorre comunicação de qualidade entre os departamentos/setores em tempo real, contribuindo para aprimoramento e monitoramento contínuos.
	Org 3 – Processos internos	Organização de processos e atividades.	Os processos internos não são apoiados em tecnologias H4.0. Também não são analisados como os dados são coletados, compartilhados, gerenciados e armazenados.	Os processos internos são pouco apoiados em tecnologias H4.0. Também existe pouca análise como os dados são coletados, compartilhados, gerenciados e armazenados.	Os processos internos são apoiados em tecnologias H4.0. Todavia, a análise dos dados coletados, compartilhados, gerenciados e armazenados não são integrados entre os setores.	Os processos internos são apoiados em tecnologias H4.0. A análise dos dados coletados, compartilhados, gerenciados e armazenados é realizada de maneira integrada.	A execução dos processos internos é fortemente apoiada em tecnologias da H4.0. Também são analisadas as formas como os processos internos são gerenciados a partir de uma digitalização, como os dados são coletados, compartilhados e gerenciados dentro da empresa. Contempla a descentralização, a digitalização de processos e a colaboração interdisciplinar e interdepartamental.
	Org 4 = Serviços	Tipos de serviços oferecidos.	Os serviços oferecidos não utilizam tecnologias com suporte H4.0.	Os serviços oferecidos utilizam de forma incipiente tecnologias com suporte H4.0.	Os serviços oferecidos utilizam tecnologias com suporte H4.0, mas não de forma integrada entre os setores	Os serviços oferecidos utilizam tecnologias com suporte H4.0 de forma integrada entre setores.	Os serviços oferecidos utilizam tecnologias com suporte H4.0 de forma avançada entre os setores.
	Org 5 – Segurança da informação	Sistemas seguros e proteção das informações dos pacientes e LGPD (Lei Geral de Proteção de Dados) na jornada do paciente.	Não há sistemas de cibersegurança para proteger a privacidade das informações de saúde dos indivíduos.	Há pouca utilização de cibersegurança para proteger a privacidade das informações de saúde dos indivíduos.	Ocorre utilização de cibersegurança para proteger a privacidade das informações de saúde dos indivíduos.	Utilização de cibersegurança para proteger a privacidade das informações de saúde dos indivíduos de forma integrada.	Utilização avançada de cibersegurança para proteger a privacidade das informações de saúde dos indivíduos.

Dimensão	Critérios	Descrição	Níveis				
			0- Inexistente	1- Iniciante	2- Intermediário	3- Integrado	4- Avançado
Tecnologia (Tec)	Tec 1	Utilização de Internet das Coisas (IoT)	Não há utilização da IoT para integrar o mundo real com o virtual, por meio de dispositivos que são conectados à rede e que conseguem conversar entre si.	Existe pouca utilização da IoT para integrar o mundo real com o virtual, por meio de dispositivos que são conectados à rede e que conseguem conversar entre si.	Existe utilização da Internet das Coisas IoT, todavia a integração do mundo real com o virtual, por meio de dispositivos ainda é incipiente.	Existe utilização da Internet das Coisas IoT para integrar o mundo real com o virtual, por meio de dispositivos que são conectados à rede e que conseguem conversar entre si.	A Internet das Coisas (IoT) também veio para permitir a integração entre diferentes dispositivos, pois facilita a anamnese e o tratamento dos pacientes. E dentre tantos outros e mais variados recursos, ainda podemos citar: os marcapassos, os dispositivos de monitoramento de glicose, o oxímetro, as ferramentas de armazenamento de dados e os softwares de gestão.
	Tec 2	Utilização de <i>Big data</i>	Os dados colhidos pelo sistema de um hospital ou de uma clínica não são utilizados para monitorar os pacientes e desenvolver <i>insights</i> essenciais para diagnósticos e tratamentos.	Os dados colhidos pelo sistema de um hospital ou de uma clínica são pouco utilizados para monitorar os pacientes e desenvolver <i>insights</i> essenciais para diagnósticos e tratamentos.	Os dados colhidos pelo sistema de um hospital ou de uma clínica são utilizados para monitorar os pacientes e desenvolver <i>insights</i> essenciais para diagnósticos e tratamentos, mas ainda não contribuem para melhorar a assistência à saúde e bem-estar dos pacientes.	Os dados colhidos pelo sistema de um hospital ou de uma clínica são utilizados de forma integrada para monitorar os pacientes e desenvolver <i>insights</i> essenciais para diagnósticos e tratamentos e contribuem para melhorar a assistência à saúde e bem-estar dos pacientes.	Os dados colhidos pelo sistema de um hospital ou de uma clínica são utilizados para monitorar os pacientes e aperfeiçoar diagnósticos e tratamentos e contribuem para melhorar a assistência à saúde e bem-estar dos pacientes de forma contínua.
	Tec 3	Utilização de Computação em nuvem	Não há utilização de <i>softwares</i> médicos integrados à nuvem para o acesso aos prontuários eletrônicos acessados em qualquer lugar que esteja conectado à internet, também a gestão de instalações de saúde e aprimoramento de processos; detecção, diagnóstico, previsão, prognóstico, prevenção e tratamento; imagens médicas, etc.	Pouca utilização de <i>softwares</i> médicos integrados à nuvem para o acesso aos prontuários eletrônicos acessados em qualquer lugar que esteja conectado à internet, também a gestão de instalações de saúde e aprimoramento de processos; detecção, diagnóstico, previsão, prognóstico, prevenção e tratamento; imagens médicas, etc.	Utiliza <i>softwares</i> médicos integrados à nuvem para o acesso aos prontuários eletrônicos acessados em qualquer lugar que esteja conectado à internet, também a gestão de instalações de saúde e aprimoramento de processos; detecção, diagnóstico, previsão, prognóstico, prevenção e tratamento; imagens médicas, etc.	Os <i>softwares</i> médicos permitem o acesso aos prontuários eletrônicos e o médico consegue acessá-los de qualquer lugar, desde que ele esteja conectado à internet, pois esses prontuários ficam na nuvem.	Os softwares médicos integrados à nuvem permitem o uso de prontuários eletrônicos, facilitando o atendimento nos casos de emergência, já que podem ser acessados em qualquer lugar que esteja conectado à internet, também a gestão de instalações de saúde e melhoria de processos; detecção, diagnóstico, previsão, prognóstico, prevenção e tratamento; imagens médicas, etc.

Dimensão	Critérios	Descrição	Níveis				
			0- Inexistente	1- Iniciante	2- Intermediário	3- Integrado	4- Avançado
	Tec 4	Utilização de robôs autônomos	Não há utilização de robótica avançada em todas as etapas operacionais/necessárias para realizar tarefas repetitivas e monótonas, permitindo que os profissionais de saúde possam tomar decisões mais assertivas.	Pouca utilização de robótica avançada em todas as etapas operacionais/necessárias para realizar tarefas repetitivas e monótonas, permitindo que os profissionais de saúde possam tomar decisões mais assertivas.	Utilização mediana de robótica avançada em todas as etapas operacionais/necessárias para realizar tarefas repetitivas e monótonas, permitindo que os profissionais de saúde possam tomar decisões mais assertivas.	Integração de robótica avançada em todas as etapas operacionais/necessárias para realizar tarefas repetitivas e monótonas, permitindo que os profissionais de saúde possam tomar decisões mais assertivas.	Utilização de robótica avançada em todas as etapas operacionais/necessárias para aprimoramento das tarefas repetitivas e monótonas, permitindo que os profissionais de saúde possam tomar decisões mais assertivas.
	Tec 5	Utilização de Impressão 3D	Não há utilização de impressora 3D.	Há conhecimento, mas não utilização de impressora 3D.	Há pouca utilização de da impressora 3D para cópias de objetos tridimensionais, como: implantes e próteses, entre outros.	Há utilização de da impressora 3D para cópias de objetos tridimensionais, como: implantes e próteses, entre outros.	A impressora 3D faz cópias de objetos tridimensionais, e pode ser usada para imprimir implantes e próteses, e, no futuro, muito provavelmente ela poderá ser usada para replicar células e tecidos orgânicos.
	Tec 6	Utilização de Realidade virtual (VR) e realidade aumentada	Não há utilização de VR pelos profissionais de saúde treinar procedimentos sem a necessidade de usar pacientes.	Existe conhecimento, mas não há utilização de VR pelos profissionais de saúde treinar procedimentos sem a necessidade de usar pacientes.	Há pouca utilização de VR pelos profissionais de saúde treinar procedimentos sem a necessidade de usar pacientes.	Ocorre utilização de VR pelos profissionais de saúde para treinar procedimentos sem a necessidade de usar pacientes.	Existe utilização de VR pelos profissionais de saúde para treinar procedimentos sem a necessidade de usar pacientes, além disso a VR é usada para o tratamento da dor, de fobias e da ansiedade.
	Tec 7	Utilização Sistemas ciberfísicos	Não há utilização de sistemas ciberfísicos para o domínio da saúde, aplicações concretas podem ser a conexão de redes de área corporal e sensores em produtos farmacêuticos inteligentes para plataformas de gerenciamento de doenças com circuitos de <i>feedback</i> auto regulatório ou por meio de acessórios como <i>smartphones</i> .	Existe conhecimento, mas não há utilização de sistemas ciberfísicos para o domínio da saúde, aplicações concretas podem ser a conexão de redes de área corporal e sensores em produtos farmacêuticos inteligentes para plataformas de gerenciamento de doenças com circuitos de <i>feedback</i> auto regulatório ou por meio de acessórios como <i>smartphones</i> .	Pouca utilização de sistemas ciberfísicos para o domínio da saúde, aplicações concretas podem ser a conexão de redes de área corporal e sensores em produtos farmacêuticos inteligentes para plataformas de gerenciamento de doenças com circuitos de <i>feedback</i> auto regulatório ou por meio de acessórios como <i>smartphones</i> .	Utilização de sistemas ciberfísicos para o domínio da saúde, aplicações concretas podem ser a conexão de redes de área corporal e sensores em produtos farmacêuticos inteligentes para plataformas de gerenciamento de doenças com circuitos de <i>feedback</i> auto regulatório ou por meio de acessórios como <i>smartphones</i> .	Uso de sistemas ciberfísicos para o domínio da saúde, aplicações concretas podem ser a conexão de redes de área corporal e sensores em produtos farmacêuticos inteligentes para plataformas de gerenciamento de doenças com circuitos de <i>feedback</i> auto regulatório ou por meio de acessórios como <i>smartphones</i> .

Dimensão	Critérios	Descrição	Níveis				
			0- Inexistente	1- Iniciante	2- Intermediário	3- Integrado	4- Avançado
Tec 8	Utilização de Blockchain	Não há utilização de blockchain para análises médicas independentes, gerenciamento de reclamações e cobrança, controle de contratos de serviço de saúde, entrega de saúde, rastreamento de medicamentos, rastreamento e verificação, gestão da cadeia de suprimentos de medicamentos.	Existe conhecimento, mas não utilização de blockchain para análises médicas independentes, gerenciamento de reclamações e cobrança, controle de contratos de serviço de saúde, entrega de saúde, rastreamento de medicamentos, rastreamento e verificação, gestão da cadeia de suprimentos de medicamentos.	Há pouca utilização de blockchain para análises médicas independentes, gerenciamento de reclamações e cobrança, controle de contratos de serviço de saúde, entrega de saúde, rastreamento de medicamentos, rastreamento e verificação, gestão da cadeia de suprimentos de medicamentos.	Há utilização de blockchain para análises médicas independentes, gerenciamento de reclamações e cobrança, controle de contratos de serviço de saúde, entrega de saúde, rastreamento de medicamentos, rastreamento e verificação, gestão da cadeia de suprimentos de medicamentos.	Ocorre utilização de blockchain para análises médicas independentes, gerenciamento de reclamações e cobrança, controle de contratos de serviço de saúde, entrega de saúde, rastreamento de medicamentos, rastreamento e verificação, gestão da cadeia de suprimentos de medicamentos, e ações de melhoria contínua.	
		Não há utilização de AI para detecção, diagnóstico, previsão, prognóstico, prevenção e tratamento; Educação médica, pesquisa e treinamento; Telemedicina e registro médico; Cirurgia; Imagens médicas e imagens anatômicas.	Existe conhecimento, mas não há utilização de AI para detecção, diagnóstico, previsão, prognóstico, prevenção e tratamento; Educação médica, pesquisa e treinamento; Telemedicina e registro médico; Cirurgia; Imagens médicas e imagens anatômicas.	Há pouca utilização de AI para detecção, diagnóstico, previsão, prognóstico, prevenção e tratamento; Educação médica, pesquisa e treinamento; Telemedicina e registro médico; Cirurgia; Imagens médicas e imagens anatômicas.	Ocorre utilização de AI para detecção, diagnóstico, previsão, prognóstico, prevenção e tratamento; Educação médica, pesquisa e treinamento; Telemedicina e registro médico; Cirurgia; Imagens médicas e imagens anatômicas.	Há utilização de AI para detecção, diagnóstico, previsão, prognóstico, prevenção e tratamento; Educação médica, pesquisa e treinamento; Telemedicina e registro médico; Cirurgia; Imagens médicas e imagens anatômicas.	
		Não há utilização de simulação para gestão de instalações de saúde e aprimoramento de processos.	Existe conhecimento, mas não utilização da simulação para gestão de instalações de saúde e aprimoramento de processos.	Existe pouca utilização da simulação para gestão de instalações de saúde e aprimoramento de processos, planejamento dos recursos, melhoria da eficiência da sala de emergência; Educação médica, pesquisa e treinamento; Desenvolvimento de drogas, vacinas, antibióticos, administração de drogas, agentes antimicrobianos; Detecção, diagnóstico, previsão, prognóstico, prevenção e tratamento.	Ocorre utilização da simulação para gestão de instalações de saúde e aprimoramento de processos, planejamento dos recursos, melhoria da eficiência da sala de emergência; Educação médica, pesquisa e treinamento; Desenvolvimento de drogas, vacinas, antibióticos, administração de drogas, agentes antimicrobianos; Detecção, diagnóstico, previsão, prognóstico, prevenção e tratamento.	Há utilização da simulação de forma aprimorada para gestão de instalações de saúde e melhoria dos processos, planejamento dos recursos, melhoria da eficiência da sala de emergência; Educação médica, pesquisa e treinamento; Desenvolvimento de drogas, vacinas, antibióticos, administração de drogas, agentes antimicrobianos; Detecção, diagnóstico, previsão, prognóstico, prevenção e tratamento.	

