Universidade Federal do Amazonas
Faculdade de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - PPGEP

MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UFAM: AVALIAÇÃO DO GRAU DE MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0 EM UM INSTITUTO FEDERAL DE ENSINO SUPERIOR DO BRASIL

STANLEY SOARES DE SOUZA

MANAUS – AM
2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE PRODUÇÃO -PPGEP MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

STANLEY SOARES DE SOUZA

AVALIAÇÃO DO GRAU DE MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0 EM UM INSTITUTO FEDERAL DE ENSINO SUPERIOR DO BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção. Área de concentração: Gestão da Produção.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Breval Santiago

MANAUS - AM

2021

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S729a

Souza, Stanley Soares de
Avaliação do grau de maturidade da indústria 4.0 em um Instituto Federal de Ensino Superior do Brasil / Stanley Soares de Souza . 2021
160 f.: il.; 31 cm.

Orientador: Sandro Breval Santiago
Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Indústria 4.0. 2. tecnologias disruptivas. 3. modelo de maturidade. 4. metanálise. 5. Ifes. I. Santiago, Sandro Breval. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

STANLEY SOARES DE SOUZA

MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UFAM: AVALIAÇÃO DO GRAU DE MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0 EM UM INSTITUTO FEDERAL DE ENSINO SUPERIOR DO BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção. Área de concentração: Gestão da Produção.

Avaliação_____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Sandro Breval Santiago, Presidente
Universidade Federal do Amazonas – UFAM

Prof. Dr. Dércio Luiz Reis
Universidade Federal do Amazonas – UFAM

Prof. Dr. Orlem Pinheiro de Lima
Universidade do Estado do Amazonas – UEA

“As mudanças são tão profundas que, da perspectiva da história humana, nunca houve um momento tão promissor e, ao mesmo tempo, mais arriscado”.

Klaus Schwab

AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir viver em uma era tão revolucionária, maravilhosa, de novas perspectivas, e ao mesmo tempo desafiadora.

Aos meus pais, Antônio Olário e Joelma Soares, pela dedicação de criarem a mim e a minha irmã. Que sempre lutaram para que eu pudesse ter uma boa educação, criando as bases para que eu pudesse trilhar o caminho da felicidade.

À minha família, irmã Patrícia Soares, primos e amigos que sempre compartilharam de sonhos e projetos, e me incentivaram a seguir pelo caminho desafiador na busca pelo conhecimento. Em especial à minha namorada Natália Rocha, pela sua paciência, amor compreensão pelas ausências para que eu pudesse me dedicar a este projeto.

Ao meu orientador, prof. Dr. Sandro Breval Santiago, pelo apoio e dedicação à minha orientação na produção científica e na pesquisa desta dissertação, sendo fundamental na construção dos trabalhos.

Aos professores do curso de Mestrado em Engenharia de Produção da UFAM, aos servidores e docentes em geral da universidade que participaram direta ou indiretamente quando na participação da pesquisa na universidade.

Aos colegas de mestrado pela troca de aprendizado e experiências que contribuíram para o meu conhecimento, em especial Marcos Cândido, Nathalia de Miranda Barbosa, Tiago Luz e Wanderley Pedrosa.

À Universidade Federal do Amazonas, por ter contribuído, através do seu quadro de docentes e de um ambiente favorável, para que eu pudesse adquirir novos conhecimentos da graduação à pós-graduação *strictu sensu*, resultando também para um amadurecimento como ser humano.

A todas as pessoas que ao longo desses anos contribuíram direta ou indiretamente nesta dissertação, me ajudando a cumprir meus objetivos e realizar mais essa etapa da minha vida.

RESUMO

A indústria 4.0 surgida na Europa em meados de 2011 trouxe mudanças significativas na indústria, no comércio e na sociedade em geral, muitas dessas mudanças são disruptivas em função do surgimento de novas tecnologias. Sistemas Cyberfísicos (CPS), Identificação por Radiofrequência (RFID), Internet das coisas (IoT), big data, Inteligência Artificial (AI), análise de sistemas e armazenamento em nuvem são ferramentas, dentre outras, que permitem o surgimento de uma nova era para a indústria da transformação. Empresas e negócios que não se adaptarem rapidamente a esse novo ambiente, encontrarão sérias dificuldades de sobrevivência no mercado. Foram abordados os principais conceitos, princípios da indústria 4.0, além da ocorrência dessa revolução nos principais países do mundo. Nesse contexto, o presente trabalho trouxe modelos de maturidade ou de prontidão que servem como parâmetros de avaliação de uma organização frente à Indústria 4.0. Analisou-se os modelos abordados quanto às suas características e elementos estabelecidos por autores importantes. Em seguida, fez-se análise comparativa entre os próprios modelos a fim de identificar as principais dimensões e elementos constantes em diversos modelos de maturidade. Doravante, foi criado um modelo de maturidade que permitisse a avaliação de uma IFES; para isso, foram adotados dimensões e parâmetros que fossem aderentes a uma instituição pública. A avaliação ocorreu por meio de uma pesquisa survey, bem como a utilização da ferramenta da Capability Maturity Model® Integration – CMMI. Por conseguinte, foi realizada uma metanálise dos dados por meio dos softwares Smart PLS. Nesse sentido verificou-se que duas dimensões alcançaram o nível 3/5 do nível de maturidade pelo método CMMI, e três dimensões chegaram a 2/5 do nível de maturidade. Na avaliação da metanálise dos dados, verificou-se que os mesmos alcançaram alto nível de aderência, confiabilidade e livre de vieses. Por fim, houve também uma relação diretamente proporcional entre as dimensões mais bem avaliadas no método CMMI com o nível de confiabilidade dos dados na metanálise.

Palavras-chave: Indústria 4.0, modelo de maturidade, tecnologias disruptivas, avaliação de maturidade, metanálise, IFES.

ABSTRACT

Industry 4.0 that emerged in Europe in mid-2011 brought significant changes in industry, commerce and society in general, many of these changes are disruptive due to the emergence of new technologies. Cyberphysical Systems (CPS), Radio Frequency Identification (RFID), Internet of Things (IoT), big data, Artificial Intelligence (AI), systems analysis and cloud storage are tools, among others, that allow the emergence of a new era for the manufacturing industry. Companies and businesses that do not adapt quickly to this new environment will face serious difficulties to survive in the market. The main concepts, principles of industry 4.0 were addressed, in addition to the occurrence of this revolution in the main countries of the world. In this context, the present work brought maturity or readiness models that serve as parameters for evaluating an organization against Industry 4.0. The approached models were analyzed regarding their characteristics and elements established by important authors. Then, a comparative analysis was made between the models themselves in order to identify the main dimensions and elements contained in different maturity models. Henceforth, a maturity model was created that would allow the assessment of an IFES; for this, dimensions and parameters that were adherent to a public institution were adopted. The evaluation took place through a survey research, as well as the use of the Capability Maturity Model® Integration – CMMI tool. Therefore, a meta-analysis of the data was performed using Smart PLS software. In this sense, it was found that two dimensions reached the level 3/5 of the maturity level by the CMMI method, and three dimensions reached 2/5 of the maturity level. In evaluating the meta-analysis of the data, it was found that they reached a high level of adherence, reliability and free from bias. Finally, there was also a directly proportional relationship between the dimensions best evaluated in the CMMI method and the level of reliability of the data in the meta-analysis.

Keywords: Industry 4.0, maturity model, disruptive technologies, maturity assessment, meta-analysis, IFES.

LISTA DE FIGURAS

1. As quatro revoluções industriais.....17
2. Mapa com os países relevantes na I.4.0.....32
3. Demonstração do sistema G-Power.....63
4. Fases do projeto de dissertação.....64
5. Parte do Organograma da IFES.....78
6. Representação dos modelos formativos x reflexivos.....112
7. Representação do modelo: exógeno x endógeno.....112
8. Representação pelo método MEE.....113

LISTA DE GRÁFICOS

1. Gov_Infra....79
2. Gov_Relac....80
3. Gov_Transp....81
4. Gov_Qualif....82
5. Gov_Tecno....83
6. Cult_InteropDep....84
7. Cult_InteropEst....85
8. Cult_Tic....86
9. Cult_Flex....87
10. Cult_Atual....88
11. Proc_Desc....89
12. Proc_Interop....90
13. Proc_Control....91
14. Proc_digital....92
15. Proc_Acesso....93
16. Pes_Conhec....94
17. Pes_Aperf....95
18. Pes_Auto....96
19. Pes_SatisSe....97
20. Pes_SatisUs....98
21. TIC_Estrut....99
22. TIC_Comun....100
23. TIC_Sist....101
24. TIC_Soluc....102
25. TIC_Segura....103
26. Avaliação de maturidade da I.4.0 na IFES....105
27. Avaliação de maturidade da I.4.0 na IFES II....108
28. Avaliação IFES via MEE....116
29. Avaliação IFES via MEE II 121