Quadro B.2- Níveis de maturidade do MM para H4.0

<b>Níveis</b>	<b>Significado</b>	<b>Escala</b>
0 – Inexistente	As organizações nesse nível desconhecem ou não apresentam nenhum grau de implementação de <i>Healthcare 4.0</i> .	0
1 – Iniciante	As organizações nesse nível apresentam um mínimo de informatização, gerenciamento do programa e ações piloto em planejamento ou em desenvolvimento para o <i>Healthcare 4.0</i> .	1
2 – Intermediário	Existe um certo grau de conectividade entre setores, processos, definição de processos e implementação de ações alinhadas ao <i>Healthcare 4.0</i> . Neste nível, as organizações apresentam um certo grau de maturidade definido, estabelecido e transparente. Estão com alguns dos conceitos do <i>H4.0</i> implantados e/ou planejando estratégias para tal.	2
3 – Integrado	Neste nível a organização já possui aplicação dos conceitos e implementação de tecnologias para <i>H4.0</i> . Apresentam digitalização completa, integração entre os setores e um alto nível de consciência dentro dos preceitos do <i>H4.0</i> . Há suporte para tomada de decisão, para compartilhamento de informações, digitalização de processos e sistemas de segurança.	3
4 – Avançado	Neste nível a organização torna-se referência na aplicação dos conceitos e implementação das tecnologias 4.0, possuindo uma sólida infraestrutura tecnológica, melhor desempenho e busca pela melhoria contínua. Os dados disponíveis permitem acessibilidade em tempo real, sendo possível utilizá-los para diagnósticos médicos e tomada de decisão. Este nível engloba a digitalização completa dos processos internos e interempresariais, juntamente com uma forte colaboração, integração de tecnologias 4.0 e habilidades de autoaprendizagem em sistemas de informação, bem como a criação de processos proativos para previsão.	4

## APÊNDICE B (PARTE 2) – AVALIAÇÃO DO MODELO DE MATURIDADE PARA H4.0

<b>AVALIAÇÃO DO MODELO DE MATURIDADE PARA HEALTHCARE 4.0</b>					
(Marque o número que melhor expressa sua resposta, de acordo com o seguinte: <b>1. Péssimo; 2. Ruim; 3. Regular; 4. Bom, 5. Muito bom</b>					
Tomando como base o modelo apresentado, gostaríamos de saber a sua opinião em relação aos seguintes critérios: FACTIBILIDADE, USABILIDADE e UTILIDADE.					
<b>ÁREA DE AVALIAÇÃO</b>					<b>OBSERVAÇÕES</b>
<b>FACTIBILIDADE</b>					
1- O modelo proposto apresenta dimensões e critérios que são aderentes às operações hospitalares? Atribua sua avaliação:					1.1 Você sugere outras dimensões e/ou critérios? Se sim, quais?
<b>1. Péssimo</b>	<b>2. Ruim</b>	<b>3. Regular</b>	<b>4. Bom</b>	<b>5. Muito bom</b>	1.2 Você sugere a retirada de algumas dimensões e/ou critérios? Se sim, quais?
					1.3 Outras sugestões:
2- Os níveis de maturidade permitem que os hospitais identifiquem em qual estágio se encontram em relação a cada dimensão? Atribua sua avaliação:					2.1 Você sugere outros níveis? Se sim, quais?
<b>1. Péssimo</b>	<b>2. Ruim</b>	<b>3. Regular</b>	<b>4. Bom</b>	<b>5. Muito bom</b>	2.2 Você sugere a retirada de algum nível? Se sim, quais?
					2.3 Outras sugestões:
3- O modelo é exequível ou precisa de adaptações? Atribua sua avaliação:					3.1 Quais adaptações você sugere?
<b>1. Péssimo</b>	<b>2. Ruim</b>	<b>3. Regular</b>	<b>4. Bom</b>	<b>5. Muito bom</b>	3.2 Outras sugestões:
<b>USABILIDADE</b>					
4- O modelo proposto é fácil de ser utilizado? Atribua sua avaliação:					4.1 Sugestões:
<b>1. Péssimo</b>	<b>2. Ruim</b>	<b>3. Regular</b>	<b>4. Bom</b>	<b>5. Muito bom</b>	
5- Os níveis estabelecidos são facilmente entendidos pelos gerentes de tecnologia hospitalar? Atribua sua avaliação:					5.1 Sugestões:
<b>1. Péssimo</b>	<b>2. Ruim</b>	<b>3. Regular</b>	<b>4. Bom</b>	<b>5. Muito bom</b>	
6- Os critérios em que as dimensões são subdivididas são facilmente entendidos pelos gerentes de tecnologia hospitalar? Atribua sua avaliação:					6.1 Sugestões:
<b>1. Péssimo</b>	<b>2. Ruim</b>	<b>3. Regular</b>	<b>4. Bom</b>	<b>5. Muito bom</b>	

<b>UTILIDADE</b>					
7. O modelo é capaz de contribuir para melhoria dos hospitais em direção ao <i>Healthcare</i> 4.0? Atribua sua avaliação:					7.1 Sugestões:
1. Péssimo	2. Ruim	3. Regular	4. Bom	5. Muito bom	
8. O modelo de maturidade proposto contribui para identificar em qual nível o hospital se encontra no contexto do <i>Healthcare</i> 4.0? Atribua sua avaliação:					8.1 Sugestões:
1. Péssimo	2. Ruim	3. Regular	4. Bom	5. Muito bom	
<b>AVALIAÇÃO GERAL DO MODELO</b>					<b>OBSERVAÇÕES</b>
9- De uma forma geral, o modelo de maturidade proposto é adequado ao que se propõe? Atribua sua avaliação:					9.1 Sugestões não mencionadas antes:
1. Péssimo	2. Ruim	3. Regular	4. Bom	5. Muito bom	
<b>Caso deseje, fique à vontade para escrever comentários gerais sobre as dimensões do modelo de maturidade para H4.0</b>					
<b>Estratégia</b>					
<b>Cultura Organizacional</b>					
<b>Pessoas</b>					
<b>Organização</b>					
<b>Tecnologia</b>					

### Artigo 3: Avaliação da maturidade em *Healthcare 4.0*: um estudo em dois hospitais públicos brasileiros

#### RESUMO

**Objetivos:** Este artigo tem como principal objetivo avaliar o nível de maturidade em *Healthcare 4.0* (H4.0) em dois hospitais públicos brasileiros, de forma a testar a aplicabilidade de um modelo de maturidade proposto para esta finalidade.

**Desenvolvimento/metodologia/abordagem:** A pesquisa foi desenvolvida por meio de estudos de caso, adotando como principal instrumento de coleta de dados a entrevista semiestruturada, que foi elaborada considerando dimensões e níveis de maturidade do modelo proposto.

**Resultados:** O Hospital 1 apresentou um nível de maturidade intermediário, enquanto o Hospital 2 apresentou um nível de maturidade iniciante. Todavia, verificou-se que os dois hospitais ainda têm muito a avançar no que tange ao *H4.0*. Os resultados dessa pesquisa corroboram com os resultados de outros estudos que afirmam que a *H4.0* é pouco difundido dentro de contextos hospitalares, tanto em economias desenvolvidas, como em economias emergentes.

**Limitações/implicações da pesquisa:** A principal limitação da pesquisa é que o número de hospitais pesquisados ainda é pequeno para uma validação mais completa do modelo proposto.

**Implicações teóricas/práticas:** O modelo que foi aplicado pode servir como roteiro para identificar o nível de maturidade em *H4.0*, identificando fatores estratégicos, gestão de pessoas, aspectos organizacionais e tecnologias, permitindo uma visão sistêmica dos hospitais em direção ao *H4.0*.

**Originalidade/valor:** O artigo mostra um primeiro esforço em avaliar a maturidade do *H4.0* em hospitais públicos brasileiros. Além disso, apresenta um modelo de maturidade em *H4.0*, algo ainda não registrado na literatura.

**Palavras-chave:** Hospitais, Modelo de maturidade; *Healthcare 4.0*.

#### 1. INTRODUÇÃO

O advento da Indústria 4.0 (I4.0) tem afetado sobremaneira os diversos tipos de negócios. Embora seu maior destaque ainda esteja na manufatura, outros setores, como as organizações de saúde, se utilizam de suas tecnologias para promover avanços significativos que visam promover níveis mais elevados de automação e interconectividade de processos, produtos, serviços e pessoas (TORTORELLA *et al.*, 2021). Assim, a quarta revolução industrial também atingiu os sistemas de saúde (BUHELDT *et al.*, 2020), sendo denominada *Healthcare 4.0* (H4.0) (BUHELDT *et al.*, 2020). O *H4.0* adota princípios e tecnologias da I4.0 em serviços de saúde (JAVOID; HALEEM, 2020; REHMAN *et al.*, 2019; KUMARI *et al.*, 2018), sendo considerado um modelo que visa oferecer serviços de saúde eficientes, incluindo segurança e privacidade no registro eletrônico dos dados e permitindo acesso remoto e em tempo real ao diagnóstico de pacientes pelos médicos e profissionais de saúde (JAYARAMAN *et al.*, 2020; HADDARA; STAABY, 2018; ANJUM *et al.*, 2020).

A adoção de tecnologias de *H4.0* tem sido particularmente relevante em operações hospitalares. No entanto, dada a natureza multidisciplinar hospitais, verifica-se que a maior parte das

pesquisas relacionadas às tecnologias *H4.0* estão focadas em análise de custos, aquisição de tecnologia única e envolvimento de um único tomador de decisão no processo de implementação do *H4.0*, negligenciando, portanto, a integração de diferentes atores no processo de decisão (VASSOLO *et al.*, 2021). Tortorella *et al.* (2020) também afirmam que em termos de implementação, o *H4.0* tem sido mais comumente encontrado nos fluxos de informação dos hospitais, principalmente os relacionados aos tratamentos de saúde. Segundo os mesmos autores, a introdução do *H4.0* implica em elevados dispêndios de capital e requer mão-de-obra mais qualificada, o que constitui barreiras para implementação das tecnologias.

É importante considerar que a adoção de tecnologias *H4.0* requer monitoramento constante, no qual são registrados progressos e estabelecidas metas de melhoria. Nesse sentido, avaliar a maturidade do *H4.0* em hospitais passa a ser uma questão estratégica relevante para essas organizações, de forma a guiar o processo de implementação do *H4.0* e de suas tecnologias. Dessa forma, um modelo de maturidade (MM) para *H4.0* desponta como uma ferramenta importante para que os serviços de saúde avaliem o quão habilitados estão para adentrarem neste contexto e possam acompanhar sua evolução depois que o processo é iniciado. Um MM pode ser compreendido como um instrumento para identificar e aferir o nível de maturidade de uma empresa em uma determinada área, ou um processo relacionado a um objetivo futuro (SCHUMACHER *et al.*, 2016), que no caso deste artigo está relacionado com a implementação do *H4.0*.

No entanto, considerando os estágios iniciais da *H4.0* nas organizações e a carência de pesquisas empíricas sobre essa temática, este artigo busca avaliar o nível de maturidade do *H4.0* em dois hospitais públicos brasileiros, de forma a testar a aplicabilidade de um modelo de maturidade proposto para esta finalidade. O modelo aplicado nos hospitais estudados foi desenvolvido com base na literatura relacionada ao tema e nas especificadas das operações hospitalares.

O desenvolvimento desse artigo é importante por algumas razões. Primeiro, de acordo com as pesquisas realizadas até o momento, este é o primeiro estudo que aborda a aplicação de um MM para *H4.0*. Além disso, Tortorella *et al.* (2020) apresentaram um estudo que mostra que as tecnologias *H4.0* apresentaram um efeito positivo e significativo no desempenho dos hospitais, todavia algumas barreiras (como desalinhamento da estratégia, pessoas não qualificadas para *H4.0*, infraestrutura tecnológica, segurança da informação, mudanças regulatórias, entre outras) podem dificultar o desempenho dos hospitais. Nesse contexto, avaliar a maturidade do *H4.0* é relevante, pois pode evitar esses problemas de forma a facilitar a introdução das novas tecnologias provenientes do *H4.0*.

Considerando que fatores contextuais são relevantes para a implementação e sucesso do *H4.0* (TORTORELLA *et al.*, 2020), estudar hospitais públicos em economias emergentes como o Brasil, que possuem recursos limitados, passa a ser de grande relevância. Além disso, embora o país disponha de um sistema único de saúde (SUS), que é referência para outros países, suas fragilidades foram

ainda mais evidenciadas com a pandemia de Covid-19, causada pelo Coronavírus SARS-CoV-2. Avaliar a maturidade em *H4.0* nesse contexto, pode revelar desafios que ainda não têm sido levados em consideração nas pesquisas atuais.

Este artigo também contribui em termos gerenciais e práticos, em especial para os hospitais analisados, pois permite identificar em qual nível de maturidade os mesmos se encontram no que diz respeito ao *H4.0*. A maturidade em *H4.0* não se limita à tecnologia, pois é possível identificar quais habilitadores se destacam em termos de estratégia, organização e pessoas. Isso estabelece um arcabouço básico de implementação que pode orientar os hospitais rumo à sua transformação digital de forma mais assertiva.

Para atender ao objetivo, este artigo está estruturado em seis seções, incluindo esta introdução. A Seção 2 fornece a fundamentação teórica com foco no conceito de maturidade em *H4.0* e apresentação do modelo que será utilizado nesta pesquisa. A Seção 3 descreve os procedimentos metodológicos para o desenvolvimento dos estudos de caso. A Seção 4 foca nos resultados da aplicação do modelo. A Seção 5 discute os resultados, e a última seção (Seção 6) apresenta as conclusões, contribuições, limitações e oportunidades de novas pesquisas.

## **2. MATURIDADE EM HEALTHCARE 4.0**

O *H4.0* adapta princípios e incorporam tecnologias da I4.0 (como sistemas ciberfísicos, computação em nuvem, internet das coisas e *big data*, entre outros) em processos, serviços, equipamentos, materiais e profissionais de saúde, possibilitando a personalização em tempo real do atendimento a pacientes (TORTORELLA *et al.*, 2021; VASSOLO *et al.*, 2021). Assim, as tecnologias da I4.0 permitiram o estabelecimento de um sistema inteligente voltado para os hospitais para monitorar, rastrear e armazenar registros de pacientes para cuidados e análises contínuos (ELHOSENY *et al.*, 2018; WU *et al.*, 2018). Além disso, a combinação dessas tecnologias para o contexto do *H4.0* ampliou o escopo das atividades do hospital, pois tais tecnologias vêm com uma proposta de valor para melhorar simultaneamente a eficiência e a qualidade do atendimento, reduzindo os custos operacionais (MATOPOULOS; MICHAILEDIDOU, 2013).