LISTA DE TABELAS

1. Modelos de maturidade da Indústria 4.0.....54
2. Dimensões dos modelos de maturidade da Indústria 4.0.....58
3. Modelo de avaliação adotado para a IFES.....68
4. Dimensões e itens de avaliação do modelo de maturidade da IFES.....68
5. Correlação CMMI x Avaliação Radar.....105
6. Avaliação de maturidade pelo método CMMI.....105
7. Avaliação de maturidade pelo método CMMI – II.....110
8. Critérios de Análise.....115
9. R Quadrado 01.....117
10. F Quadrado 01.....117
11. Confiabilidade e validade do constructo 1.....118
12. Validade discriminante 1 119
13. Cargas externas 1.....119
14. Coeficientes estruturais 1.....120
15. R Quadrado 2.....122
16. F Quadrado 2.....122
17. Validade discriminante 2.....123
18. Confiabilidade e validade do constructo 2.....123
19. Correlação avaliação CMMI e MEE.....124

LISTA DE QUADROS

1. Conceitos da Indústria 4.0.....26
2. Princípios da Indústria 4.0.....31

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

5G – Internet de 5ª geração

AMP - *Advanced Manufactuing Partnership*

AI – *Artifical Inteligence*

AR – *Augmented Reality*

AVE - *Average Variance Extracted*

AVG - *Automated guided vehicles*

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

BMBF - Ministério Federal Alemão de Educação e Pesquisa

CMM - *Capability Maturity Model*

CMMI - *Capability Maturity Model Integration*

CNI – Confederação Nacional da Indústria

COMPRASNET – Portal de Compras do Governo Federal

COPIN - Conselho Temática Permanente de Política Industrial e Desenvolvimento Tecnológico

CPS - *Cyber-Phisical- Systems*

CTIC – Centro de Tecnologia da Informação e Comunicação

CVP - Ciclo de Vida do Produto

CT&I – Ciência, Tecnologia e Inovação

DREAMMY - *Digital REadness Assessement Model Maturity*

DML - *Design Maturity Levels*

ERP - *Enterprise Resource Planning*

FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

FMI – Fundo Monetário Internacional

GDPR - Regulamento Geral de Proteção de Dados

GSI – Gabinete de Segurança Institucional

HM – Interação Homem-Máquina

HMH – Interação Homem-Máquina-Homem

HMI – Interação Homem-Máquina

I.4.0 – Indústria 4.0

IBGC - Institui Brasileiro de Governança Coorporativa

IEDI – Instituto de Estudos para Desenvolvimento Industrial

IFES – Instituto Federal de Ensino Superior

IML - *Interface Maturity Levels*

IIC - *Industrial Internet Consortium*

IIoT – Internet Industrial das Coisas

IoS – *Internet of the Services*

IoT – *Internet of the Thinks*

IRL - *Integration Readiness Levels*

M2DDM - *Maturity Model for Data-Driven Manufacturing*

MBA - *Master in Business Administration*

MCTIC - Ministério da Ciência e Tecnologia, Inovações e Comunicação

ME – Ministério da Economia

MEE – Modelagem de Equações Estruturais ou Estruturadas

MIT - *Massachusetts Institute of Technlogy*

MM – Interação Máquina-Máquina

MRL - *Manufacturing Readiness Levels*

MSI - *Management System International*

NIST - *National Institute of Standards and Technology*

NASA – *National Aeronautics and Space Administration*

NNMI - *National Network for Manufaturing Innovation*

NSTC - *National Science and Technology Council*

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

ONU – Organização das Nações Unidas

PDCA – *Plan, Do, Check, Action*

PME -Pequenas e Médias empresas

PRL - *Programmatic Readiness Levels*

RFID – *Radio Frequency Identification*

SCM - Sistemas de Gerenciamento de Cadeia de Suprimentos

SEI – Sistema Eletrônico de Informações

SIAFI – Sistema Integrado de Administração Financeira

SIASG – Sistema Integrado de Administração de Serviços Gerais

SICAF – Sistema de Cadastramento Unificado de Fornecedores

SIMM - *System Integration Maturity Model Industry*

SOA – *Services-OrientedArchitecture*

SRL - *System Readiness Levels*

TRL - *Technology Readiness Levels*

TI – Tecnologia da Informação

TIC – Tecnologia da Informação e Comunicação

VR – *Virtual Reality*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....16
1.1. Contextualização.....16
1.2 Situação problema.....21
1.3 Objetivos.....23
1.3.1 Objetivo Geral.....23
1.3.4 Objetivos Específicos.....23
1.4 Justificativa.....23
1.5 Estrutura.....23
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....24
2.1 A Indústria 4.0.....24
2.2 Princípios da Industria 4.0.....28
2.3 A Industria 4.0 pelo mundo.....31
2.3.1 Alemanha.....32
2.3.2 China.....33
2.3.3 EUA.....34
2.3.4 França.....35
2.3.5 Reino Unido.....35
2.3.6 Japão.....36
2.3.7 Índia.....37
2.3.8 Brasil.....38
2.4 Ferramentas da Industria 4.0.....39
2.4.1 Big Data e System Analytics.....40
2.4.2 Sistema Cyber-Physical System (CPS).....42
2.4.3 Armazenamento em Nuvem (Cloud Computing).....43
2.4.4 Inteligência Artificial (A.I.) ou Robô.....44
2.4.5 Internet das Coisas (IoT) e Internet Industrial das Coisas (IIoT).....45
2.4.6 Internet 5G.....46
2.4.7 Impressão 3D.....47
2.4.8 Realidade aumentada (Augmented Reality-AR).....48
2.4.9 Digitalização.....49
2.4.10 Tecnologias de Cybersegurança.....50
2.4.11 Outras Tecnologias da I.4.0.....51
2.5.Modelos de maturidade da indústria 4.0.....52
3. PERCURSO METODOLÓGICO.....59
3.1 Tipo de pesquisa.....60
3.2 Natureza da pesquisa.....60
3.3 Abordagem da pesquisa.....61
3.4 Instrumentos e procedimentos da pesquisa.....61
3.5 Instrumentos e Procedimentos.....62
3.5.1 Instrumentos Teóricos.....62
3.5.2 Procedimentos.....62
3.6 Fases do Trabalho.....66

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS 67
4.1 Modelo desenvolvido para avaliação da IFES.....67
4.2 Aplicação do modelo de maturidade.....78
4.3 Resultados gerais da pesquisa.....79
4.4 Avaliação geral de maturidade da IFES.....,.....105
4.5 Avaliação de maturidade e prontidão da IFES frente à I.4.0 pelo método MEE.....110
4.6 Relação de avaliação da IFES entre CMMI e o MEE.....126
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....129
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRPAFICAS 131
7. APÊNDICE……..…148

1. INTRODUÇÃO

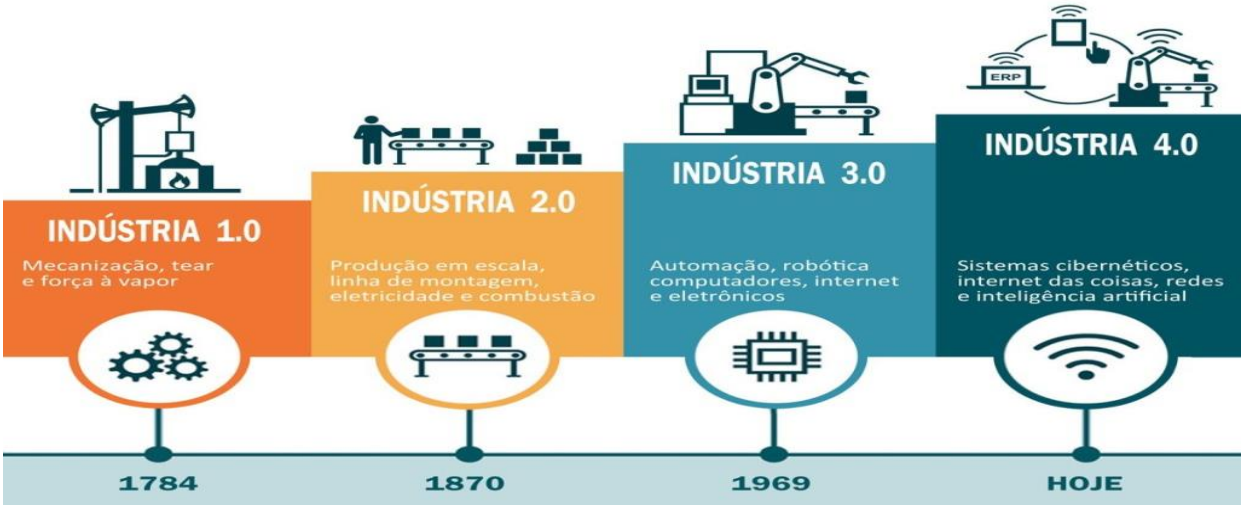
1.1. Contextualização

O mundo passa por mudanças sem precedentes com o surgimento da Indústria 4.0, o movimento começou na cidade de Hannover na Alemanha em 2011. A primeira revolução industrial ficou caracterizada pela substituição da mão de obra artesanal pela máquina a vapor em meados do século XVII, passou se a utilizar das facilidades da manufatura mecânica; a segunda grande revolução ocorreu com advento da eletricidade e da produção em grande escala no início do século XIX, o trabalho passou-se a basear-se na especialização com a fabricação em escala dos primeiros automóveis.

A terceira foi proporcionada pelo ambiente de tensão do pós-guerra entre EUA e União Soviética em meados do século XX, época em que surgiu a informática e outros grandes avanços tecnológicos como microprocessadores, tecnologia da informação e comunicações, alcançando a manufatura automática, além de avanços na medicina, na biotecnologia e na nanotecnologia. A quarta revolução industrial, também chamada de Indústria 4.0 (I.4.0) utiliza-se da junção de todas as tecnologias das revoluções anteriores, acrescentando-se a internet das coisas, internet industrial das coisas e dos sistemas de *Cyber-Phisical- Systems* (CPS) (REISCHAUER, 2018; TAKAKUWA *et al.*, 2018).

Nesse contexto, a era pré-industrial era baseada no trabalho de artesões, os produtos eram customizados. Com a revolução industrial, passou-se a produzir em massa, porém não com produtos customizados, são fabricados de modo padronizado, o marco inicial ocorreu com a produção em massa dos carros modelo T de Henry Ford. A I.4.0 promete juntar os dois conceitos, tornando possível a produção em massa e ao mesmo tempo customizado em função da implantação dos conceitos da agilidade, flexibilidade e interoperabilidade. Isso torna possível em função das novas tecnologias surgidas na era I.4.0 como I.A, a big data, novos sistemas de softwares, computação em nuvem, impressão em 3D, robôs e digitalização.

Figura 01: As quatro revoluções industriais



Fonte: Netscandigital, 2019

O grau de exigência dos consumidores aumenta cada vez mais, isso porque há a exigência de produtos e serviços com qualidade e entrega com celeridade, as empresas precisam se adaptar na busca de uma responsividade ágil e flexível se quiserem ser competitivas. Um dos grandes desafios nesse novo ambiente de competição é a indústria conseguir atender às expectativas dos clientes baseado no *feedback* recebido pelo mercado, ao mesmo tempo em que necessita continuar a produzir em grande escala a afim de diminuir seus custos de produção.

A produção inteligente torna-se um novo imperativo no ambiente da I.4.0, sendo necessário às organizaões trabalharem junto com seus clientes e fornecedores, com a possibilidade de atender às necessidades do mercado por meio de novos serviços personalizados com base em produtos inteligentes. Para que isto seja possível, as máquinas inteligentes baseadas em sistemas de informação precisam estar conectadas via rede, trocando informações de forma independente e autônoma para gerenciar o processo de produção industrial (POTTER & HELPPEMANN, 2014; OETTINGER, 2015)

Para o desenvolvimento robusto da I.4.0, é necessária a integração do entendimento interdisciplinar de sistemas, processos produtivos, tecnologias da automação, tecnologia da informação, princípios de ergonomia e conhecimento dos processos de negócios. A engenharia moderna da I.4.0 requer possuir uma perspectiva holística do complexo sistema de produção (SIMONS *et al.*, 2017). Nesse aspecto, a cooperação e integração de grupos de trabalhos de diferentes profissionais especialistas tornam-se um novo imperativo, grupos estes formados por engenheiros mecânicos, engenheiro de produção, profissionais de TI, especialistas em cibersegurança, e especialista em coordenação de recursos humanos.

Diversas tecnologias podem ser consideradas oriundas dessa nova abordagem tais como: Big Data, Inteligência Artificial (AI), Digitalização, Computação em Nuvem e Sistemas Embarcados (IEDI, 2018; SCHUMACKER, 2016; LYEH *et al*, 2016). Ainda de acordo com Lyeh *et al* 2016, os seguintes requisitos de infraestrutura em TI são necessários para implementação da I.4.0 em uma empresa: integração vertical, integração horizontal, continuidade digital de engenharia, arquitetura de serviço orientado, computação em nuvem, processamento e integração de informação e segurança em TI.

A proposta dessa nova era tecnológica da indústria consiste em tornar os sistemas produtivos com eficiência tal que haverá o sensoriamento de todas as etapas do processo do fluxo de valor de bens e serviços, interno ou externamente à empresa, fazendo com que a tomada de decisão alcance velocidade espantosa (CRUZ, WATANUKI & MORAES, 2017). Segundo Antônio *et al* (2018), os princípios dessa nova indústria são a interoperabilidade (conexão via redes de internet), a virtualização (permitindo a teste de protótipos), a descentralização dos controles, a adaptação da produção em tempo real, a orientação a serviços e sistemas modulares. A integração físico-virtual por meio do CPS transforma objetos físicos em componentes inteligentes conforme é distribuído a ecossistemas autônomos. Posto isto, pode-se afirmar que a I.4.0 faz uma integração das tecnologias físicas, virtuais e informacionais potencializando a velocidade e flexibilidade da manufatura (LIN *et al*, 2018).

Ainda segundo os autores, as soluções da I. 4.0 melhoram o desempenho da manufatura ao mesmo tempo que reduz custos em toda a cadeia de valor. Isso é possível em função da integração entre materiais e máquinas sobre forma de sistemas ciber-físicos, que são tecnologias de sensores para troca de dados controlados em tempo real. Nessa perspectiva, a I.4.0 resolve atualmente desafios relacionados a eficiência energética, recursos materiais, problemas urbanos e mudança demográfica, permitindo o aumento da produtividade e racionalização de recursos (KAGERMANN *et al*., 2013a). Para Macdougall (2014), essas fábricas são chamadas de fábricas inteligentes, elas impulsionaram uma nova revolução industrial que tem o potencial de perturbar seriamente as empresas.

Tecnologias como a internet das coisas traz uma nova geração de sistemas industriais baseados em serviços de funcionalidades embarcados em um dispositivo, que por sua vez integra-se à nuvem (KARNOUSKOS *et al.,* 2014). Nuvem é uma metáfora utilizada para descrever a internet ou a infraestrutura de comunicação entre componentes de arquiteturas centrais; a infraestrutura é composta por um grande número de maquinas físicas ou nós físicos conectadas por meio de uma rede (BUYYA *et al*., 2009B; SOUSA *et al*., 2010). É necessário

o uso intensivo e integrado de internet e tecnologias capazes de dar suporte na integração dos objetos físicos e aos atores humanos; essa rede de conexão permite formar uma cadeia de valor na organização com capacidade de prever produtos futuros, agir de forma produtiva e responsiva às demandas com variedade, velocidade e complexidade ao menor custo possível, (GANZARAIN & ERRASTI, 2016).

Os impactos da inovação proporcionada pela I.4.0 estão influenciando não só os meios de produção, mas todas as dimensões da vida em sociedade. A revolução tecnológica transformará fundamentalmente a forma como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos. Em termos comparativos de escala, amplitude e complexidade, a transformação será diferente de qualquer coisa que o ser humano tenha experimentado, afirma o alemão Klaus Schwab, fundador do Fórum Econômico Mundial e autor do livro *A quarta revolução industrial* de 2019.

A implementação da Indústria 4.0 é caracterizada pela transformação da produção tradicional para a uso de aplicações industriais avançadas, como nas revoluções industriais anteriores. A característica que difere desta vez é que a quarta revolução industrial resulta da integração e convergência dos sistemas de tecnologias existentes, trazendo criações inovadoras sem precedentes (KAGERMANN, 2015; SCHWAB, 2017). Dois exemplos práticos podem corroborar com essa visão: o fabricante automotivo Tesla estabeleceu uma fábrica inteligente na qual uma rede de dispositivos, sensores e robôs trabalha em conjunto com um sistema integrado para produzir carros e baterias com mais eficiência; o fabricante sueco de caminhões Scania, que tem sua competitividade inovadora em seus processos de produção como tradição histórica, agora está tentando transformar suas operações através de tecnologia de fábrica inteligente (SJODIN *et al*, 2018).

Essas fábricas inteligentes passam a ser o principal motor de desenvolvimento na I.4.0, e descrevem justamente a interconexão em andamento nos sistemas de manufatura orientados por tecnologia, sustentabilidade, otimização e necessidade de atender às demandas dos clientes; são caracterizadas pelo valor de cadeia aberta, produção flexível e manufatura centrada no ser humano. (CEI, 2015; BURKE *et al.*,2017). Há dois grandes desafios para que ocorra o pleno desenvolvimento da I.4.0 no mundo. O primeiro é que os níveis de compreensão e liderança sobre as mudanças em curso em todos os setores são baixos frente à necessidade de resposta à I.4.0; é necessário repensar os sistemas econômicos, sociais e políticos. O segundo é que o mundo carece de uma narrativa coerente, positiva e comum que descreva as oportunidades e os desafios da quarta revolução industrial, isto é essencial para o empoderamento de um grupo

diversificado de indivíduos e comunidades afim de evitar uma reação popular contra as mudanças fundamentais em curso (SCHWAB, 2019).

Para Barata & Cunha, 2017, os principais desafios da I.4.0 não são tecnológicos, mas mudanças estruturais nas relações de trabalho, apontando a padronização, organização do trabalho, geração de novos modelos de negócios, disponibilidade de trabalhadores altamente qualificados, proteção de propriedade intelectual, geração de novos modelos de negócios. Outros elementos como proteção de dados, da privacidade e a capacidade de aprender e reaprender novas técnicas a cada mudança de cenário, que ocorre cada vez mais rápido, são fatores extremamente impactantes para o mercado de trabalho.