De acordo com a literatura, as tecnologias da I4.0 que mais se destacam no contexto de saúde são: Telemedicina (ACETO *et al.* 2020; CHANDRA *et al.*, 2022; CHEN *et al.*, 2020; HALEEM *et al.*, 2022; LISBOA *et al.*, 2023), Internet das Coisas (IoT) e suas categorias (*Internet of Medical Things – IoMT; Internet of Health Things – IoHT; Internet of Nano Things – IoNT; Wearable Internet of Things – WIoT; Internet of m-health Things*) (ACETO *et al.*, 2020; FLÓREZ CÁCERES *et al.*, 2020 GUPTA *et al.*, 2019; THUEMMLER; BAI, 2017; YANG *et al.*, 2021); *Big data* ( ACETO *et al.*, 2020; THUEMMLER; BAI, 2017); computação em nuvem (ACETO *et al.*, 2020; THUEMMLER; BAI, 2017); robôs autônomos (THUEMMLER; BAI, 2017); Impressão 3D,

Realidade aumentada e virtual (GUPTA *et al.*, 2019); sistemas ciberfísicos (THUEMMLER; BAI, 2017); inteligência artificial (THUEMMLER; BAI, 2017); *Blockchain* (KUMAR *et al.*, 2020; ANJUM *et al.*, 2020; DIMITROV, 2019; LEEMING *et al.*, 2019; KUMAR *et al.*, 2020); inteligência artificial (THUEMMLER; BAI, 2017); Simulação (FLÓREZ *et al.*, 2020). De uma forma geral, tais tecnologias são utilizadas para troca de informações médicas, diagnóstico, monitoramento, consulta e tratamento, gestão das instalações de saúde, otimização de processos e operações, educação médica, pesquisa e treinamento de profissionais de saúde, entre outros (ACETO *et al.*, 2020; BITAR; ALISMAIL, 2021; BONGOMIN *et al.*, 2020; CHANDRA *et al.*, 2022; CHEN *et al.*, 2020; HALEEM *et al.*, 2022; LISBOA *et al.*, 2023).

Todavia, a utilização das tecnologias *H4.0* ainda ocorre de forma isolada, desvinculadas de uma estratégia, com dificuldade de adaptação por parte das pessoas e implementação não sistêmica. Dessa forma, tendo em vista que os sistemas de saúde precisam melhorar resultados clínicos, eficiência operacional, sustentabilidade financeira e suporte a força de trabalho, os MMs podem ser um ponto de partida, pois funcionam como direcionador e/ou um caminho a ser seguido para compreender em que nível de maturidade o hospital se encontra no contexto do *H4.0*. Os MMs são ferramentas que estabelecem um roteiro para apoiar requisitos de como avaliar uma situação atual, determinar uma situação desejada e buscar possíveis caminhos para aperfeiçoamento (SCHUMACHER *et al.*, 2016). Além disso, servem para comparar o nível atual de uma organização ou processo com o nível desejado em termos de maturidade, conceituando e mensurando os mesmos (SCHUMACHER *et al.*, 2016).

Considerando que não foram encontradas pesquisas com foco em MM para o *H4.0*, foram pesquisados os modelos que têm sido propostos para a *I4.0*, de modo a formar uma base conceitual por analogia. Portanto, o Quadro 1 mostra uma visão geral da literatura sobre os MM para *I4.0*.

**Quadro 1** - Dimensões e níveis de maturidade dos modelos de *I4.0*

Autor	Setor de aplicação	Dimensões	Níveis
Ganjarain e Errasti (2016)	Sem aplicação específica em um setor econômico	Estratégia, Produtos/ serviços, Processos/ operações, segurança e tecnologia	1-5
Asdecker e Felch (2018)	Logística	Segurança e tecnologia	1-5
Bibby e Dehe (2018)	Setor de defesa	Pessoas e cultura, segurança e tecnologia	1-4
Sjödín <i>et al.</i> (2018)	Manufatura	Pessoas e cultura, processos/ operações, organização, segurança e tecnologia	1-4
Basl e Doucek (2019)	Sem aplicação específica em um setor econômico.	Pessoas e cultura, organização, segurança e tecnologia	1-7
Bukowski (2019)	Logística	Pessoas e cultura, segurança e tecnologia	1-5
Colli <i>et al.</i> (2019)	Sem aplicação específica em um setor econômico.	Governança, segurança, tecnologia e criação de valor	1-5

<b>Autor</b>	<b>Setor de aplicação</b>	<b>Dimensões</b>	<b>Níveis</b>
Gajsek <i>et al.</i> (2019)	Siderurgia	Pessoas e cultura, estratégia, produtos/serviços, processos/ operações, governança, organização, segurança e tecnologia	1-2
Pacchini <i>et al.</i> (2019)	Manufatura	Organização, segurança e tecnologia	0-3
Pirola <i>et al.</i> (2019)	Manufatura	Pessoas e cultura, estratégia, processos/ operações, segurança e tecnologia	1-5
Santos e Martinho (2019)	Manufatura	Pessoas e cultura, estratégia, produtos/serviços, processos/ operações, segurança e tecnologia	0-5
Dutta <i>et al.</i> (2020)	Manufatura	Segurança, tecnologia e criação de valor	1-5
Facchini <i>et al.</i> (2020)	Logística	Estratégia, segurança e tecnologia	1-5
Herceg <i>et al.</i> (2020)	Manufatura	Pessoas e cultura, estratégia, processos/ operações, organização, segurança e tecnologia	1-3
Lin <i>et al.</i> (2020)	Manufatura	Processos/ operações, organização, segurança e tecnologia	0-5
Moura e Kohl (2020)	Manufatura	Pessoas e cultura, estratégia, produtos/serviços, processos/ operações, organização, segurança e tecnologia	0-5
Peukert <i>et al.</i> (2020)	Logística	Pessoas e cultura, processos/ operações, segurança e tecnologia	0-4
Rafael <i>et al.</i> (2020)	Manufatura	Estratégia, produtos/serviços, processos/ operações, organização, segurança e tecnologia	0-5
Sütöová <i>et al.</i> (2020)	Manufatura	Pessoas e cultura, produtos/serviços, processos/ operações, organização, segurança e tecnologia	1-5
Agaard <i>et al.</i> (2021)	Manufatura	Pessoas e cultura, estratégia, produtos/serviços, processos/ operações, segurança e tecnologia	1-3
Amaral e Peças (2021)	Manufatura	Pessoas e cultura, estratégia, produtos/serviços, processos/ operações, segurança e tecnologia	1-3
Caiado <i>et al.</i> (2021)	Cadeia de Suprimentos	Segurança e tecnologia	1-4
Chaopaisrn e Woschank (2021)	Logística	Pessoas e cultura, estratégia, produtos/serviços, processos/ operações, segurança e tecnologia	1-5
Chonsawat e Sopadang (2021)	Manufatura	Pessoas e cultura, estratégia, processos/ operações, governança, organização, segurança e tecnologia	1-5
Çinar <i>et al.</i> (2021)	Manufatura	Pessoas e cultura, estratégia, produtos/serviços, processos/ operações, governança, organização, segurança e tecnologia	0-4
Rahamaddulla <i>et al.</i> (2021)	Manufatura	Pessoas e cultura, produtos/serviços, processos/ operações, organização, segurança e tecnologia	0-4
Ramanathan e Samaranayake (2021)	Manufatura	Estratégia, produtos/serviços, processos/ operações, organização, segurança e tecnologia	0-4
Stawiarska <i>et al.</i> , (2021)	Manufatura	Pessoas e cultura, estratégia, produtos/serviços, processos/ operações, organização, segurança, tecnologia e criação de valor	1-4
Vasconcelos <i>et. al</i> (2021)	Cadeia de suprimentos	Pessoas e cultura, estratégia, produtos/serviços, processos/ operações, organização, segurança e tecnologia	0-5
Wagire <i>et al.</i> (2021)	Manufatura	Pessoas e cultura, estratégia, processos/ operações, organização, segurança, tecnologia e criação de valor	1-4

O Quadro 1 revela duas características comuns de um MM: (i) eles possuem diferentes dimensões de avaliação; (ii) a avaliação resulta na classificação do nível de maturidade em que a organização se encontra, demonstrando que a evolução ocorre de forma gradativa. Mesmo com uma

ampla variedade de dimensões e níveis contemplados nos MM apresentados no Quadro 1, observa-se que o significado e o conteúdo das dimensões e dos níveis são coerentes entre os diferentes estudos. Outro ponto a se observar é que as diferentes dimensões de avaliação demonstram que a maturidade não se resume à tecnologia. É necessário que existam fatores externos à tecnologia que viabilizam a adoção da mesma, fatores denominados neste trabalho de “habilitadores”.

Para esta pesquisa, o MM para o *H4.0* foi proposto como uma adaptação da I4.0 ao contexto hospitalar. O modelo contempla três dimensões denominadas de habilitadoras para o *H4.0* – Estratégia, Pessoas e Organização – e a dimensão Tecnologia, que reúne as práticas de *H4.0* propriamente ditas (Quadro 2). Essas dimensões habilitadoras dizem respeito às condições ou características necessárias que individualmente e/ou coletivamente influenciam na forma de como a organização deverá funcionar para se adequar ao contexto de *H4.0*. Por sua vez, a dimensão tecnologia (práticas do *H4.0*), está relacionada às tecnologias mais utilizadas segundo a literatura no contexto de *H4.0*, tais como: telemedicina, internet das coisas (IOT), *big data*, computação em nuvem, robôs autônomos, impressão 3D, realidade virtual e aumentada, sistemas ciberfísicos, *blockchain*, inteligência artificial e simulação. Essas dimensões podem ser visualizadas no Quadro 2 a seguir.

Os habilitadores para o *H4.0* (Estratégia, Pessoas e Organização) e as práticas para o *H4.0* (Tecnologias) serão avaliadas segundo cinco níveis diferentes, considerando uma escala de 0 a 4, sendo:

- **0 – Inexistente.** Desconhece ou não apresenta nenhum grau de implementação do *H4.0*.
- **1 – Iniciante.** Possui um mínimo de informatização, gerenciamento do programa e ações piloto em planejamento ou em desenvolvimento do *H4.0*.
- **2 – Intermediário.** Há certo grau de conectividade entre setores, processos, definição de processos e implementação de ações alinhadas ao *H4.0*, havendo um certo grau de maturidade definido, estabelecido e transparente.
- **3 – Integrado.** Há aplicação dos conceitos e implementação de tecnologias para *H4.0*, como digitalização completa, integração entre os setores e um alto nível de consciência dentro dos preceitos do *H4.0*. Há suporte para tomada de decisão, para compartilhamento de informações, digitalização de processos e sistemas de segurança.
- **4 – Avançado.** Possui sólida infraestrutura tecnológica, melhor desempenho e busca pela melhoria contínua. Os dados disponíveis permitem acessibilidade em tempo real, sendo possível utilizá-los para diagnósticos médicos e tomada de decisão. Este nível engloba a digitalização completa dos processos internos e interempresariais, juntamente com uma forte colaboração, integração de tecnologias 4.0 e habilidades de autoaprendizagem em sistemas de informação, bem como a criação de processos proativos para previsão.

**Quadro 2 – Modelo de Maturidade para H 4.0 adotado na pesquisa**

Níveis	Dimensão	Critérios	Referências	
0-4	Habilitadores de H4.0	Estratégia	<b>Planejamento estratégico</b> - Envolve a estratégia corporativa (curto, médio e longo prazo) e o gerenciamento de recursos para a execução das ações e a adaptação do modelo de negócios aos requisitos do H4.0	(GANZARAIN; ERRASTI, 2016; BIBBY; DEHE, 2018; SJÖDIN <i>et al.</i> , 2018; BASL; DOUCEK, 2019; COLLI <i>et al.</i> , 2019; (GASEK <i>et al.</i> , 2019; PIROLA <i>et al.</i> , 2019; SANTOS; MARTINHO, 2019; HERCEG <i>et al.</i> , 2020; MOURA; KOHL, 2020; PEUKERT <i>et al.</i> , 2020; SÜTÖOVÁ <i>et al.</i> , 2020; AAGAARD <i>et al.</i> , 2021; AMARAL; PEÇAS, 2021; CHONSAWAT; SOPADANG, 2021; ÇINAR <i>et al.</i> , 2021; RAHAMADDULLA <i>et al.</i> , 2021; STAWIARSKA <i>et al.</i> , 2021; VASCONCELOS <i>et al.</i> , 2021; WAGIRE <i>et al.</i> , 2021; TORTORELLA <i>et al.</i> , 2020)
			<b>Orçamento</b> - Recursos financeiros disponíveis e necessários para a implementação do H4.0	
			<b>Criação de valor</b> - Os dados de saúde gerados serão utilizados para gerar valor para as partes interessadas (i) Pacientes; (ii) Exames de imagens e diagnósticos (iii) Gestão e melhoria de processos, mitigação de custos e risco, gestão de insumos; (iv) pesquisa e desenvolvimento)	
<b>Colaboração interorganizacional para inovação</b> - Abertura à inovação e colaboração entre empresas				
0-4	Pessoas	<b>Cultura de inovação</b> - Abertura à inovação e colaboração entre empresas	BIBBY; DEHE, 2018; SJÖDIN <i>et al.</i> , 2018; BASL; DOUCEK, 2019; COLLI <i>et al.</i> , 2019; GAJSEK <i>et al.</i> , 2019; PIROLA <i>et al.</i> , 2019; SANTOS; MARTINHO, 2019; HERCEG <i>et al.</i> , 2020; LIN <i>et al.</i> , 2020; MOURA; KOHL, 2020; PEUKERT <i>et al.</i> , 2020; RAFAEL <i>et al.</i> , 2020; SÜTÖOVÁ <i>et al.</i> , 2020; AAGAARD <i>et al.</i> , 2021; AMARAL; PEÇAS, 2021; CHAOPAISARN; WOSCHANK, 2021; CHONSAWAT; SOPADANG, 2021; ÇINAR <i>et al.</i> , 2021; RAHAMADDULLA <i>et al.</i> , 2021; STAWIARSKA <i>et al.</i> , 2021; VASCONCELOS <i>et al.</i> , 2021; WAGIRE <i>et al.</i> , 2021)	
		<b>Desenvolvimento de competências</b> - Assegurar as competências nas atividades com base nas tecnologias para H4.0		
		<b>Seleção de pessoal</b> - Estratégias para atrair e manter profissionais qualificados para o H4.0		
<b>Especialização</b> - Equipe especializada na utilização de tecnologias e Setor de Desenvolvimento de Tecnologias para H4.0 trabalhando em conjunto				
0-4	Organização	<b>Infraestrutura</b> - Infraestrutura física e tecnológica suporte para tecnologias no contexto H4.0	HERCEG <i>et al.</i> , 2020; RAFAEL <i>et al.</i> , 2020; SÜTÖOVÁ <i>et al.</i> , 2020; AAGAARD <i>et al.</i> , 2021; AMARAL; PEÇAS, 2021; CHONSAWAT; SOPADANG, 2021; ÇINAR <i>et al.</i> , 2021; RAHAMADDULLA <i>et al.</i> , 2021; RAMANATHAN; SAMARANAYAKE, 2021; STAWIARSKA <i>et al.</i> , 2021)	
		<b>Comunicação entre departamentos/setores</b>		
		<b>Processos internos</b> - Organização de processos e atividades		
		<b>Serviços</b> - Tipos de serviços oferecidos		
0-4	Práticas de H4.0	Tecnologia *	<b>Telemedicina</b> - A telemedicina permite realizar, por meio de ferramentas tecnológicas avançadas, atendimento, monitoramento e realização de procedimentos médicos de forma remota, sem necessitar da presença física do paciente	(ACETO <i>et al.</i> , 2020; CHANDRA <i>et al.</i> , 2022; CHEN <i>et al.</i> , 2020; HALEEM <i>et al.</i> , 2022; LISBOA <i>et al.</i> , 2023)
			<b>Internet das coisas (IoT)</b> - Integra o mundo real com o virtual por meio de dispositivos que se comunicam entre si e permitem o monitoramento de sinais vitais, de equipamentos hospitalares e administração de medicamentos. Exemplos: marcapassos inteligentes, dispositivos de monitoramento de glicose, leitos hospitalares inteligentes, dentre outros	(ACETO <i>et al.</i> 2020; WANG <i>et al.</i> , 2014) FLÓREZ <i>et al.</i> (2020) (KISHOR; CHAKRABORTY, 2021).
			<b>Big data</b> - Possibilita que o grande volume de dados gerados pode fornecer <i>insights</i> para diagnósticos e tratamentos, auxiliando na identificação de sintomas semelhantes entre indivíduos de um mesmo grupo, dentre outras finalidades. Um exemplo é o uso de prontuários eletrônicos vinculados a bancos de dados que permitem monitorar o estado dos pacientes e extrair dados para a gestão do serviço de saúde	(ACETO <i>et al.</i> , 2020, VAIDYA <i>et al.</i> , 2018)
			<b>Computação em nuvem</b> - <i>Softwares</i> médicos integrados à nuvem permitem a consulta de registros eletrônicos de saúde de qualquer ponto de atendimento, além de facilitarem o acesso à informação de apoio à gestão hospitalar. Auxilia em diversos aspectos, tais como: diagnóstico, prognóstico, prevenção, tratamento e obtenção de imagens médicas, dentre outros	ACETO <i>et al.</i> , 2018)

			<p><b>Robôs autônomos</b> – podem ser utilizados para assistência aos médicos, auxílio no processo de reabilitação e até em unidades cirúrgicas. Podem executar ou auxiliar procedimentos minimamente invasivos que diminuem a dor e o tempo de recuperação de pacientes. Os robôs são projetados para serem capazes de realizar tarefas repetitivas e monótonas, possibilitando que a equipe humana tenha mais energia para lidar com questões que exigem habilidades de tomada de decisão, criatividade e empatia</p>	(THUEMLER; BAI, 2017).
			<p><b>Impressão 3D</b>- utilizada para a produção de protótipos físicos e peças únicas. A tecnologia já é usada na impressão de implantes e próteses e, no futuro, deve ser usada para replicar células e tecidos orgânicos</p>	(KAMBLE et al.,2018)
			<p><b>Realidade Virtual (RV) e realidade aumentada (AR)</b> - são utilizadas para agregar na educação médica, contribuir para diagnóstico, prognóstico, prevenção e tratamento. É utilizada em telemedicina, na área cirúrgica para planejamento e ensaio cirúrgico; obtenção de imagens anatômicas e monitoramento em tempo real</p>	(GUPTA et al., 2019)
			<p><b>Sistemas ciberfísicos</b> - Combina elementos físicos (robôs, sensores, e dispositivos inteligentes) e virtuais (algoritmos e sistemas integrados) controlados por uma inteligência central para gerenciar operações hospitalares. Pode ser empregado para conexão de redes de área corporal, sensores em produtos farmacêuticos inteligentes, para plataformas de gerenciamento de doenças com circuitos de feedback autorregulatório, dentre outros</p>	(AJMERA; JAIN, 2019)
			<p><b>Blockchain</b> – Aplicada em quase todos os domínios em função de suas vantagens, como cripto-segurança, transparência, imutabilidade e rede de dados descentralizada. Nos sistemas de saúde essa tecnologia fornece transparência, acessibilidade fácil e rápida, segurança, eficiência, para análises médicas independentes, gerenciamento de reclamações e cobrança, controle de contratos de serviço de saúde, entrega de saúde, rastreamento de medicamentos e gestão da cadeia de suprimentos de medicamentos</p>	(KUMAR <i>et al.</i> , 2020; LEEMING <i>et al.</i> , 2019).
			<p><b>Inteligência artificial (IA)</b> - Auxilia em diversos aspectos: diagnóstico, prognóstico, prevenção e tratamento. Também contribui para educação médica, pesquisa e treinamento; telemedicina, registro médico, na área cirúrgica e obtenção de imagens anatômicas</p>	(ORGANIZATION, 2019; KISHOR; CHAKRABORTY, 2021)
			<p><b>Simulação computacional</b> - Utilizada para gestão de instalações de saúde, melhoria de processos e planejamento de recursos, de forma a testar soluções antes de implementá-las. Ainda contribui para educação médica, pesquisa e treinamento, administração de medicamentos e agentes antimicrobianos</p>	BONGOMIN et al., 2020)

\* (GANZARAIN; ERRASTI, 2016; ASDECKER; FELCH, 2018; BIBBY; DEHE, 2018; SJÖDIN *et al.*, 2018; BASL; DOUCEK, 2019; BUKOWSKI, 2019; COLLI *et al.*, 2019; GAJSEK *et al.*, 2019; PACCHINI *et al.*, 2019; PIROLA *et al.*, 2019; SANTOS; MARTINHO, 2019; DUTTA *et al.*, 2020; FACCHINI *et al.*, 2020; HERCEG *et al.*, 2020; LIN *et al.*, 2020; MOURA; KOHL, 2020; PEUKERT *et al.*, 2020; RAFAEL *et al.*, 2020; SŮTŮOVÁ *et al.*, 2020; AAGAARD *et al.*, 2021; AMARAL; PEÇAS, 2021; CAIADO *et al.*, 2021; CHAOPAISARN; WOSCHANK, 2021; CHONSAWAT; SOPADANG, 2021; ÇINAR *et al.*, 2021; RAHAMADDULLA *et al.*, 2021; RAMANATHAN; SAMARANAYAKE, 2021; STAWIARSKA *et al.*, 2021; VASCONCELOS *et al.*,2021; WAGIRE *et al.*, 2021)

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

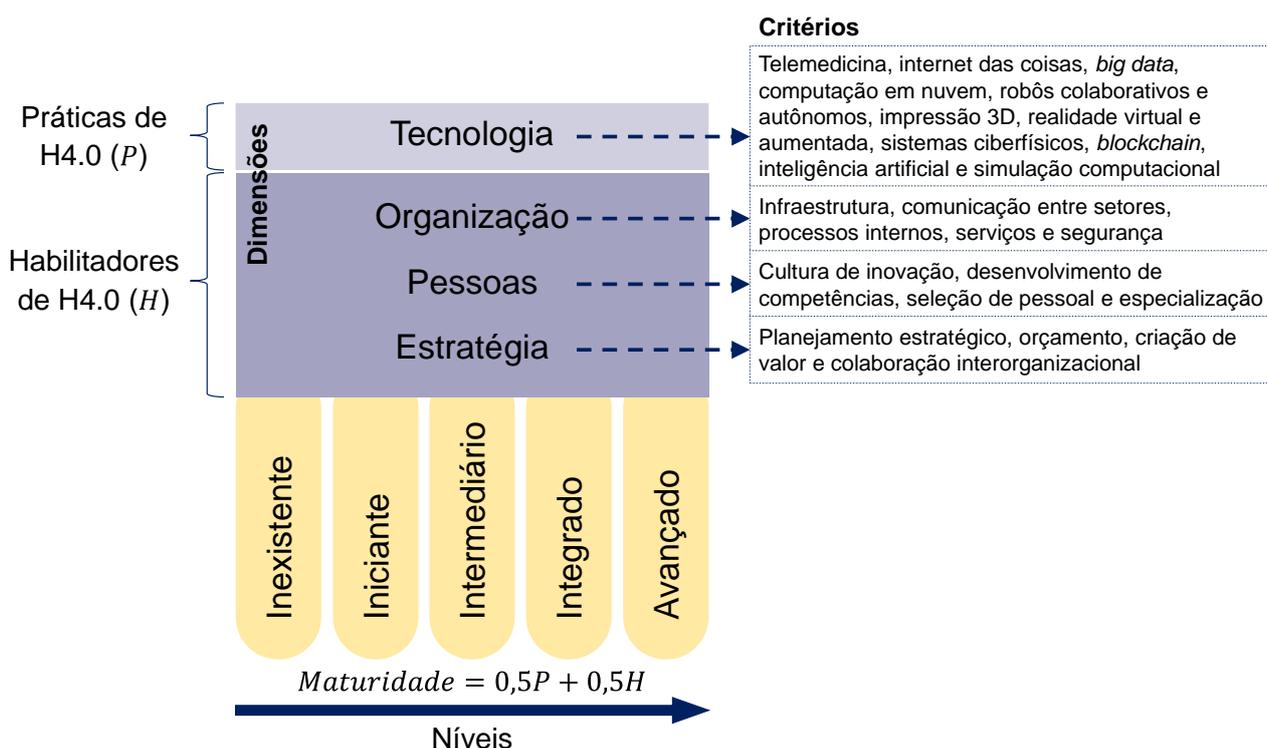
Este estudo tem como principal objetivo avaliar o nível de maturidade do *H4.0* em dois hospitais públicos por meio da aplicação de um modelo de maturidade (descrito na Seção 2). Para tanto, a pesquisa adotou o método de estudo de caso, uma vez que este permite investigar um fenômeno considerando seu contexto, ou seja, realiza uma análise sob a conjuntura real (YIN, 2001). Assim, o estudo de caso torna-se uma fonte importante para desenvolver linhas de investigação convergentes, criar um banco de dados, aumentar a confiabilidade do estudo e manter o encadeamento das evidências, permitindo que o observador externo compreenda o estudo (MARTINS, 2014).

Nesta pesquisa, o estudo de caso, foi realizado em cinco etapas, conforme sugere (CAUCHICK MIGUEL, 2007): (i) Definição da estrutura conceitual teórica, (ii) Planejamento dos casos, (iii) Coleta dos dados, (iv) Análise e síntese dos dados, e (v) Relatório final da pesquisa, descritas a seguir.

#### 3.1 Etapa 1 – Definição da estrutura conceitual teórica

Nesta etapa, primeiramente, elaborou-se o referencial conceitual teórico resultando no mapeamento da literatura sobre o assunto (CAUCHICK MIGUEL, 2007) apresentado na seção 2 do artigo, em especial, o MM para o *H4.0* que é composto por cinco níveis (0 a 4) e quatro dimensões, sendo as dimensões Estratégia, Pessoas e Organização (Habilitadores de *H4.0*) e a dimensão Tecnologia (Práticas de *H4.0*) conforme se observa na Figura 1.

Figura 1. Modelo de Maturidade para *Healthcare 4.0*



### 3.2 Etapa 2 – Planejamento dos casos

Segundo Yin (2001), a etapa seguinte está relacionada à seleção das unidades de análise e definição da quantidade de casos. Para isso, foram selecionados dois hospitais públicos do Estado da Paraíba, representados nessa pesquisa por Hospitais 1 (H1) e Hospital 2 (H2) (uma síntese das informações dos hospitais selecionados pode ser visualizada no Quadro 3). O H1 é administrado por uma empresa que administra uma rede de hospitais pelo Brasil, e o H2 é administrado por uma corporação que também possui atuação nacional. Os dois hospitais selecionados apresentam características distintas, isto é, um hospital que atende média e alta complexidade (H1) e um hospital cuja atividade principal é o atendimento ambulatorial (H2). O critério de seleção foi que os hospitais apresentassem alguma evidência de *H4.0* que pudesse tornar a avaliação possível. As diferentes características entre os hospitais pesquisados enriqueceram os dados coletados por meio de estudos de caso e melhoraram a validade externa da pesquisa (Yin, 2001).

**Quadro 3** – Características dos hospitais estudados

Características	Hospital 1	Hospital 2
Área de atuação	Média e alta complexidade	Emergências, centro cirúrgico, ambulatório, fisioterapia e odontologia
Tipo de Hospital	Público	Público
Tempo de atuação	42 anos	26 anos
Quantidade de funcionários	2.000	300
Principal especialidade	Hospital escola	Hospital ambulatorial

### 3.3 Etapa 3 – Coleta de dados

Nesta pesquisa, o principal instrumento de coleta de dados foi um roteiro de entrevista estruturado (ver Apêndice), composto por três seções. A primeira seção continha informações da pesquisadora/universidade e uma breve explicação do MM para o *H4.0* (dimensões e níveis). A segunda seção contemplou informações sobre os entrevistados e os hospitais. Por fim, a terceira continha questões para a avaliação da maturidade do hospital, construídas conforme o modelo adotado. Cada questão da terceira parte continha respostas que correspondiam à descrição de cada nível de maturidade para cada dimensão, mas sem mostrar o valor numérico do nível correspondente, de forma a não interferir na resposta julgada como mais próxima da realidade estudada.

O procedimento de aplicação de um MM começa pela identificação dos profissionais mais capacitados para avaliar cada dimensão, sendo que a avaliação pode ser individual ou em grupo. Neste trabalho, adotou-se a avaliação individual, com a pesquisadora conduzindo o processo. De acordo com o critério de competência para avaliar cada dimensão, foram escolhidos dois entrevistados com visão sistêmica das organizações: o engenheiro chefe da Engenharia Clínica do H1 e a subdiretora do H2. Pela posição que ocupavam na instituição e pela participação nos processos que levariam ao

*H4.0*, não foram necessárias entrevistas adicionais com outros colaboradores dos hospitais, já que as observações e os documentos consultados corroboravam o que as entrevistas, realizadas presencialmente, revelavam. Não obstante, para uma avaliação mais completa, recomenda-se a avaliação em grupo, envolvendo as equipes responsáveis pela melhoria das dimensões de maturidade, pois o diagnóstico alimentaria as estratégias de desenvolvimento futuro. Porém, como a avaliação de maturidade neste trabalho teve a finalidade principal de testar a aplicabilidade do modelo proposto, considerou-se que os entrevistados forneceram informações suficientes para tal propósito.