Segundo Harari (2016), autor dos livros *HomoSapiens e homoDeus*, diferente de outras revoluções industriais, o desenvolvimento tecnológico atual revolucionará toda a sociedade de forma sem precedentes. Harari afirma que outras épocas o homem controlou ferramentas externas ao corpo, mas que em um futuro breve "seremos capazes de aprimoramos o corpo e a mente humanos diretamente com nossas ferramentas mediante adoção da evolução de três campos da ciência: a engenharia biológica, a engenharia cibernética e a engenharia de seres não orgânicos" (p.53). Corroborando com o entendimento da junção entre a biologia e a engenharia, Kriegman *et al*. (2020) publicaram um artigo na revista *ScientAler*t a criação de robôs minúsculos feitos inteiramente de células vivas retiradas de sapos, os chamados *Xenobots*, um organismo vivo e programável criado pelo homem.

O desenvolvimento da I.4.0 integrará cada vez mais os diversos campos da ciência que até então seriam inimagináveis, trazendo mudanças na indústria farmacêutica, de alimentos, de máquinas e de equipamentos. Na indústria da manufatura, três estágios são fundamentais para a continuação do alto grau de desenvolvimento: a oferta de novas tecnologias, o apoio à difusão dessas tecnologias junto à indústria para modernização das empresas (relacionamento academia x indústria) e a adaptação de competência e habilidade dos trabalhadores às novas tecnologias adotadas (*Conseil National de L'industrie from France* – CNI, 2013; IEDI, 2018).

Alemanha, Coreia do Sul e Japão adotaram políticas nacionais de desenvolvimento da I.4.0 a fim de manterem-se na vanguarda mundial, são detentores de empresas industriais nacionais nos setores de alta tecnologia, sendo o Japão o país que adotou como uma das diretrizes o foco na sustentabilidade; Estados Unidos, França e Reino Unido adotaram estratégias para reverter o processo de desindustrialização e aumentar suas respectivas competitividades, ampliando a participação da indústria na economia nacional; China e Índia buscam aproveitar as oportunidades oferecidas pela revolução industrial em curso para realizar

mudanças fundamentais em suas respectivas industrias com o objetivo de reduzir o diferencial em relação às nações desenvolvidas. O planejamento de médio e longo prazo chinês é mais robusto e avançado do que o indiano (LIAO *et al.*, 2018; IEDI, 2018).

Das 10 maiores economias do mundo em 2019, o Brasil foi último país a criar um conselho nacional para o desenvolvimento da I.4.0, a chamada Câmara Brasileira da Indústria 4.0. O mesmo possui o gerenciamento do Ministério da Ciência e Tecnologia, Inovações e Comunicação – MCTIC e do Ministério da Economia – ME em 2019. O colegiado é representando por integrantes do governo, das empresas e da academia. O conselho terá foco em quatro áreas de atuação: Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, Capital Humano, Cadeias Produtivas e Desenvolvimento de Fornecedores, Regulação, Normalização Técnica e Infraestrutura. Há dois planos que começaram inicialmente em 2015, mas somente em 2019 implementou-se o plano de CT&I para manufatura avançada no Brasil – Pro Futuro e a Agenda Brasileira para a Indústria 4.0 (MCTIC, 2019).

1.2 Situação Problema

Novos desafios estão postos, as instituições invariavelmente são impactadas e forçadas a inovarem seus processos sob pena de tornarem-se obsoletas. O surgimento da I.4.0 conduziu a uma abordagem nova nos sistemas de produção, ajudando a melhorar os processos industriais essenciais, resultando no crescimento da produtividade e da competitividade no mercado de trabalho. As instituições públicas relacionam-se de forma simbiótica e de modo integralizado com a indústria e a sociedade; a disrupção provocada pela I.4.0 transpassa os muros da indústria e impacta governos e sociedades.

A I.4.0 é uma imposição do contexto internacional, e o nível de desenvolvimento da I.4.0 nos países ricos pressionam mudanças em toda a escala da produção industrial internacional. O desenvolvimento dessa indústria requer um alto nível de investimento financeiro para criar uma rede interativa de máquinas-humanos (HMI) através da Internet das Coisas (IoT) e *Cyber Physical System* (CPS).

Uma das formas de verificar como as instituições públicas ou privadas estão reagindo a estas mudanças podem ser analisadas por meio de um modelo de maturidade. Ela representa uma das ferramentas para identificar a distância entre a situação atual e o ideal de uma organização. Os requisitos para implementação da indústria 4.0 devem ser feitos em diferentes

áreas, como por exemplo, o levantamento das necessidades de investimento em arquitetura em TI e trabalhadores qualificados (LI & LAU, 2019)

Os sistemas de produção tendem a ter cada vez menos dependência da atividade humana operacional, que é substituída pelos sistemas de informação e CPS de forma integrada, produzindo uma fabricação ágil, customizada e flexível. Qualidade na produção, entrega no prazo e redução de custos também são imperativos nessa nova sistemática (SIMONS *et al.*, 2017). Como consequência dessa autonomia, faz necessário o aprimoramento da interconectividade dos sistemas de TI a fim de evitar ataques cibernéticos, já que invasores podem comprometer os dispositivos e perturbar a produção (SMITH, 2015). Uma vez feito o diagnóstico de status quo perante a I.4.0, as empresas devem priorizar seus recursos para alcançar o passo a passo para o maior nível de maturidade (LI & LAU, 2019).

Técnicas e inovações surgidas em âmbito industrial passam a ser inseridas e utilizadas no âmbito da Administração Pública. Gestão gerencial, administração de processos, técnicas de gestão, tecnologias informacionais, inovações tecnológicas surgidas originalmente na indústria são competências que muitos cidadãos, que são ou desejam trabalhar em órgãos públicos, precisam ter para desenvolver as atividades laborais no serviço público. Ressalta-se ainda a necessidade de os gestores públicos modernizarem sua infraestrutura física, informática e de pessoal para acompanhar essas mudanças.

Posto isto, o presente estudo visa abordar a avaliação do nível de maturidade de uma Instituição de Ensino Superior (IFES) no Brasil frente I.4.0. Para isto, aplicar-se-á um modelo de avaliação que possua aderência às especificidades da instituição a fim de avaliar o atual grau de maturidade da IFES no contexto da I.4.0, isso se faz necessário em função da dinâmica dos mercados e dos novos desafios que é oferecer serviços de qualidade de forma rápida e de modo satisfatório à sociedade.

Nesse contexto, a IFES tem a função de qualificar pessoas com competências técnicas necessárias a este novo mercado de trabalho. Dois questionamentos serão abosadados: a IFES encontra-se de modo maduro e satisfatório no contexto da I.4.0 ou está muito aquém daquilo que seria o ideal? Qual o nível de maturidade ou prontidão da IFES frente às novas ferramentas tecnológicas e oportunidades trazidas pela I.4.0?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Avaliar o nível de maturidade de uma Instituição de Ensino Superior do Brasil frente à Indústria 4.0.

1.3.2. Objetivos específicos

a) identificar os modelos de maturidade ou nível de prontidão da I.4.0
b) verificar quais as principais tecnologias e inovações trazidas pela I.4.0
c) criar um modelo de maturidade para avaliação da IFES
d) avaliar o estado atual e o potencial de maturidade da IFES
e) validar o próprio modelo desenvolvido por meio da metanálise

1.4 Justificativa

O Brasil passou por vários tipos de gestão pública: patrimonial (da monarquia até meados de 1936 no governo Getúlio Vargas), bucrocrática (governo Getulio Vargas até meados 1967 no Governo Militar), e a gerencial, surgida a partir de 1967, aperfeiçoada durante a década de 90 e na virada do ano 2000, é o modelo aplicado atualmente. O patriomonilismo se destaca pela mistura do que é publico e privado por parte dos gestores, ambiente propício para a corrupção; a burocrática nasceu com a intenção de racionalizar a Administraçao Pública, adotando processos de produção, contratação de pessoa por meio do mérito e da adoção do princípio da impessoalidade, fazendo distinção do que é bem público do que é privado. A administração gerencial por sua vez, é baseada nos princípios da eficiência (EC 19/1998), da flexibilidade, da descentralização e da agilidade, introduzida fortamente no sistema brasileiro a partir do plano diretor da reforma do Estado do Ex ministro Bresser-Pereira (NETO 1998; PORTO, 2000)

Imposta destacar que muitas dos princípios e práticas dos sistemas de administração burocrática e gerencial nasceram no ambiente das instituições privadas, foram absolvidas, por conseguinte, respeitadas as devidas proporçoes, nas instituições públicas. Nesse contexto, as práticas da indústria 4.0 é mais um fator surgido originalmente no âmbito privado (indústria) e que vem sendo implementado modelos de gestão na Administraçao Pública. Observa-se que

muitos princípios como a descentralização, a agilidade e a flexibilidade da Administraçao Gerencial se coadunam diretamente com os princípios da indústria 4.0.