É importante ressaltar que o roteiro de entrevista era estruturado, mas as entrevistas propriamente ditas eram semiestruturadas, pois durante o processo de avaliação os entrevistados eram estimulados a falar sobre o critério que estava sendo avaliado, permitindo a gravação de toda a entrevista. Isso forneceu informações adicionais que justificavam a avaliação realizada e ajudava a ter uma visão mais ampla dos casos estudados.

### **3.4 Etapa 4 – Análise e síntese dos dados**

Após a realização das entrevistas, estas foram transcritas, sendo possível realizar a análise de conteúdo das informações obtidas. Nesse cenário, foi adotada a técnica de análise de conteúdo que consiste em um conjunto de técnicas de pesquisa cujo objetivo é a busca do sentido ou dos sentidos de um documento (CAMPOS, 2004). Assim, nesta pesquisa a análise foi feita a partir das respostas do roteiro de entrevista (Apêndice) buscando responder à questão de pesquisa, isto é, identificar em qual nível de maturidade em *H4.0* que o hospital se encontra.

As informações foram analisadas dentro e entre os casos, conforme sugere Yin (2001). Durante o processo de transcrição, confrontou-se os dados com as anotações realizadas durante as entrevistas. As informações das entrevistas foram confrontadas com as observações transcritas no roteiro de entrevista. Na análise dentro do caso, cada hospital foi analisado de acordo com a história e trajetória de implementação dos habilitadores e práticas de *H4.0*. A análise cruzada de casos permitiu sintetizar os dados, comparando as respostas a fim de identificar convergências e divergências em relação às tecnologias já adotadas, as dimensões abordadas no MM para *H4.0* e os níveis de maturidade das empresas.

Conforme descrito na seção 2 deste artigo, para avaliar o nível de maturidade em relação às dimensões (habilitadores e práticas) para *H4.0*, uma escala de maturidade de cinco níveis foi adotada (sendo 0 para inexistente e 4 para avançado). Assim, para calcular a nível de maturidade de cada hospital, após a atribuição das notas, os seguintes passos foram seguidos:

Passo 1: Para as dimensões Habilitadoras de *H4.0*, foram estabelecidos critérios que foram pontuados de 0 a 4. Em seguida, as notas foram somadas e posteriormente foi retirada uma média de cada dimensão individual e também do grupo de habilitadores.

Passo 2: Para a dimensão Práticas de *H4.0*, foram estabelecidos critérios que foram pontuados de 0 a 4. Em seguida, as notas foram somadas e posteriormente foi retirada uma média para a dimensão.

Passo 3: Após o resultado de cada conjunto de dimensões (habilitadoras e práticas), as médias foram somadas e uma nova média foi retirada, estabelecendo o nível de maturidade do hospital.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1 Hospital 1**

O H1 é um hospital de alta complexidade e desde 2015 tem adotado algumas iniciativas em direção ao *H4.0*. Todavia, nos últimos dois anos ocorreu o processo de construção do Plano Diretor Estratégico (PDE – 2021-2023), que se deu em um momento crítico do cenário global, uma vez que o mundo estava vivenciando uma pandemia provocada pelo vírus SARS-CoV-2, cuja doença (Covid-19) impulsionou mudanças significativas nos fluxos sociais, com destaque para necessidade do estabelecimento de distanciamento social. Esse fato foi decisivo para configurar o processo de elaboração do PDE, considerando os protocolos de segurança e a apreensão dos atores envolvidos em se encontrar fisicamente.

Com o PDE, os objetivos estratégicos estão relacionados a cinco pilares: sociedade, sustentabilidade, governança, processos e tecnologia, e pessoas. No que diz respeito à estratégia, o hospital tem como visão ser referência regional no ensino, pesquisa e assistência à saúde, de média e alta complexidade, garantindo excelência à sociedade com tecnologias inovadoras e seguras. Em relação ao pilar “pessoas”, o hospital busca excelência na formação de profissionais de saúde e de outras áreas do conhecimento. Quanto à organização, alguns pontos são contemplados no PDE: criação de uma gestão para pesquisa no âmbito do hospital, melhoria da infraestrutura do hospital para desenvolvimento da Pesquisa Clínica (Núcleo de Pesquisa Clínica), capacitação de profissionais para o desenvolvimento da pesquisa clínica, implantação de uma política institucional para o desenvolvimento da pesquisa no hospital.

Ao analisar as tecnologias de *H4.0*, observou-se que estas foram aplicadas, principalmente, nos setores de diagnóstico por imagem, cirurgias, educação corporativa e gestão de estoques (para compras centralizadas de EPIs – equipamentos de proteção individual, equipamentos e medicamentos). Com a implantação das tecnologias para *H4.0*, foram observadas algumas melhorias, especialmente, na integração do prontuário eletrônico, bem como sistema de gestão de estoque. No contexto da pandemia, essa melhoria foi particularmente importante pela rapidez no compartilhamento das informações que apoiou a tomada de decisão em rede, dado que o H1 é gerido por uma empresa que gerencia uma rede de hospitais pelo Brasil.

A Tabela 1 mostra os resultados da avaliação do *H4.0*, considerando as dimensões do MM conforme representado na Figura 1. A seguir, uma explicação detalhada sobre a avaliação feita neste Hospital.

**Tabela 1** – Síntese da avaliação de maturidade em *H4.0* – Hospital 1

<b>Habilitadores de <i>H4.0</i></b>		<b>Práticas de <i>H4.0</i></b>		
	<b>Critérios</b>	<b>Pontuação</b>		
<b>Estratégia</b>	Planejamento estratégico	3	<b>Tecnologia</b>	
	Orçamento	4		
	Criação de valor	2		
	Colaboração interorganizacional para inovação	4		
	$\Sigma$	13		
	<b>Média</b>	<b>3,25</b>		
<b>Pessoas</b>	<b>Critérios</b>	<b>Pontuação</b>		
	Cultura de inovação	2		
	Desenvolvimento de competências	4		
	Seleção de pessoal	0		
	Especialização	4		
	$\Sigma$	10		
	<b>Média</b>	<b>2,50</b>		
<b>Organização</b>	<b>Critérios</b>	<b>Pontuação</b>		
	Infraestrutura	4		
	Comunicação entre setores	1		
	Processos internos	2		
	Serviços	2		
	Segurança da informação	4		
	$\Sigma$	13		
	<b>Média</b>	<b>2,60</b>		
		<b>Práticas de <i>H4.0</i></b>		
		$\Sigma$	2,18	
		<b>Média</b>	<b>2,18</b>	
<b>Habilitadores de <i>H4.0</i></b>		$\Sigma$	8,35	
		<b>Média</b>	<b>2,78</b>	
<b>Nível de maturidade 2:</b>		<b>Intermediário</b>		
		$\Sigma$	4,97	
		<b>Média</b>	<b>2,48</b>	

Conforme é possível observar na Tabela 1, no que diz respeito a dimensão “**Estratégia**”, a pontuação média obtida foi 3,25, sendo a melhor pontuação apresentada por dimensão. Isto é, em relação a essa dimensão o hospital se apresenta com nível de maturidade considerado Integrado, no qual o hospital já possui um planejamento estratégico para *H4.0* e as ações do hospital são planejadas de forma integrada para oferecer suporte para processos, produtos e serviços habilitados digitalmente. Em relação ao orçamento, o Hospital 1 já possui recursos financeiros voltados para o *H4.0*, e uma diretoria específica para tecnologia. No que tange à criação de valor, os dados gerados dos pacientes são utilizados para prestar uma melhor assistência aos pacientes e partes interessadas, mas não são monitorados em tempo real em sistemas digitais, apenas contam com um prontuário eletrônico. Por sua vez, a colaboração para inovação com organizações externas é plenamente estabelecida,

viabilizando tecnologias *H4.0* e promovendo uma cultura digital que conduz à aprendizagem mútua e contínua.

A dimensão “**Pessoas**” foi avaliada com uma pontuação média de 2,50. Dessa forma, verifica-se que o Hospital 1 possui um nível de maturidade considerado Intermediário nessa dimensão, em que há uma abertura à inovação por parte da administração, mas isso ainda não é amplamente refletido nos colaboradores. Verificou-se também que o desenvolvimento de competências dos colaboradores está claramente estruturado com base nas tecnologias para *H4.0* e isso acontece de forma generalizada no hospital. Porém, no que diz respeito à atração e manutenção de profissionais qualificados para *H4.0*, tal critério foi considerado Inexistente, tendo em vista que a contratação de pessoal é feita por meio de concurso público. Todavia, dentro do hospital já existe uma equipe de colaboradores especializados em tecnologias para *H4.0*, atuando de forma integrada com o setor de desenvolvimento de tecnologias para *H4.0*.

Para a dimensão “**Organização**”, a pontuação média foi de 2,60, se apresentando com um nível de maturidade considerado Intermediário. Isso significa que hospital possui infraestrutura física e tecnológica com suporte para tecnologias *H4.0* em todos os setores, havendo comunicação eficaz entre poucos setores, mas não de modo digital. A maior parte dos processos internos são apoiados em tecnologias *H4.0*, no entanto, não há integração interdepartamental. Já em relação aos serviços oferecidos pelo hospital, estes utilizam regularmente tecnologias com suporte *H4.0*, mas não de forma integrada entre os setores, bem como utilizam sistemas integrados de cibersegurança para proteger a privacidade das informações de saúde dos indivíduos, em conformidade total com a LGPD (Lei Geral de Proteção de Dados).

A “**Tecnologia**”, que corresponde às práticas de *H4.0* dentro do MM aplicado, foi classificada em um nível de maturidade Intermediário, com pontuação média de 2,18. O Quadro 4 mostra as tecnologias que são utilizadas no hospital e a forma que são utilizadas.

De acordo com o exposto, pôde-se verificar que o Hospital 1 encontra-se no nível de maturidade Intermediário, isto é, há um certo grau de conectividade entre setores, processos, definição de processos e implementação de ações alinhadas ao *H4.0*. É interessante observar que o H1 apresenta uma pontuação levemente maior nos habilitadores de *H4.0* do que nas práticas de *H4.0*. Aparentemente, isso demonstra que, embora a maturidade global não esteja muito avançada, a prontidão para isso vem sendo formada para dar condições à implementação das práticas.

#### Quadro 4 – Tecnologias adotadas e avaliadas dentro do contexto do *H4.0* – Hospital 1

Tecnologia	Forma que são utilizadas
Telemedicina	Existe pouca utilização e se destaca nos setores de diagnóstico por imagem e cirurgia.
Internet das coisas	É conhecida, mas não aplicada
<i>Big data</i>	Existe ampla utilização, principalmente nos prontuários eletrônicos.
Computação em nuvem	Existe ampla utilização, principalmente nos prontuários eletrônicos e aplicativos de gestão da rede de hospitais.
Robôs colaborativos e autônomos	Existe ampla utilização e se destacam nos setores de cirurgia por vídeolaparoscopia.
Impressão e modelagem 3D	Existe pouca utilização em parceria com a universidade e o Projeto Prótese 3D. O projeto de extensão “Pernas e braços” permite que pacientes recebam próteses 3D, confeccionadas sob medida e de forma gratuita.
Realidade virtual e aumentada	Existe ampla utilização, a tecnologia foi adquirida, contudo está aguardando a reforma do setor para sua utilização.
Sistemas ciberfísicos	É conhecida, mas não aplicada.
<i>Blockchain</i>	Existe ampla utilização e se destaca, no setor de tecnologia da informação.
Inteligência artificial	É conhecida, mas não aplicada.
Simulação computacional	Existe pouca utilização, principalmente para educação médica, mas não é utilizada para planejamento recursos.

#### 4.2 Hospital 2

O H2 tem como principal foco o atendimento ambulatorial, e ao longo do tempo tem adotado ações em direção ao *H4.0*, iniciadas nos últimos três anos. O H2 tem como missão prestar uma assistência em saúde, de maneira acolhedora, segura e de qualidade. Como visão de futuro, procura ser reconhecido como um hospital de excelência, com qualidade, eficácia, eficiência, efetividade no gerenciamento dos serviços prestados na área da saúde.

De acordo com as informações coletadas, algumas melhorias com a implementação inicial de tecnologias *H4.0* podem ser verificadas, como atendimento ao maior número de pacientes, com otimização do tempo do profissional e do paciente, redução de custos associados ao paciente, e principalmente redução do risco e mais segurança a pacientes e profissionais (como observado na pandemia). Tais melhorias foram verificadas principalmente em função do aumento do número de consultas, o que possibilitou atender um maior número de pacientes.

No que tange à avaliação da maturidade, a Tabela 2 mostra os resultados globais e por dimensão. Em relação à dimensão “**Estratégia**”, a pontuação média obtida foi 1,50, sendo a melhor pontuação apresentada por dimensão. Mesmo sendo o melhor desempenho, a dimensão ainda não passou do nível Iniciante, dado que no planejamento estratégico do hospital não constam objetivos direcionados para o *H4.0* de forma explícita e existem poucas ações do Hospital para oferecer suporte para processos, produtos e serviços habilitados digitalmente. Em relação ao orçamento, o Hospital iniciou ações para disponibilizar orçamento para *H4.0*. Por sua vez, a criação de valor os dados gerados dos pacientes são utilizados para prestar uma melhor assistência aos pacientes e partes interessadas, mas não são monitorados em tempo real em sistemas digitais. Para a colaboração para

inovação com organizações externas, o H2 tem planejado a colaboração para fins de inovação, mas ainda não teve nenhum projeto implementado.