Em meados de 2011 surge na Europa, modelos de maturidade e de prontidão capazes de medir a forma e a situação da indústria no cenário da Industria 4.0. O modelo de maturidade é importante porque permite diagnosticar o estágio atual de uma determinada organização, e partir daí, elaborar um plano capaz de ser executado, e com isso gerar resultados em termos de eficiência, agilidade, adaptabilidade, corroborando com a diminuição de custos e trazendo resultados financeiros mais favoráveis. A empresa mais bem posicionada nesse processo de evolução, levará vantagem competitiva diante de seus conconrrentes.

A Aplicação das novas ferramentas advindas da I.4.0 no setor público pode gerar benefícios como aumento da produtividade, flexibilidade e agilidade, trazendo melhorias dos serviços públicos à sociedade. Partindo desse pressuposto, importa avaliar como está a maturidade da IFES no cenário da I.4.0.

1.5 Estrutura

O trabalho está organizado em 5 capítulos. No primeiro capítulo consta a contextualização ou introdução acerca da indústria 4.0, sua origem, seu desenvolvimento, sua expansão pelos países e suas implicações na sociedade global. Seguida da situação problema, objetivos, justificativa e esta estrutura.

Na segunda etapa, consta o referencial teórico, onde foi descrito um breve histórico do surgimento e desenvolvimento da Industria 4.0 no mundo, conceitos, princípios e as principais ferramentas, como tecnologias e inovações desenvolvidas nesse contexto que impactam e setor industrial e toda a sociedade de mercado. Em seguida, levantou-se os principais modelos de maturidade ou níveis de prontidão existentes a partir da base de dados levantados das plataformas de pesquisa.

Ainda nesta etapa, foi criado o modelo de maturidade para avaliação da IFES. O modelo foi desenvolvido a partir do estudo de vários modelos aplicados na indústria. Foi levado em consideração características de uma organização educacional governamental afim de estabelecer critérios de avaliação que fossem aderentes à instituição. Além da revisão bibliográfica que serviu como base, fez consulta a um especialista em construção de modelo de maturidade da I.4.0

Na terceira parte, foi descrito o modelo metodológico aplicado à dissertação, desde a varredura da literatura, a análise de modelos de maturidade, a criação do modelo, o método de aplicação da pesquisa, a aplicação da pesquisa, os resultados gerados, e a metanálise do próprio modelo para sua validação.

Na quarta parte, foi apresentado os resultados da pesquisa, a análise dos resultados que consiste na avaliação de nível de maturidade e prontidão demonstrada no gráfico radar, além da análise dos resultados através do método de Modelagem de Equações Estruturais (MEE) para validação do modelo. MEE é uma técnica de modelagem estatística multivariada de caráter geral, que é amplamente utilizada nas Ciências Humanas e Sociais, é vista como uma combinação de análise fatorial e regressão (ALEXANDRE & NEVES, 2018). O Gráfico Radar é constituído por polígonos de forma triangular, aglutinados frouxamente ao redor de um ponto central, foi definido também como "Gráfico da Teia de Aranha" (ORNSTEIN, 1989; MOSLEY & MAYER, 1999).

Na quinta e última parte, apresentou-se considerações finais, são destacados o nível de maturidade atual da instituição quanto à I.4.0 nas cinco dimensões abordadas. Realizou-se um diagnóstico dos *gaps* existentes entre a situação atual e a ideal. Este resultado traz uma oportunidade para indicar como melhorias poderão ser implementadas para adaptação da IFES frente às mudanças advindas da I.4.0.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A Indústria 4.0

A Academia Nacional de Ciência e Engenharia afirma que a Indústria 4.0 é interpretada como um novo nível de organização e controle sobre toda a cadeia de valor do Ciclo de Vida do Produto, descreve a I.4.0 como uma mudança de paradigma nas operações de negócios, ao invés de uma melhoria baseada em tecnologia de capacidades de produção. Para BEHRENDT *et al*, 2018 de forma análoga à revolução 3.0, a I.4.0 visa transformar o ambiente de trabalho, através da fusão sem precedentes do digital, físico e entidades biológicas com o propósito de trazer avanços nos aspectos social, econômico e ambiental. A I.4.0 tem como objetivo conceitual a integração das plantas fabris de produção utilizando-se das tecnologias emergentes como a IoT, CPS, comunicação entre máquinas, entre máquina-homem e o sistema de planejamento de produção.

A indústria 4.0 também á nomeada de diversas formas ao redor do mundo, como manufatura avançada, manufatura inteligente, internet industrial das coisas, fabricação de rede, internet industrial. O novo paradigma é baseado em fábricas inteligentes ou digitais capazes de integrar tecnologias da informação e máquinas com produtos inteligentes. (FETTERMMAN *et al*, 2018).

Para Li & Kau, 2019 outros elementos são fundamentais nesse conceito, como o monitoramento real da produção em massa, a digitalização, e a capacidade de monitoramento toda o status de produção nas diferentes plantas fabris em diferentes países; a capacidade de previsão de identificar problemas a fim resolvê-los proativamente. Já para Dombrowski *et al*., 2017, a I.4.0 pode compreendida como uma rede inteligente conectada em tempo real interligando pessoas e equipamentos com objetivo de melhorar a gestão de processos e gerar a criação de valor na produção.

Enquanto na revolução anterior surgiu o desenvolvimento em escala da automação e da informática de forma profunda, a I.4.0 integra todos esses elementos por meio da CPS, uma tecnologia de uso geral que permite criar valor industrial, onde o maquinário tradicional e os produtos são integrados por meio de sensores, microprocessadores, portas USB's, antenas e softwares. A partir dessa integração, é possível coletar e analisar dados de produtos, da rede de instalação e redes de abastecimento em tempo real (PORTER & HEPPELMAN, 2015; PFOHL *et al*., 2015). Esse nível de interligação entre os elementos, permite o surgimento da ligação Máquina-Máquina (MM), Humano-Máquina (HM) e Máquina-Humano-Máquina (MHM), gerando eficiência, resultando em criação de valor para a indústria (MULLER *et al.*, 2018)

Para Ganzarain & Errasti (2016), as empresas tendem a entrar na I.4.0 com o intuito de obter vantagens a curto prazo. Essa nova forma de fazer as coisas na indústria está trazendo mudanças no design, fabricação, operação e serviços de produtos e de produtos. Conectividade integrada entre pessoas e máquinas farão o sistema de produção até 30% mais rápido e 25% mais eficiente. Dessa forma, depreende-se que para uma empresa ou organização entrar plenamente na ambiência na I.4.0, a cadeia de fornecedores e pós-venda devem estar integrados de forma conjunta. A nova indústria não compreende apenas a criação de novos equipamentos tecnológicos, mas implica em mudanças de gestão e governança.

Nesse contexto, a aplicação moderna da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) torna-se fundamental em sua engrenagem. Segundo Schumacker *et al*., 2018, os dados são interconectados e integram a criação de valor interno do domínio de comunicação, tendo uma tendência contínua de digitalização. Uma infinidade de tecnologias envolve o

desenvolvimento dessas mudanças: big data, dispositivos móveis, computação em nuvem, robôs, tecnologias de localização, realidade aumentada, sensores inteligentes, impressão digital e marketing digital (OESTERREICH & TEUTEBERG 2016). Esta última tecnologia permitiu que de milhões de usuários saíssem da TV para as mídias sociais, abrindo um grande mercado novo para a publicidade.

Abaixo os autores dos modelos aqui referenciados conceituando a indústria 4.0:

QUADRO 01: Conceitos da Indústria 4.0

Schumacher, Erol & Sihn, 2016	Industria 4.0 refere-se aos recentes avanços tecnológicos onde a internet e tecnologia de suporte (exemplo: sistemas incorporados) servem como um backbone para integrar objetos físicos, atores humanos, máquinas inteligentes, linhas de processo em limites organizacionais para formar um novo tipo de inteligência, cadeia de valor em rede e ágil.
Rubel, Emrich, Klein e Loos, 2018	Indústria 4.0 permite a gestão e otimização de redes de valor inteiras através do desenvolvimento de sistemas de monitoramento inteligente e decisão autônoma. A I.4.0 possui valores com base em customização, interação e hibridez. Também acesso ao big data através de abordagem profissional e ferramentas para realizar o desenvolvimento de modelo de negócios de modo proativo.
Kagerman, Wahlster e Helbig, (2013); Hermann, Schmidt, Kurle, Thiede, (2014)	A indústria 4.0 é uma coleção dos sete seguintes conceitos: fábricas inteligentes, sistemas ciber-físicos, auto-organização, novos sistemas de distribuição e compras, novos sistemas de desenvolvimento de produtos e serviços, adaptação às necessidades humanas e responsabilidade social corporativa. Uma fábrica da I.4.0 é a capacidade de prever futuros e responder à intensificação da variedade e complexidade com baixo custo e baixo impacto ambiental.
Lyeh, Chaffer, Bley & Forstenhäusler (2016)	A I.4.0 é descrito como uma transição da produção centralizada para uma produção flexível e autocontrolada. Nesse tipo de produção, produtos e sistemas são afetados, bem como todas as etapas do processo de engenharia que são digitalizados e interconectados para compartilhar e passar informações e distribuí-las verticalmente e ao longo da cadeia de valor horizontal.
Purchan, Zeifang & Leu (2018)	A I.4.0 pra funcionar em uma indústria de forma plena, precisa levar em consideração seus principais elementos de ação, uso de dados, competência dos colaboradores, troca de informações internas e externas de forma fluida, relação do produto com a digitalização e o uso centro de TI para planejamento e controle de produção.
Canetta, Barni & Monetini (2018) Bharadwaj, Sawy, Pavlou, & Venkatraman (2013)	A quarta revolução industrial ocorre com o intenso uso de meio de sistemas digitais e correspondentes tecnológicos. Tecnologias digitais (combinação de informação, computação, comunicação e tecnologias de conectividade). São transformadores para as estratégicas de negócios, processos de negócios e capacidades de produção das empresas.
Sjodin, Parida, Leksell & Petrovic (2018)	É o desenvolvimento de novas tecnologias digitais conectadas à internet das coisas, junto com a automação a inteligência artificial, equipamentos que permitem comunicação homem-máquina, processos automatizados, mecanismos de comunicação em tempo real de forma vertical e horizontal.
Odważny, Wojtkowiak, Cyplik & Adamczak (2019); Lee, Jin & Bagheri (2017)	Indústria 4.0 é conceito nascido na Alemanha a partir da união de vários outros conceitos tais como fábrica inteligente, internet das coisas e serviços, computação em nuvem, sistemas ciber-físicos. É também a utilização de modernas tecnologias com alta integração de cadeias de abastecimento, comunicação em tempo real e customização. O conceito faz uso de modernas ferramentas de TI, baseando-se em produção flexível, descentralizado e inteligente estruturas de inspeção da produção
Weber, Konigsberger, Kassnera & Mitschanga (2017)	A I.4.0 é a produção orientada por dados por meio de uma boa qualidade da estrutura de arquitetura de TI em determinada organização. Isso faz com que seja necessário o investimento cada vez mais em cibersegurança, uma vez que estará protegendo o centro de informação da produção.

Carolis, Macchi, Negri & Terzi (2017)	Industria 4.0 é a produção inteligente e a norma nesse novo limiar, máquinas baseadas em TIC, sistemas e redes que são capazes de trocar de forma independente e responder às informações para gerenciar o processo de produção industrial que é facilitada pela chegada das novas tecnologias.

Fonte: Autoria própria, conceito trazidos da literatura (2020)

A I.3.0 desenvolveu a informática e as primeiras máquinas automáticas, abrindo a era da informação; a partir de 2010 surge a oportunidade de integrar meios informáticos e de produção com o objetivo de aumentar a eficiência, os ganhos de escala, e consequentemente a redução de custos de produção, tornando-se as bases para o surgimento da I.4.0. De acordo os conceitos trazidos pelos autores, isso só foi possível a partir do desenvolvimento de novas tecnologias como sistemas ciber-físicos, big data, computação em nuvem dentre outras. Nessa linha, Smith *et. al*., 2015 afirma que uma organização vive a I.4.0 quando seus processos são baseados na tecnologia e dispositivos que se comunicam de forma autônoma ao longo da cadeia de valor.

A I.4.0 está pautada no estabelecimento das fábricas inteligentes, produtos inteligentes e serviços inteligentes integrados na internet das coisas, também chamado de internet industrial. Adicionado a isto, novos modelos de negócios disruptivos estão envolvidos nos elementos que compõe esse ambiente (STOCK & SELIGER,2016). De todos os conceitos aqui trazidos, pode-se afirmar de modo geral que a I.4.0 é um conjunto de elementos comuns compartilhados envolvendo o uso de internet, da produção flexível, e da virtualização de processos.

Para Lee *et al*, 2017, há três correntes de visão acerca da I.4.0. A primeira determina três características: configuração de arquitetura, reconstrução de sistema e provisão de informação; a segunda traz a ligação da inovação tecnológica da I.4.0, à aceitação social da inovação tecnológica como a superação de barreiras por meio da realidade aumentada, e a qualidade de serviços e de dados com o uso da rede wireless no trabalho (MASONI *et al.*, 2017; LI *et al.*, 2017); a terceira analisa e estuda os impactos da I.4.0 sob a perspectiva da comunicação.

Em resumo, a I.4.0 torna possível coletar e analisar dados em todas as máquinas, permitindo processos mais flexíveis, mais rápidos, mais eficientes, produtos de qualidade e custos reduzidos, ou seja, uma produção autônoma e dinâmica, que integra tecnologias, informação e comunicação, possibilitando produtos altamente personalizados (TORTORELA & FETTERMANN, 2017; SANTOS *et al.*, 2018;). Nesse aspecto, as transformações ocasionadas pelo desenvolvimento da I.4.0 ultrapassa o ambiente da indústria, e abre um leque de mudanças e oportunidades que poderão ser estudados por historiadores e sociólogos.

Hermman *et al*, (2015) traz o conceito mais abrangente e completo para a I.4.0: um conjunto de tecnologias e conceitos de organização da cadeia de valor. As fábricas da I.4.0 são inteligentes e estruturadas de forma modular. CPS torna-se uma tecnologia de eixo central, onde monitora processo físicos, cria uma cópia virtual desses processos e toma decisões autônomas de forma descentralizada. Através da IoT, a CPS coopera e comunica-se entre máquinas, e estas com o homem em tempo real. Por meio da IoS, tanto serviços internos como os interoganizacionais são oferecidos e utilizados pelos *stakeholders* da cadeia de valor.

Essa forma conjunta de integração só é possível porque abrande a utilização dos outros conceitos como a integração vertical, integração horizontal, internet em ambiente seguro, e profissionais qualificados em TI, gerando como resultados uma produção, ágil, flexível e customizada, além da redução de custo e aumento da eficiência produtiva como nunca visto antes.

1.2. PRINCÍPIOS DA INDUSTRIA 4.0

Segundo o Comitê Diretor da Plataforma da I.4.0 da Alemanha, são princípios: integração horizontal e vertical das informações na organização, customização em massa, disponibilidade de informação em tempo real, integração de pessoas, máquinas e dados na cadeia de valor, capacidade de determinar um processo otimizado a qualquer momento com base nas informações, organização e controle da agregação de valor em toda a empresa rede em todo o Ciclo de Vida do Produto (CVP) (RAJNAI & KOCSIS, 2018).

Integração horizontal pode ser considerado, como exemplo, uma cadeia de processos de abastecimento, aquisição, produção, distribuição e vendas; já a integração vertical pode ser considerada os sistemas de gestão de controle de produção, sistemas de execução de manufatura, e o processamento do chão de fábrica (KEIDANREN, 2016). Para Zhang 2017, os pilares ou objetivos da I.4.0 consistem em digitalização, robotização e manufatura autônoma.

De Carolis *et al.*, 2016 corrobora em boa parte com o Comitê Diretor ao afirmar que a maturidade tecnológica, a conectividade das informações, processos, organização e capacidade do pessoal são os principais pilares da manufatura inteligente. É possível compreender que a manufatura inteligente requer uma sincronia de diversos processos que podem ocorrer por meio de módulos. Garrastin & Errasti, 2017 consideram a diversificação como uma estratégia para habilitação da empresa começar seu desenvolvimento como fábrica inteligente por meio da

predição, conhecimento, formalização de processos, técnicas e ferramentas necessárias como estratégia de diversificação.

Já Hermann *et al* (2015) afirma que a I.4.0 possui os seguintes princípios: interoperabilidade, virtualização, descentralização, adaptação da produção em tempo real, orientação aos serviços e modularidade. Qin *et al* (2016) alega que existem dois principais princípios: interoperabilidade e produção preditiva ou consciente. Destes dois, há desdobramentos. Da interoperabilidade, surgem os princípios ou conceitos como a digitalização, comunicação, padronização, flexibilidade, responsabilidade, tempo real e customização. Da preditividade, surgem os princípios da manutenção, tomada de decisão, apresentação inteligente, autoconsciência, auto otimização e autoconfiguração desembocando no conceito também de consciência.

Ainda segundo o autor, interoperabilidade significa integração, sendo vertical quando voltado à própria organização, e horizontal, configurando toda a cadeia de valor. A preditividade relaciona-se à fabricação inteligente. O primeiro princípio configura várias redes conectadas trazendo confiabilidade ao ambiente da I.4.0, o segundo, traz como essência a inteligência artificial e suas funções em ramificação. A partir desses dados, os autores destacam alguns macroelementos em comum como a interoperabilidade; os últimos dois autores utilizam desse termo, enquanto Rajnai & Kocsis, 2018 afirmam sobre integração de máquinas, pessoas e dados, que na prática trata da interoperabilidade.

Princípios norteadores da I.4.0 como incorporação, flexibilidade, previsibilidade e robustez para condições inesperadas representam na mesma proporção os deságios nesse desse ambiente. A revolução dessa indústria tem como finalidade última melhorar a qualidade de vida das pessoas, fornecendo serviços personalizado e de alta qualidade (WANG *et al.*, 2016). O paradigma pode ser determinado por três principais dimensões: integração horizontal em toda a rede de criação de valor, CVP por meio da engenharia de ponta a ponta, bem como a integração vertical dos sistemas de manufatura em rede. Os resultados da implementação da I.4.0 como a eficiência e a utilização de energia limpa traz um aspecto de sustentabilidade também como princípio em três dimensões: econômico, social e ambiental (STOCK & SELIGER,2016).