**Tabela 2** – Síntese da avaliação de maturidade em *H4.0* – Hospital 2

<b>Habilitadores para H4.0</b>			<b>Práticas de H4.0</b>																				
	<b>Critérios</b>	<b>Pontuação</b>		<b>Critérios</b>	<b>Pontuação</b>																		
<b>Estratégia</b>	Planejamento estratégico	2	<b>Tecnologia</b>	Telemedicina	4																		
	Orçamento	1		Internet das coisas	1																		
	Criação de valor	2		Big data	1																		
	Inovação para colaboração entre empresas	1		Computação em nuvem	1																		
	$\Sigma$	<b>6</b>		Robôs colaborativos e autônomos	1																		
<b>Média</b>	<b>1,5</b>	Impressão e modelagem 3D		1																			
<b>Pessoas</b>	Cultura de inovação	1		Realidade virtual e aumentada	2																		
	Desenvolvimento de competências	1		Sistemas ciberfísicos	1																		
	Seleção de pessoal	2		Blockchain	1																		
	Especialização	1		Inteligência artificial	1																		
	$\Sigma$	<b>5</b>		Simulação computacional	1																		
<b>Média</b>	<b>1,25</b>	$\Sigma$		<b>15</b>																			
		<b>Média</b>		<b>1,36</b>																			
<b>Organização</b>	Infraestrutura	1		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><b>Práticas de H4.0</b></th> </tr> <tr> <td></td> <td><math>\Sigma</math></td> <td>1,36</td> </tr> <tr> <td></td> <td><b>Média</b></td> <td>1,36</td> </tr> </thead> </table>			<b>Práticas de H4.0</b>				$\Sigma$	1,36		<b>Média</b>	1,36								
	<b>Práticas de H4.0</b>																						
		$\Sigma$	1,36																				
		<b>Média</b>	1,36																				
	Comunicação entre setores	1																					
Processos internos	1																						
Serviços	1																						
Segurança da informação	2																						
$\Sigma$	<b>6</b>																						
<b>Média</b>	<b>1,2</b>																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><b>Habilitadores de H4.0</b></th> </tr> <tr> <td></td> <td><math>\Sigma</math></td> <td>3,95</td> </tr> <tr> <td></td> <td><b>Média</b></td> <td>1,32</td> </tr> </thead> </table>			<b>Habilitadores de H4.0</b>				$\Sigma$	3,95		<b>Média</b>	1,32	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><b>Nível de maturidade 2: Iniciante</b></th> </tr> <tr> <td></td> <td><math>\Sigma</math></td> <td>2,68</td> </tr> <tr> <td></td> <td><b>Média</b></td> <td>1,34</td> </tr> </thead> </table>			<b>Nível de maturidade 2: Iniciante</b>				$\Sigma$	2,68		<b>Média</b>	1,34
<b>Habilitadores de H4.0</b>																							
	$\Sigma$	3,95																					
	<b>Média</b>	1,32																					
<b>Nível de maturidade 2: Iniciante</b>																							
	$\Sigma$	2,68																					
	<b>Média</b>	1,34																					

Para a dimensão “**Pessoas**”, a pontuação obtida foi 1,25, o que denota um nível de maturidade considerado Iniciante. Foi constatado que a abertura à inovação é observada de forma isolada em poucos colaboradores, existe um planejamento para o desenvolvimento de competências dos colaboradores com base nas tecnologias para *H4.0*, mas ainda não se pode esperar uma abertura à inovação por parte da administração. Em alguns setores, existem usualmente ações voltadas para atração e manutenção de profissionais qualificados para *H4.0*, sendo que, casualmente, encontram-se poucos colaboradores especializados em tecnologias para *H4.0*, mas essa competência não tinha sido considerada na contratação dos mesmos.

A dimensão “**Organização**” recebeu uma pontuação de 1,20, se apresentando com nível de maturidade considerado Iniciante. Nesse caso, verifica-se que um planejamento para o desenvolvimento de infraestrutura física e tecnológica com suporte para tecnologias *H4.0*, mas sem implementação efetiva; ocorre comunicação eficaz entre poucos setores, mas não de modo digital;

poucos processos internos do hospital são apoiados em tecnologias *H4.0*; e os serviços oferecidos pelo hospital utilizam de forma incipiente tecnologias com suporte *H4.0*. O H2 utiliza sistemas de cibersegurança para proteger a privacidade das informações de saúde dos indivíduos, porém sem integração entre os sistemas e ainda sem conformidade com a LGPD (Lei Geral de Proteção de Dados).

Para a dimensão “**Tecnologia**”, o hospital apresentou uma pontuação média de 1,36, ou seja, com nível de maturidade Iniciante. Tal resultado é proveniente da aplicação ainda incipiente das tecnologias do *H4.0*, merecendo destaque apenas a Telemedicina, uma vez que o hospital se tornou referência num caso particular, que é a Teleconsulta. Já pode ser observada também uma utilização modesta da realidade virtual e aumentada, adotada em função das parcerias com dois outros hospitais da cidade, um privado e outro filantrópico. As outras típicas tecnologias *H4.0* são conhecidas, mas não aplicadas.

Por fim, de acordo com os resultados, o Hospital 2 encontra-se em um nível de maturidade caracterizado como Iniciante, uma vez que apresenta um mínimo de informatização, gerenciamento do programa e ações piloto em planejamento ou em desenvolvimento para o *H4.0*. O nível de maturidade iniciante também foi identificado analisando de forma separada o conjunto de habilitadores de *H4.0* e a dimensão tecnologia. Esse resultado implica que tanto nos aspectos de prontidão quanto das práticas de *H4.0* há necessidade de investimentos.

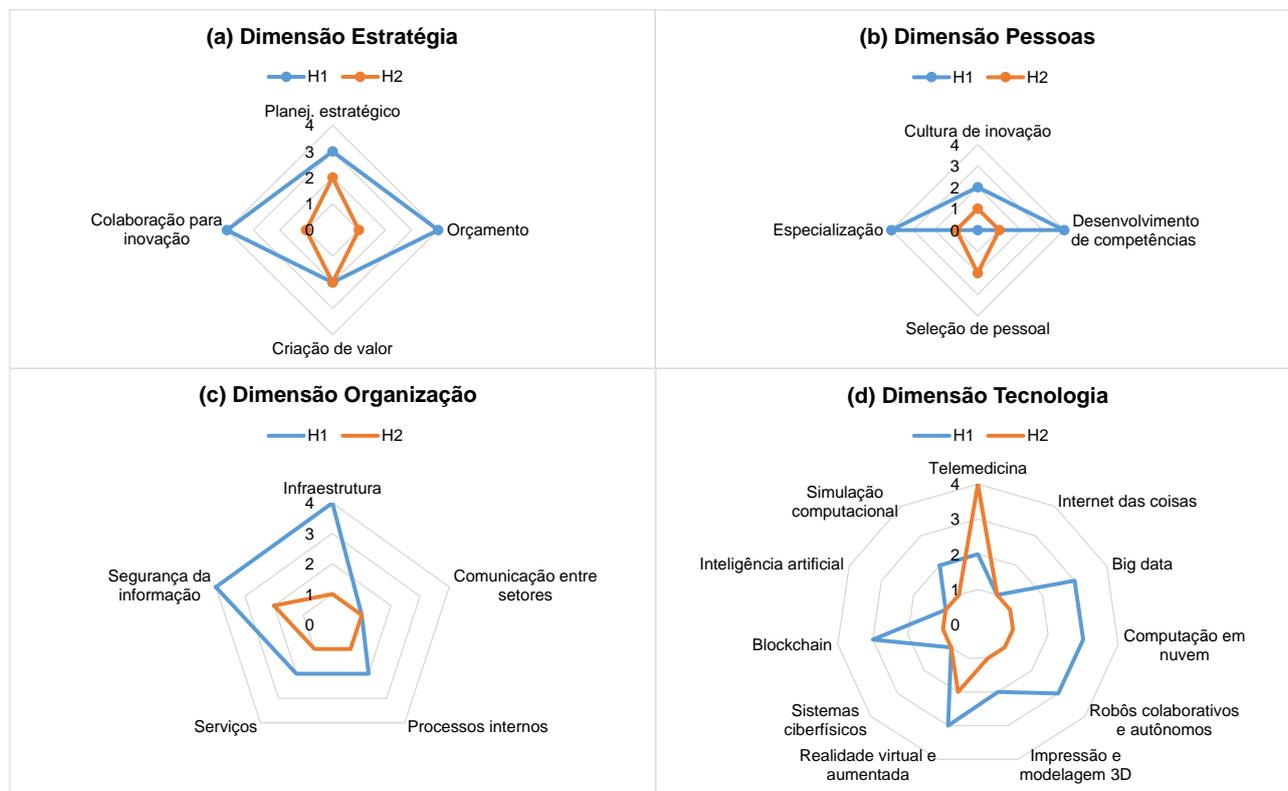
#### **4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Na Figura 2 pode ser visualizado o resultado da avaliação dos dois hospitais estudados em relação às dimensões consideradas, de forma a visualizar melhor as semelhanças e diferenças entre eles.

Conforme é possível observar na Figura 2a, sobre a dimensão “estratégia”, os dois hospitais diferem, nas quatro subdimensões/critérios. Destaca-se a questão do alinhamento com o planejamento estratégico identificado no H1, uma vez que está entre os objetivos do hospital ser referência regional no ensino, pesquisa e assistência à saúde, de média e alta complexidade, com a utilização de tecnologias inovadoras e seguras, e para isso já dispõe de recursos financeiros voltados para o *H4.0* e colaboração para fins de inovação, principalmente por meio de uma universidade pública. Quanto ao H2, a falta de um planejamento estratégico com ações voltadas para o *H4.0* dificulta sua implementação, e a adoção de medidas que direcionam para o *H4.0* são tomadas para atender problemas pontuais e não de forma sistemática. Considerando o exposto, o H1 teve as demais subdimensões da dimensão estratégia melhor avaliadas em comparação com o H2. Isso é uma consequência do direcionamento que o Planejamento Estratégico da organização teve, ou seja, o estabelecimento do caminho que o hospital vai percorrer para atingir objetivos por meio do

estabelecimento de práticas organizacionais para apoiar a execução de tarefas e apoiar processos decisórios relacionados ao *H4.0*, algo que tem sido ratificado na literatura (VASSOLO *et al.*, 2021).

**Figura 2** – Avaliação dos hospitais em relação às dimensões de maturidade



Em relação à dimensão “pessoas” (Figura 2b), os resultados dos hospitais também são discrepantes. Por exemplo, o processo de seleção do H1 é por concurso público, dessa forma, nem sempre contempla profissionais qualificados para o *H4.0*. Todavia, faz parte da política desse hospital o desenvolvimento de competências para o *H4.0*, bem como colaboradores especializados em tecnologias, atuando de forma integrada com o setor de desenvolvimento de tecnologias. Já no H2 existem algumas ações para atrair e manter profissionais habilitados em novas tecnologias, mas não há direcionamento claro para o *H4.0*. De certa forma, os resultados confirmam uma das barreiras para a implementação de tecnologias *H4.0* que é a falta de profissionais capacitados nas competências exigidas (técnicas, metodológicas, sociais e pessoais), contribuindo para a gestão e adaptação dos profissionais de saúde às mudanças tecnológicas (JOSE *et al.*, 2022). Noutro aspecto, é válido ressaltar que nem todos os profissionais de saúde precisam possuir essas habilidades. No entanto, é necessária a participação relevante de profissionais de saúde em todos os níveis, incluindo médicos, profissionais de enfermagem e outras partes interessadas, com conjuntos de habilidades adequados, para implementar com sucesso as tecnologias *H4.0* (JOSE *et al.*, 2022).

No que tange à dimensão “organização” (Figura 2c), os dois hospitais divergem. Por exemplo, o H1 já dispõe de uma infraestrutura física e tecnológica com alguns processos apoiados em tecnologias, contudo ainda não ocorre uma integração entre os setores. O H2, por sua vez, carece de infraestrutura física e tecnológica para apoiar os processos. De acordo com Tortorella *et al.* (2020), dentro das características essenciais do *H4.0* está a necessidade de soluções que envolvem altíssimos níveis de tecnologia e infraestrutura adequada, e nesse caso o H2 precisa avançar dentro dessa dimensão.

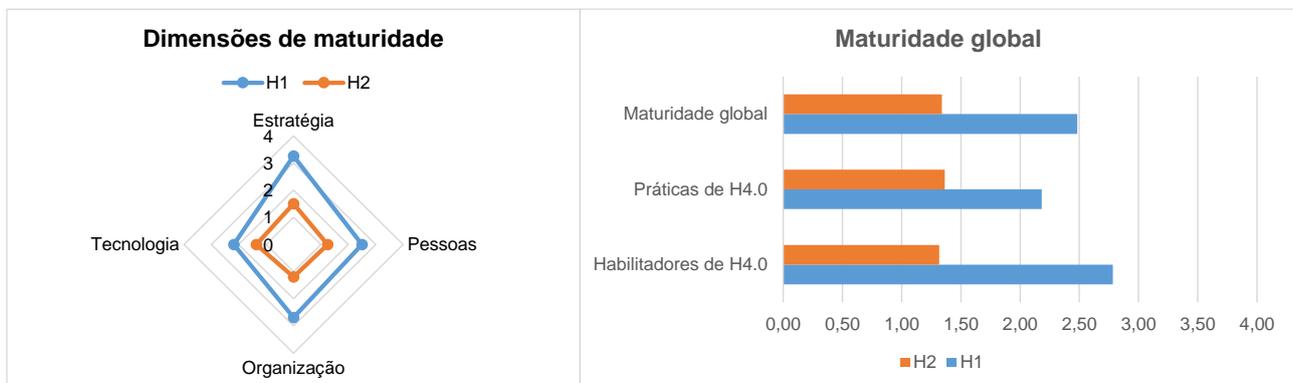
No que diz respeito à dimensão tecnologia (Figura 2d), os dois hospitais demonstram estágios de maturidade diferentes. O H1 se destaca na utilização da *big data*, computação em nuvem, realidade aumentada e virtual e *blockchain*, com alguma utilização de telemedicina, impressão 3D e simulação. Por sua vez o H2 se destaca na utilização de telemedicina, pouca utilização realidade aumentada e virtual, mas ainda inexperiente nas demais. Os resultados corroboram parcialmente com os estudos recentes que mostram que há uma forte inclinação para a adoção de tecnologias móveis de saúde e telemedicina, todavia existem lacunas visíveis para outras aplicações das tecnologias *H4.0* (TORTORELLA *et al.*, 2021; JOSE *et al.*, 2022).

Considerando outra característica muito importante do *H4.0*, que é a customização em tempo real dos cuidados de saúde para pacientes e profissionais de saúde, passando de uma organização centrada no hospital para uma organização centrada no paciente (TORTORELLA *et al.*, 2020), observou-se que tal prática também não foi constatada nos dois hospitais estudados. Além disso, a utilização e integração das informações dos diversos registros eletrônicos de saúde, trocas de informações de saúde e os dispositivos conectados a pessoas (JAYARAMAN *et al.*, 2020) também não foi observada nas organizações. Dessa forma, ações de cuidados preventivos relacionados aos pacientes ainda não constitui uma prática nos dois hospitais estudados até a aplicação do modelo. Neste aspecto, a pesquisa reforça os estudos de Mwanzaet al. (2023) que mostra que as abordagens para o uso de ferramentas digitais são fragmentadas e, portanto, incapazes de fornecer soluções holísticas de otimização para sistemas de saúde em ambientes com poucos recursos.

Por fim, a Figura 3 mostra o resultado geral das avaliações feitas nos dois hospitais estudados. Diante do exposto e dada as características dos hospitais, foi possível verificar que o H1 se encontra no nível de maturidade Intermediário, conforme demonstrado anteriormente. Todavia, foi possível identificar que mesmo com esse grau de maturidade, as ações da organização ainda estão muito centradas em aspectos internos do hospital (estoques, processos, e informações gerenciais, etc.). Observou-se que ainda não existe uma clareza em relação ao *H4.0* nesse hospital, sendo que algumas medidas que direcionam para *H4.0* foram tomadas no contexto da pandemia, sem o devido planejamento diante desse contexto emergencial. Já no H2, a ausência de um planejamento estratégico direcionado para o *H4.0* dificulta sua implementação, e a adoção de medidas que direcionam para o

*H4.0* são tomadas para atender problemas pontuais e não de forma sistêmica. Isso alerta para a necessidade de preparar o hospital para *H4.0*, garantindo a prontidão a partir da melhoria das dimensões habilitadoras.