Ainda segundo o autor, a integração horizontal pode ser definida como a criação de uma rede valor criada por meio de ligação cruzada em âmbito interno e externo à empresa de forma inteligente, e da digitalização de módulos de criação de valor por toda a cadeia de CVP. A integração vertical e o sistema de manufatura em rede pode ser descrito como a inteligente

ligação cruzada entre agregações diferentes níveis hierárquicos da criação de módulos de manufatura, via fabricação de células, linhas ou fábricas, bem como cada atividade associada à criação de valor como o departamento de marketing e vendas ou desenvolvimento de tecnologias. Já a engenharia de ponta a ponta através do CVP é descrita como a ligação inteligente da cadeia, e a digitalização de cada fase desse ciclo como a compra de insumos para o sistema de manufatura, o uso do produto e o seu descarte.

Siepmanne & Graef (2016) abarca todos os princípios acima citados ao estabelecer cinco paradigmas: integração horizontal e vertical, a descentralização de decisões de forma inteligente, o controle descentralizado, completa integração da engenharia digital e o sistema de produção ciber-físico. Desta feita, os dois primeiros princípios corroboram com a descrição estabelecido pelos outros autores citados, a descentralização inteligente e o controle descentralizado permitem que eventuais problemas de manufatura sejam corrigidos de forma mais rápida e com qualidade, o sistema de produção ciber-físico só é possível com a integração de dados, máquinas e humanos por meio das tecnologias desenvolvidas no âmbito da I.4.0.Akidil *et al*., 2018 define como princípios norteadores da I.4.0: gerenciamento de dados em tempo real; coleta, processamento, análise, interferência; interoperabilidade; virtualização, descentralização; agilidade, serviço orientado; integração dos processos do negócio.

Sjodin *et. al*, 2017 traz três princípios fundamentais para a introdução de modelo de maturidade baseado nos princípios I.4.0: cultivar colaboradores digitais, introduzir processos ágeis e configurar tecnologias modulares. As pessoas devem ser envolvidas e treinadas no processo organizacional para se adaptar a utilização das novas tecnologias. A implementação de processo ágeis, incorporado em abordagem de trabalhos formais por meio da tecnologia fornecem o ambiente adequado para a fábrica inteligente. A integração das tecnologias em módulos permite a criação de oportunidades de inovação contínua e diminui a dependência de tecnologias específicas.

Para Leyh *et al.*, 2016, os requisitos seguintes são essenciais para a implementação de sistemas no contexto da I.4.0: integração vertical, integração horizontal, engenharia de continuidade digital, computação em nuvem, agregação e processamento de informação, Arquitetura de Serviço Orientado (SOA), segurança em TI. Os quatro primeiros requisitos já foram explanados e exemplificados, quanto aos últimos dois: SOA é a exposição de uma ou mais interfaces por meio de um determinador programa, permite fechar a lacuna entre dispositivos industriais e aplicativos corporativos por meio da rede de internet (TSAI *et al*., 2006; LIEGL, 2007); quanto à segurança em TI ou cibersegurança, ela representa a adequada

proteção de todas as informações disponíveis em formato eletrônico de dados, além de garantir a segurança do próprio sistema e seus usuários (KAPPES, 2013; KRCMAR, 2015). Pode-se resumir os principais princípios em comum da seguinte forma:

QUADRO 2: Princípios da Indústria 4.0

Princípios	**Autores**
Integração vertical	Rajnai & Kocsis, 2018; Stock & Seliger,2016; Siepmanne & Graef (2016); Wang & Zhang, 2016; Leyh et al, 2016
Integração horizontal	Rajnai & Kocsis, 2018; Stock & Seliger,2016; Siepmanne & Graef (2016); Wang & Zhang, 2016; Leyh et al, 2016
Customização em massa	Rajnai & Kocsis, 2018; Qin *et. al*.,2016
Disponibilidade de informações em tempo real	Rajnai & Kocsis, 2018; Hermann et.al 2015; Qin *et. al*.,2016; Carolis *et al*, 2016
Interoperabilidade ou integração de sistemas e de informação	Hermann et.al 2015; Qin *et al*, 2016; Wang & Zhang, 2016; Siepmanne & Graef (2016)
Virtualização	Hermann et.al 2015; Akidil *et al*, 2018
Produção Preditiva	Qin *et al*, 2016
Controle sobre todo o ciclo de vida do produto (CVP)	Rajnai & Kocsis, 2018; Stock & Seliger,2016
Produção flexível e ágil	Wang, Wan & Zhang, 2016
Descentralização e Desconcentração	Hermann et.al 2015; Siepmanne & Graef (2016)
Sustentabilidade	Stock & Seliger,2016
Digitalização e computação em nuvem	Leyh *et al*, 2016; Doucek 2019
Arquitetura orientada a serviços	Leyh *et al*, 2016; Tsai et al, 2006; Liegl, 2007
Segurança em TI ou cibersegurança	Leyh *et al*, 2016; Kappes, 2013; Krcmar, 2015
Automação	Doucek 2019

Fonte: Autoria própria, conceitos trazidos da literatura (2020)

Posto isto, pode-se se afirmar que o ambiente da I.4.0 possui como objetivo geral a melhoraria da qualidade serviços e produtos oferecidos, atendendo aos desejos dos clientes, ao passo que se ajusta aos mercados globais concomitantemente. Por ser um cenário de grande desafio, os princípios precisam ser bem definidos. As tecnologias corroboram para que esses princípios coexistam e a organização consiga atender o mercado, corroborando com sua sobrevivência no ambiente da I.4.0. Destes quinze princípios constantes na tabela, destacam-se cinco trazidos pela literatura: a integração vertical, integração horizontal, interoperabilidade, disponibilidade de informação em tempo real e produção ágil e flexível.

2.3. **A Indústria 4.0 pelo mundo**

As mudanças trazidas pela I.4.0 afetarão todos os pontos da cadeia de abastecimento, desta feita a exigência de clientes e parceiros de negócios estarão cada vez mais complexas. Segundo Shwab 2016, quatro mudanças fundamentais ocorrerão pelo mundo: alterações nas perspectivas dos clientes, produtos e serviços inteligentes e mais produtivos; diferentes opções de colaboração e parcerias de negócio; transformação do modelo operacional e conversão em

modelo digital. De acordo com BEHRENDT (2018), as tecnologias de automação podem afetar 50% da economia mundial, representando 1,2 bilhões de funcionários e 14,6 trilhões em salários.

Figura 02: Avaliação da I.4.0 nos princípios países

Fonte: Adaptação Mapa Mundi, 2014

Os EUA, China, Japão e Índia representam pouco mais da metade desse total. A seguir, a forma como os principais países do mundo vem enfrentando a I.4.0.

2.3.1. Alemanha

A Alemanha, país mais rico da Europa (2020), possui diversos segmentos industriais de referência mundial como a farmacêutica, máquinas pesadas, veículos e tecnologia de ponta em geral. Empresas como Bayer, Volkswagen, Daimler, BMW, Siemens são exemplo de empresas globais que por muitos anos foram líderes em seus segmentos. Segundo Lial *et al*. (2018) a Alemanha foi o primeiro país a adotar a I.4.0 como modelo de política industrial com o projeto *High-Tech Strategy 2020* (2011). O grupo de trabalho adotou metas a fim de garantir o futuro da indústria de manufatura alemã, para isto, estima-se que foram investidos cerca de dois bilhões de euros entre 2018-2020 (KAGERMANN *et al.*, 2013)

O país corresponde com um terço do valor agregado industrial na Europa, seguido por países bem atrás como França, Reino Unido, Itália e Espanha respectivamente. É conhecida como um forte fornecedor industrial do mundo, este sucesso é resultado da integração entre um bom sistema educacional, muitas parcerias estabelecidas entre usuários e fornecedores, e o desenvolvimento do conceito da I.4.0 nas pequenas e médias empresas. Está na vanguarda de

fornecimento de produtos desenvolvidos pela engenharia mecânica e industrial líder do mundo nesses segmentos (HENG ,2015).

O Ministério Federal Alemão de Educação e Pesquisa (BMBF) e o Ministério para Assuntos Econômicos e Energia têm implementado junto com os estados, programas especiais para apoiar atividade que visam a implementação da I.4.0. Isto ocorre porque a Alemanha, apesar de ser um país que possui um dos mais altos salários do mundo, ainda consegue ter sua indústria competitiva. A digitalização é uma questão urgente para que o país se mantenha com alto nível de produção sem diminuir a qualidade de vida de seus trabalhadores (MEYER, 2019). Segundo o BMBF, "O projeto futuro da Industrie 4.0 visa permitir que a indústria alemã esteja preparada para o futuro da manufatura" (site do BMBF, p. 14).