**Figura 3** – Síntese da avaliação de maturidade nos dois hospitais



Os resultados dos dois hospitais não surpreendem em relação ao que era esperado para hospitais públicos em países em desenvolvimento. De uma forma geral, a adoção plena do *H4.0* ainda é exceção em hospitais de todo o mundo. Como mostram as pesquisas de Ćwiklicki *et al.* (2020) e Mwanza *et al.* (2023), o *H4.0* está em estágios iniciais, sendo que fatores como alinhamento estratégico, capital humano e recursos financeiros são determinantes para o seu sucesso. Além disso, a localização dos hospitais estudados ocorreu num Estado da Paraíba que possui pouca tradição em serviços de saúde de referência, o que pode ter interferido nos resultados.

Independentemente dos resultados de maturidade dos hospitais, um resultado particularmente relevante para o objetivo deste trabalho foi a constatação que o modelo de maturidade proposto para esta finalidade demonstrou plena aplicabilidade na prática. Os entrevistados entenderam seu propósito e sua forma de avaliação, além de reconhecerem a aderência à realidade pesquisada. Os resultados obtidos corresponderam de fato ao que era vivenciado pelo hospital, de modo a tornar explícita (e mensurável) uma percepção implícita. A condução da avaliação estimulou a novas aplicações do modelo, permitindo comparações e fornecendo *feedback* para a melhoria do mesmo.

## 6. CONCLUSÃO

Este artigo teve como principal objetivo avaliar o nível de maturidade do *H4.0* em dois hospitais públicos brasileiros de forma a testar a aplicabilidade de um modelo de maturidade que foi proposto com este propósito. De uma forma geral, verificou-se que os dois hospitais estudados ainda têm muito a avançar no que tange ao *H4.0*, em especial o Hospital 2, que se encontra em um nível iniciante. Os resultados dessa pesquisa corroboram com os resultados de outros estudos que afirmam que a *H4.0* é pouco difundido dentro de contextos hospitalares, tanto em economias desenvolvidas,

como em economias emergentes. Mesmo assim, o desenvolvimento desse trabalho traz algumas contribuições relevantes.

Primeiro, de acordo com a literatura consultada, este artigo mostra um primeiro esforço em avaliar a maturidade do *H4.0* em hospitais. Embora a literatura sobre *I4.0* se encontre bastante difundida no contexto industrial, poucas pesquisas têm sido realizadas em outros setores. Segundo, ao estudar hospitais públicos brasileiros, com características bem específicas e que atuam no SUS, o trabalho mostra uma relevante contribuição prática e gerencial. Ao entender como algumas tecnologias do *H4.0* foram aplicadas e as melhorias geradas, pode servir de inspiração para outros hospitais públicos que ainda não despertaram para o *H4.0*. Por outro lado, a pesquisa mostrou alguns entraves na adoção que podem estar presentes nos hospitais estudados e que podem ser priorizados a partir de agora. A terceira e principal contribuição se refere ao modelo de maturidade que foi aplicado, que pode servir como roteiro para identificar o nível de maturidade em *H4.0*, identificando fatores estratégicos, gestão de pessoas, aspectos organizacionais e tecnologias, e permitindo uma visão sistêmica dos hospitais estudados em direção ao *H4.0*.

Embora o estudo apresente contribuições, é importante considerar suas limitações. A primeira limitação diz respeito à aplicação de modelo de maturidade em apenas dois hospitais públicos. Embora os estudos de caso permitam *insights* aprofundados, os resultados não deixam de estar associados a um contexto específico de estudo, e ainda, os hospitais estudados se encontram no Estado da Paraíba, onde há pouca tradição em serviços de saúde de ponta, isso também pode ter interferido nos resultados. A percepção de aplicabilidade do modelo pode mudar quando se observar diferenças contextuais significativas. Outra limitação diz respeito ao nível de maturidade que pode ser diferente de acordo com o setor avaliado, isso também é válido em relação às dimensões.

Portanto, novas pesquisas devem ampliar o número de aplicações e buscar tipos diferentes de hospitais, de forma que isso possa trazer contribuições para a melhoria do modelo de maturidade. Em relação à coleta de dados dentro dos hospitais pesquisados neste estudo, seria interessante adicionar diferentes perspectivas de análise, buscando a participação de outros colaboradores para enriquecer e ratificar as respostas encontradas.

## REFERÊNCIAS

ACETO, Giuseppe; PERSICO, Valerio; PESCAPÉ, Antonio. Industry 4.0 and Health: Internet of Things, Big Data, and Cloud Computing for Healthcare 4.0. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 18, n. October 2019, p. 100129, 2020.

AMARAL, Afonso; PEÇAS, Paulo. A Framework for Assessing Manufacturing SMEs Industry 4.0 Maturity. **Applied Sciences**, v. 11, n. 13, p. 6127, 30 jun. 2021

BUHELDT, Beata; FRACZKIEWICZ-WRONKA, Aldona; DOBROWOLSKA, Małgorzata. The organizational aspect of human resource management as a determinant of the potential of Polish hospitals to manage medical professionals in healthcare 4.0. **Sustainability**, v. 12, n. 12, 2020.

- CAMPOS, Claudinei José Gomes. Método de análise de conteúdo: ferramenta para a análise de dados qualitativos no campo da saúde. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 57, n. 5, p. 611–614, out. 2004.
- CHANDRA, Mukesh *et al.* Digital technologies, healthcare and Covid-19: insights from developing and emerging nations. **Health and Technology**, v. 12, n. 2, p. 547–568, 2022.
- CHAOPAISARN, Poti; WOSCHANK, Manuel. Maturity Model Assessment of SMART Logistics for SMEs. **Chiang Mai University Journal of Natural Sciences**, v. 20, n. 2, 8 mar. 2021.
- CHEN, Chieh-feng *et al.* The Times they Are a-Changin' – Healthcare 4.0. **Journal of Medical Systems**, v. 44, n. 2, p. 2–5, 2020.
- CHONSAWAT, Nilubon; SOPADANG, Apichat. Smart SMEs 4.0 Maturity Model to Evaluate the Readiness of SMEs Implementing Industry 4.0. **Chiang Mai University Journal of Natural Sciences**, v. 20, n. 2, p. 1–13, 2021.
- ÇINAR, Zeki Murat; ZEESHAN, Qasim; KORHAN, Orhan. A Framework for Industry 4.0 Readiness and Maturity of Smart Manufacturing Enterprises: A Case Study. **Sustainability**, v. 13, n. 12, p. 6659, 11 jun. 2021.
- ĆWIKLICKI, Marek; KLICH, Jacek; CHEN, Junsong. The adaptiveness of the healthcare system to the fourth industrial revolution: A preliminary analysis. **Futures**, v. 122, 1 set. 2020.
- ELHOSENY, Mohamed *et al.* A hybrid model of Internet of Things and cloud computing to manage big data in health services applications. **Future Generation Computer Systems**, v. 86, p. 1383–1394, 1 set. 2018.
- HALEEM, Abid *et al.* Medical 4.0 technologies for healthcare: Features, capabilities, and applications. **Internet of Things and Cyber-Physical Systems**, v. 2, n. February, p. 12–30, 2022.
- JAYARAMAN, Prem Prakash *et al.* **Healthcare 4.0: A review of frontiers in digital health**. Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery. [S.l.]: Wiley-Blackwell. , 1 mar. 2020
- JOSE, Abey *et al.* Professional Competence and Its Effect on the Implementation of Healthcare 4.0 Technologies: Scoping Review and Future Research Directions. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 20, n. 1, p. 478, 28 dez. 2022.
- LISBOA, Kálita Oliveira *et al.* A história da telemedicina no Brasil: desafios e vantagens. **Saúde e Sociedade**, v. 32, n. 1, 2023.
- MATOPOULOS, Aristides; MICHAILIDOU, Liana. Implementing collaborative practices in the healthcare supply chain: insights into hospital-vendor operations. **International Journal of Logistics Systems and Management**, v. 15, n. 2/3, p. 288, 2013.
- MWANZA, Joseph; TELUKDARIE, Arnesh; IGUSA, Tak. Impact of industry 4.0 on healthcare systems of low- and middle- income countries: a systematic review. **Health and Technology**, v. 13, n. 1, p. 35–52, 7 jan. 2023.
- RAHAMADDULLA, Syed Radzi Bin *et al.* Conceptualizing Smart Manufacturing Readiness-Maturity Model for Small and Medium Enterprise (SME) in Malaysia. **Sustainability**, v. 13, n. 17, p. 9793, 31 ago. 2021.
- RAMANATHAN, Krishnamurthy; SAMARANAYAKE, Premaratne. Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: a self-diagnostic framework and an illustrative case study. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2021.
- STAWIARSKA, Ewa *et al.* Diagnosis of the maturity level of implementing industry 4.0 solutions

in selected functional areas of management of automotive companies in Poland. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 9, 2021.

THUEMMLER, Christoph; BAI, Chunxue (Org.). **Health 4.0: How Virtualization and Big Data are Revolutionizing Healthcare**. Cham: Springer International Publishing, 2017.

TORTORELLA, Guilherme Luz; FOGLIATTO, Flávio Sanson; ESPÔSTO, Kleber Francisco; VERGARA, Alejandro Mac Cawley; *et al.* Effects of contingencies on healthcare 4.0 technologies adoption and barriers in emerging economies. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 156, 1 jul. 2020.

TORTORELLA, Guilherme Luz; FOGLIATTO, Flávio Sanson; MAC CAWLEY VERGARA, Alejandro; *et al.* Healthcare 4.0: trends, challenges and research directions. **Production Planning and Control**, v. 31, n. 15, p. 1245–1260, 17 nov. 2020.

TORTORELLA, Guilherme Luz *et al.* Impacts of Healthcare 4.0 digital technologies on the resilience of hospitals. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 166, n. December 2020, p. 120666, maio 2021.

TORTORELLA, Guilherme Luz; FOGLIATTO, Flavio S.; ESPÔSTO, Kleber Francisco; MAC CAWLEY VERGARA, Alejandro; *et al.* Measuring the effect of Healthcare 4.0 implementation on hospitals' performance. **Production Planning and Control**, 2020.

VASCONCELOS, Luis Henrique Rigato; GOBO JUNIOR, Paulo; RODRIGUES, Fabiano. An Industry 4.0 maturity model applied to the automotive supply chain. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 21, n. 4, p. 230–258, 2021.

VASSOLO, Roberto Santiago *et al.* Hospital investment decisions in healthcare 4.0 technologies: Scoping review and framework for exploring challenges, trends, and research directions. **Journal of Medical Internet Research**, v. 23, n. 8, p. 1–22, 2021.

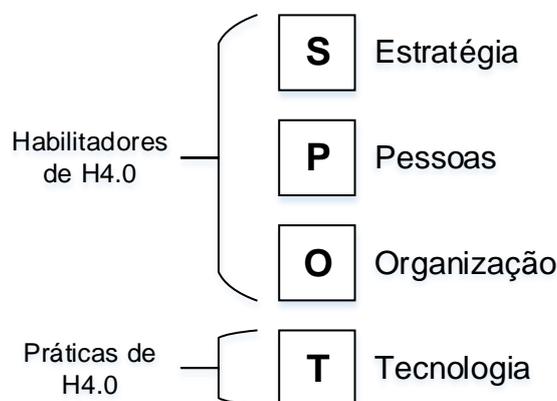
WU, Fan *et al.* A novel mutual authentication scheme with formal proof for smart healthcare systems under global mobility networks notion. **Computers & Electrical Engineering**, v. 68, p. 107–118, maio 2018.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: Planejamento e Métodos**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

## APÊNDICE – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA MATURIDADE PARA *HEALTHCARE 4.0*

Pesquisadora	Eveliny Dias de Medeiros
Título da proposta	Modelo de Maturidade para Healthcare 4.0
Orientador e Coorientadora	Luciano Costa Santos / Cláudia Fabiana Gohr
Programa	PPGEPS/ UFPB

O presente questionário faz parte de um estudo que tem como principal objetivo desenvolver um modelo de maturidade para *Healthcare 4.0 (H4.0)*. O modelo proposto foi desenvolvido tomando como base as características dos modelos de maturidade para a Indústria 4.0, considerando-se as particularidades do *H4.0*. São avaliadas quatro dimensões de maturidade, tal como mostra a figura abaixo.



Os resultados da avaliação ajudarão a identificar os níveis de maturidade do hospital analisado, conforme o quadro apresentado abaixo.

### Níveis de maturidade

Níveis	Significado
0 – Inexistente	As organizações nesse nível desconhecem ou não apresentam nenhum grau de implementação de <i>Healthcare 4.0</i> .
1 – Iniciante	As organizações nesse nível apresentam um mínimo de informatização, gerenciamento do programa e ações piloto em planejamento ou em desenvolvimento para o <i>Healthcare 4.0</i> .
2 – Intermediário	Existe um certo grau de conectividade entre setores, processos, definição de processos e implementação de ações alinhadas ao <i>Healthcare 4.0</i> . Neste nível, as organizações apresentam um certo grau de maturidade definido, estabelecido e transparente. Estão com alguns dos conceitos do <i>H4.0</i> implantados e/ou planejando estratégias para tal.
3 – Integrado	Neste nível a organização já possui aplicação dos conceitos e implementação de tecnologias para <i>H4.0</i> . Apresentam digitalização completa, integração entre os setores e um alto nível de consciência dentro dos preceitos do <i>H4.0</i> . Há suporte para tomada de decisão, para compartilhamento de informações, digitalização de processos e sistemas de segurança.
4 – Avançado	Neste nível a organização torna-se referência na aplicação dos conceitos e implementação das tecnologias 4.0, possuindo uma sólida infraestrutura tecnológica, melhor desempenho e busca pela melhoria contínua. Os dados disponíveis permitem acessibilidade em tempo real, sendo possível utilizá-los para diagnósticos médicos e tomada de decisão. Este nível engloba a digitalização completa dos processos internos e interempresariais, juntamente com uma forte colaboração, integração de tecnologias 4.0 e habilidades de autoaprendizagem em sistemas de informação, bem como a criação de processos proativos para previsão.

## 1. INFORMAÇÕES GERAIS

### 1.1 Informações respondente:

Cargo: \_\_\_\_\_

Escolaridade: \_\_\_\_\_

Tempo de atuação no hospital: \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_

Tem interesse de receber os resultados da pesquisa?

SIM ( ) NÃO ( )

### 1.2 Informações do hospital:

Área de atuação: \_\_\_\_\_

Principal especialidade: \_\_\_\_\_

Tempo de existência: \_\_\_\_\_

Quantidade de funcionários: \_\_\_\_\_

Município: \_\_\_\_\_

## 2. ESTRATÉGIA

### **2.1 A implementação de tecnologias de *Healthcare 4.0 (H4.0)* está prevista no planejamento estratégico do hospital?**

( ) Não há, no planejamento estratégico do hospital, a inclusão de estratégias para o *H4.0*.

( ) O hospital já apresenta algumas iniciativas de *H4.0* previstas no planejamento estratégico, mas ainda não oferece suporte para processos, produtos e serviços habilitados digitalmente.

( ) O *H4.0* faz parte do planejamento estratégico e poucas ações do hospital já começam a oferecer suporte para processos, produtos e serviços habilitados digitalmente.

( ) O planejamento estratégico contempla o *H4.0* e as ações do hospital são planejadas de forma integrada para oferecer suporte para processos, produtos e serviços habilitados digitalmente.

( ) O planejamento estratégico do hospital está completamente alinhado aos requisitos do *H4.0* e isso é uma prioridade estratégica. O planejamento estratégico permite constituir um padrão consolidado de ações que oferecem suporte para processos, produtos e serviços habilitados digitalmente.

**2.2 O hospital dispõe de orçamento (recursos financeiros) para a implementação de tecnologias H4.0?**

- O hospital não dispõe de orçamento destinado para H4.0.
- O hospital iniciou ações para disponibilizar orçamento para H4.0.
- O hospital já disponibiliza um orçamento para H4.0 aplicado em poucas áreas específicas.
- O hospital dispõe de um orçamento voltado para H4.0, distribuído de forma integrada entre os diferentes setores.
- O hospital dispõe de um orçamento voltado para H4.0, distribuído de forma integrada entre os diferentes setores, o qual é considerado prioritário para a organização.

**2.3 No que diz respeito à criação de valor como estratégia para o H4.0, como os dados gerados são utilizados para gerar valor para as partes interessadas?**

- Os dados gerados dos pacientes não são utilizados para prestar uma melhor assistência aos pacientes e partes interessadas.
- Os dados gerados dos pacientes são eventualmente utilizados para prestar uma melhor assistência aos pacientes e partes interessadas.
- Os dados gerados dos pacientes são utilizados para prestar uma melhor assistência aos pacientes e partes interessadas, mas não são monitorados em tempo real em sistemas digitais.
- Os dados gerados dos pacientes são utilizados em sistemas digitais para prestar uma melhor assistência aos pacientes e partes interessadas, mas sem um amplo monitoramento em tempo real.
- Os dados gerados dos pacientes são utilizados em sistemas digitais e em tempo real para melhorar a assistência aos pacientes e partes interessadas, fornecendo suporte para a tomada de decisões.

**2.4 Com a finalidade de inovação tecnológica, o hospital possui estratégias de colaboração com organizações externas (parceiros, fornecedores, empresas privadas, etc.)?**

- Não ocorre colaboração com organizações externas para fins de inovação.
- O hospital tem planejado a colaboração para fins de inovação, mas ainda não teve nenhum projeto implementado.

- ( ) Casualmente, ocorre a colaboração para inovação com organizações externas, mas em poucos projetos isolados.
- ( ) A colaboração para inovação com organizações externas ocorre usualmente no hospital, mas ainda não tem seu foco voltado para o *H4.0*.
- ( ) A colaboração para inovação com organizações externas é plenamente estabelecida no hospital, viabilizando tecnologias *H4.0* e promovendo uma cultura digital que conduz à aprendizagem mútua e contínua.

### **3. PESSOAS**

#### **3.1 É observada uma cultura de inovação estabelecida entre os colaboradores do hospital?**

- ( ) Não é observada uma abertura à inovação por parte dos colaboradores.
- ( ) A abertura à inovação é observada de forma isolada em poucos colaboradores.
- ( ) Observa-se uma abertura à inovação por parte da administração, mas isso ainda não é amplamente refletido nos colaboradores.
- ( ) O hospital é claramente aberto à inovação e isso se reflete nos colaboradores.
- ( ) O hospital é uma referência em inovação e sua cultura de inovação o torna conhecido por isso.

#### **3.2 O hospital assegura aos seus colaboradores o desenvolvimento de competências com base nas tecnologias para *H4.0*?**

- ( ) O desenvolvimento de competências dos colaboradores nunca foi estruturado com base nas tecnologias para *H4.0*.
- ( ) Existe um planejamento para o desenvolvimento de competências dos colaboradores com base nas tecnologias para *H4.0*, mas ainda não foi implementado.
- ( ) O desenvolvimento de competências de poucos colaboradores está estruturado com base nas tecnologias para *H4.0*, que aconteceu em função da aquisição de novos equipamentos.
- ( ) O desenvolvimento de competências dos colaboradores está claramente estruturado com base nas tecnologias para *H4.0*, mas somente em alguns setores específicos.

O desenvolvimento de competências dos colaboradores está claramente estruturado com base nas tecnologias para *H4.0* e isso acontece de forma generalizada no hospital.

**3.3 Na seleção de pessoal, o hospital utiliza estratégias para atrair e manter profissionais qualificados para *H4.0*?**

Não existem estratégias para atração e manutenção de profissionais qualificados para *H4.0*.

Não é comum, mas existem ações isoladas para atração e manutenção de profissionais qualificados para *H4.0*.

Em alguns setores, existem usualmente ações voltadas para atração e manutenção de profissionais qualificados para *H4.0*.

Em todos os setores, existem estratégias para atrair e manter colaboradores qualificados para *H4.0*.

A qualificação em *H4.0* é um pré-requisito indispensável para atração e manutenção de colaboradores em todos os setores.

**3.4 O hospital possui equipe especializada na utilização de tecnologias para *H4.0*?**

Não há equipe especializada na utilização de tecnologias para *H4.0*.

Casualmente, encontram-se poucos colaboradores especializados em tecnologias para *H4.0*, mas essa competência não tinha sido considerada na contratação dos mesmos.

Existem poucos colaboradores especializados em tecnologias para *H4.0*, que foram contratados em função dessa competência.

Existe uma equipe consolidada de colaboradores especializados em tecnologias para *H4.0*, mas não existe um setor dedicado ao desenvolvimento de tecnologias para *H4.0*.

Existe uma equipe de colaboradores especializados em tecnologias para *H4.0* atuando de forma integrada com o setor de desenvolvimento de tecnologias para *H4.0*.

## **4. ORGANIZAÇÃO**

### **4.1 O hospital possui infraestrutura física e tecnológica de suporte para tecnologias H4.0?**

- O hospital não possui infraestrutura física e tecnológica com suporte para tecnologias H4.0.
- Existe um planejamento para o desenvolvimento de infraestrutura física e tecnológica com suporte para tecnologias H4.0.
- O hospital dispõe de mínima infraestrutura física e tecnológica com suporte para tecnologias H4.0.
- O hospital possui infraestrutura física e tecnológica com suporte para tecnologias H4.0, porém em apenas alguns setores.
- O hospital possui infraestrutura física e tecnológica com suporte para tecnologias H4.0 em todos os setores.

### **4.2 No hospital ocorre comunicação eficaz e em tempo real entre os setores, contribuindo para aprimoramento e monitoramento contínuos do H4.0?**

- Não existe comunicação eficaz entre os setores.
- Ocorre comunicação eficaz entre poucos setores, mas não de modo digital.
- Ocorre comunicação eficaz e digital entre todos os setores, mas não em tempo real.
- Ocorre comunicação eficaz, digital e em tempo real entre todos os setores.
- Ocorre comunicação integrada e de alta eficácia entre todos os setores, digital e em tempo real, contribuindo fundamentalmente para aprimoramento e monitoramento contínuos do H4.0.

### **4.3 Os processos internos do hospital são apoiados em tecnologias H4.0, contemplando a descentralização, a digitalização de processos e a colaboração interdepartamental?**

- Os processos internos do hospital não são apoiados em tecnologias H4.0.
- Poucos processos internos do hospital são apoiados em tecnologias H4.0.
- A maior parte dos processos internos do hospital são apoiados em tecnologias H4.0, no entanto, não há integração interdepartamental.

Todos os processos internos do hospital são apoiados em tecnologias *H4.0*, com pouca ou nenhuma integração interdepartamental.

Todos os processos internos do hospital são apoiados em tecnologias *H4.0*, de maneira integrada entre os setores, contemplando a descentralização, a digitalização de processos e a colaboração interdepartamental.

#### **4.4 Os serviços oferecidos pelo hospital utilizam tecnologias com suporte *H4.0*?**

Os serviços oferecidos pelo hospital não utilizam tecnologias com suporte *H4.0*.

Os serviços oferecidos pelo hospital utilizam de forma incipiente tecnologias com suporte *H4.0*.

Os serviços oferecidos pelo hospital utilizam regularmente tecnologias com suporte *H4.0*, mas não de forma integrada entre os setores.

Os serviços oferecidos pelo hospital utilizam tecnologias com suporte *H4.0* de forma integrada entre setores.

Os serviços oferecidos pelo hospital utilizam tecnologias com suporte *H4.0* de forma integrada entre setores, sendo isso imprescindível para o funcionamento do hospital.

#### **4.5 O hospital dispõe de sistemas seguros de proteção das informações dos pacientes e atua conforme LGPD (Lei Geral de Proteção de Dados)?**

Não há sistemas de cibersegurança para proteger a privacidade das informações de saúde dos indivíduos.

Há pouca utilização de cibersegurança para proteger a privacidade das informações de saúde dos indivíduos.

O hospital utiliza sistemas de cibersegurança para proteger a privacidade das informações de saúde dos indivíduos, porém sem integração entre os sistemas e ainda sem conformidade com a LGPD.

O hospital utiliza sistemas de cibersegurança para proteger a privacidade das informações de saúde dos indivíduos, porém, ainda falta integração entre os sistemas ou falta conformidade com a LGPD.

O hospital utiliza sistemas integrados de cibersegurança para proteger a privacidade das informações de saúde dos indivíduos, em conformidade total com a LGPD.

## 5. TECNOLOGIA

**5.1 Das soluções tecnológicas voltadas para área hospitalar, citadas no quadro abaixo, quais delas são conhecidas ou aplicadas no hospital em que você trabalha? Para cada tecnologia, assinale a alternativa que melhor corresponde ao estágio de desenvolvimento da mesma em seu hospital.**

<b>Tecnologias H4.0</b>	<b>Não há utilização</b>	<b>É conhecida, mas não aplicada</b>	<b>Existe pouca utilização</b>	<b>Existe ampla utilização</b>	<b>O hospital é referência na utilização</b>
<p><b>Telemedicina</b> A telemedicina permite realizar, por meio de ferramentas tecnológicas avançadas, atendimento, monitoramento e realização de procedimentos médicos de forma remota, sem necessitar da presença física do paciente.</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p><b>Internet das coisas (IoT)</b> Integra o mundo real com o virtual por meio de dispositivos que se comunicam entre si e permitem o monitoramento de sinais vitais, de equipamentos hospitalares e administração de medicamentos. Exemplos: marcapassos inteligentes, dispositivos de monitoramento de glicose, leitos hospitalares inteligentes, dentre outros.</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p><b>Big data</b> Possibilita que o grande volume de dados gerado dentro de um hospital forneça <i>insights</i> para diagnósticos e tratamentos, auxiliando na identificação de sintomas semelhantes entre indivíduos de um mesmo grupo, dentre outras finalidades. Um exemplo é o uso de prontuários eletrônicos vinculados a bancos de dados que permitem monitorar o estado dos pacientes e extrair dados para a gestão do serviço de saúde.</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p><b>Computação em nuvem</b> <i>Softwares</i> médicos integrados à nuvem permitem a consulta de registros eletrônicos de saúde de qualquer ponto de atendimento, além de facilitarem o acesso a informação de apoio à gestão hospitalar. Auxilia em diversos aspectos, tais como: diagnóstico, prognóstico, prevenção, tratamento e obtenção de imagens médicas, dentre outros.</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p><b>Robôs colaborativos e autônomos</b> Podem ser utilizados para assistência aos médicos, auxílio no processo de reabilitação e até em unidades cirúrgicas. Podem executar ou auxiliar procedimentos minimamente invasivos que diminuem a dor e o tempo de recuperação de pacientes. Os robôs são projetados para serem capazes de realizar tarefas repetitivas e monótonas, possibilitando que a equipe humana tenha mais energia para lidar com questões que exigem habilidades de tomada de decisão, criatividade e empatia.</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

<b>Tecnologias H4.0</b>	<b>Não há utilização</b>	<b>É conhecida, mas não aplicada</b>	<b>Existe pouca utilização</b>	<b>Existe ampla utilização</b>	<b>O hospital é referência na utilização</b>
<b>Impressão e modelagem 3D</b> Tecnologia que permite a confecção de objetos tridimensionais para utilização em implantes, próteses e protótipos pré-cirúrgicos. No futuro, deve ser usada para replicar células e tecidos orgânicos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Realidade virtual e realidade aumentada</b> Envolve a utilização de dispositivos de visão tridimensional que simulam ambientes reais ou complementam esses ambientes com elementos virtuais. É geralmente aplicada em educação e treinamento, assistência remota em telemedicina e para planejamento e ensaio cirúrgico, além de monitoramento de procedimentos médicos em tempo real.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Sistemas ciberfísicos</b> Combina elementos físicos (robôs, sensores, e dispositivos inteligentes) e virtuais (algoritmos e sistemas integrados) controlados por uma inteligência central para gerenciar operações hospitalares. Pode ser empregado para conexão de redes de área corporal, sensores em produtos farmacêuticos inteligentes, para plataformas de gerenciamento de doenças com circuitos de <i>feedback</i> autorregulatório, dentre outros.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Blockchain</b> Tecnologia que aumenta a segurança na transferência digitalizada de informações. É utilizada para análises médicas a partir de registros eletrônicos de saúde, gerenciamento de reclamações e cobrança, controle de contratos, rastreamento de medicamentos e gestão da cadeia de suprimentos de medicamentos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Inteligência artificial</b> Possibilita que os sistemas aprendam e aperfeiçoem a tomada de decisão à medida que novos dados são gerados, auxiliando no diagnóstico, prognóstico, prevenção e tratamento. Também contribui para educação médica, pesquisa e treinamento, telemedicina, registro médico, apoio cirúrgico e obtenção de imagens anatômicas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Simulação computacional</b> Utilizada para gestão de instalações de saúde, melhoria de processos e planejamento de recursos, de forma a testar soluções antes de implementá-las. Ainda contribui para educação médica, pesquisa e treinamento, administração de medicamentos e agentes antimicrobianos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>