2.3.2. China

A China lançou em 2015, o *Made* in China 2025, é a principal política de desenvolvimento da I.4.0 (RAUCH, 2018; LIAO *et al*., 2018). O plano estratégico do governo chinês é alavancar sua cadeia de valor e se reinventar a partir de um parque fabril mundial para uma potência industrializada de classe mundial (CHINADAILY, 2015). O plano de 10 anos tem como princípio transformar o país de uma indústria da transformação baseado no trabalho braçal intenso para uma produção intensa de conhecimento em uma velocidade cada vez mais rápida. De 2026 a 2035 é o plano de médio prazo em que a China pretende subir para o nível médio de poder manufatureiro. O plano de longo prazo compreende o período de 2036-2045, quando a China completa 100 anos de República Popular e pretende ser a líder industrial mundial (LI, 2017).

O governo chinês pretende tornar o país a ser reconhecido como fabricante de qualidade e de grandes marcas. Em 2017 priorizou dez setores: TI, aeroespacial e equipamentos de aviação, fabricação de embarcações de alta tecnologia e marítima, equipamentos ferroviários, veículos que economizam energia, maquinário de controle numérico de alta tecnologia e automação, equipamentos elétricos, novos materiais, biomedicina e aparelhos médicos de alto desempenho e equipamentos agrícolas (Conselho de Estado da República Popular da China, 2017). Os objetivos foram trocados, qualidade sobre quantidade, aumento da inovação, desenvolvimento verde. Otimização da infraestrutura, investimento em capital humano e desenvolvimento de marcas globais.

Gu, 2017 destaca seis áreas que se destacam por trazer mudanças extraordinários no âmbito econômico-social na China: novas energias, megaconstruções de engenharia,

equipamentos especiais (satélites por exemplo), e-business (exemplo Alibaba), rede transportes como trens de alta velocidade, túneis e supercomputadores. Apesar disso o país não desponta de grandes marcas reconhecidas mundialmente pela qualidade como produtos alemães e americanos, mas o hiato vem diminuindo ano a ano. Há três fatores críticos para alavancagem do desenvolvimento industrial da China para implementação completo do plano *Made* in china 2025: capacidade de fabricação, pesquisa e desenvolvimento e capital humano (LI., 2017).

2.3.3. EUA

Os Estados Unidos têm reunido desde meados e 2011, para desenvolver e implementar o projeto denominado *Advanced Manufactuing Partnership (AMP)*. Governo, universidade e indústria se uniram com o objetivo de criar um ambiente fértil para inovação, investir em novas tecnologias e metodologias de design. Este processo tem sido conduzido pelo Conselho de Assessores de Ciência e tecnologia que adotou as seguintes etapas: permitir a inovação, proteção à pepiline de talentos e melhorar o clima de negócios (LIAO *et al.*, 2018; KUO, 2019). O termo técnico adotado nos EUA é o *The Internet Industrial* (IIoT) e iniciou em 2011 na maior empresa de energia do mundo, a General Eletric, em seguida outras empresas como AT&T, CISCO, IBM, e INTEL adotaram esse sistema de fabricação, que na prática resultou na conexão de máquinas, sistemas de análise e automação (PIKE, 2014; HUXTABLE & SCHAEFER, 2016)

Os americanos criaram em 2014, o *Industrial Internet Consortium* (IIC), um projeto de parceria global junto a outros países como a pioneira da I.4.0, Alemanha. Possui grandes grupos de estudos: arquitetura de referência, gestão de dados distribuídos e interoperabilidade conectividade, análise de dados industriais, inovação, tecnologia de entrada e saída, segurança e taxonomia (IIC, 2017). O governo americano tem adotado várias políticas a fim reorientar o processo de desindustrialização que o país vem sofrendo, principalmente em relação ao seu grande oponente: a China.

O país asiático tornou-se maior ameaça econômica e geopolítica dos americanos após a guerra fria com o fim da união soviética. Em termos econômicos, a diferença da China em relação aos americanos vem diminuindo ano após ano, e segundo relatório do FMI (2021), o PIB americano chegou a 20.8 trilhões de dólares (23% da economia global) frente a 14,8 trilhões de dólares da China, com 16,4% da economia do mundo. Nesse contexto, a reindustrialização e o desenvolvimento de novas tecnologias são fatores preponderantes na disputa entre as duas potências. Duas empresas representam bem o símbolo da ruptura da alta tecnologia de cada país

na atualidade: a Tesla, maior fabricante de carros elétricos do mundo e a Huawei, empresa de tecnologia na vanguarda da tecnologia 5G.

Um dos projetos dos EUA para sua reindustrialização, é o *National Network for Manufaturing Innovation* (NNMI), que tem por objetivo aumentar a competitividade da manufatura, facilitar a transição de tecnologias inovadoras, qualificar a mão de obra para a I.4.0 e suportar modelos de negócio que ajudem os institutos a se tornarem perenes elaborado pelo *National Science and Technology Council* (NSTC) em 2016. A AMP adotou a política para desenvolvimento da indústria em três grandes áreas: oferta, ambiente de negócios, e demanda. No lado da oferta, utilizou dos seguintes instrumentos de políticas públicas: empresa pública, desenvolvimento técnico e científico, educação e serviço de informação. No âmbito do ambiente de negócios: finanças, taxação, regulamentação legal, política. No lado da demanda: compras, serviços públicos, comércio, agente internacional (KUO, 2019)

2.3.4. França

A corrida para o desenvolvimento da I.4.0 iniciou-se em meados de 2013 com o projeto *La Nouvelle France Indutrialle* estabelecendo 34 iniciativas setoriais prioritárias para a política nacional. Foi estabelecido uma aliança com o objetivo de modernizar as ferramentas de produção na França, e a apresentação de 9 soluções industriais, que poderão fornecer soluções aos desafios socioeconômicos presentes (CONSEIL NATIONAL DE L'INDUSTRIE, 2013; NOUVELLE FRANCE INDUSTRIELLE, 2016).

Segundo o conselho nacional do governo, as iniciativas para o desenvolvimento são: energia renovável, eficiência de combustível para automóveis, estações de carregamento elétrico, melhoria de vida útil de baterias, veículo autônomo, aviões elétricos e nova geração de aviões, dirigíveis civis e drones, software e sistemas embarcados, satélite elétrico, Train à Grande Vitesse - TVG do futuro, navios ecológicos, testeis técnicos e inteligentes, industriais madeireiras sustentáveis, reciclagem e materiais verdes, renovação térmica de edifíceis, redes elétricas inteligentes, qualidade da água e gestão de escassez, química verde e biocombustíveis, biotecnologias médicas, saúde digital, novos dispositivos e equipamentos médicos, produtos inovadores para alimentação segura e saudável, big data, computação em nuvem, e-educação, soberania telecomunicação, nanoeletrônica, objetos conectados, realidade aumentada, serviços à distância, supercomputadores, robótica, cibersegurança, fábrica do futuro e gerentes de projeto.

2.3.5. Reino Unido

A Inglaterra criou o projeto de longo prazo (até 2050) denominado *Future Manufacturing* (2011). O governo lançou em 2016 o plano nacional de inovação com a participação da sociedade em geral para debater e enviar ideias inovadoras nesse segmento. O Gabinete Comissário da Informação do Departamento do governo britânico tem debatido e recebido ideias junto à sociedade para as diversas áreas que sofrem o impacto disruptivo da I.4.0. Diversas áreas são impactadas nessa discussão como o compartilhamento de informação, tecnologias para proteção de privacidade, serviços online, biometria, telefonia, vigilância e banco de dados. O Departamento de Negócios, Energia e Estratégia Industrial destinou cerca de 25% da sua receita anual para o desenvolvimento do futuro da manufatura (INNOVATE, UK, 2016).

No aspecto da manufatura avançada, em 2018, já existiam 71 robôs para cada 10 mil empregados no Reino Unido. A I.4.0 é responsável por injetar 604 bilhões de dólares na economia britânica. Os cinco setores no âmbito da I.4.0 que mais crescem no país são a robótica, indústria aeroespacial, impressão 3D, realidade virtual, inteligência artificial e aprendizagem de máquina (ROBOTICBUSSINES, 2018). Quase 80% do PIB britânico já é formado pelo setor de serviços e 35% das empresas já estão oferecendo serviços relacionados à I.4.0. A digitalização torna-se um dos fatores essenciais para a realização de negócios nesse ambiente. O Governo britânico atento a essa transformação, tem adotado políticas a fim de auxiliar na transformação digital (HUXTABLE & SCHAEFER, 2016).

O desenvolvimento da I.4.0 no Reino Unido já tem impacto fortemente não só a indústria, mas toda a sociedade. Muitas empresas de tecnologia utilizam de informações de seus usuários para vender informações a outras empresas, estas por sua vez, com o objetivo de oferecer produtos de forma mais assertiva aos consumidores. Em função da preocupação com dados privados de usuários, o Reino Unido criou o Regulamento Geral de Proteção de Dados (GDPR) (ICO ,2017), uma das legislações mais avançadas do mundo para proteção dados de seus cidadãos.

2.3.6. Japão

O governo japonês iniciou o projeto *Super Smart Society* ou Sociedade 5.0 (2015), e tem como fundamento a centralização no cidadão, onde o sistema CPS está integrado em todo o sistema social, objetivando acelerar a prosperidade humana por meio da produtividade e por consequência, melhorar a qualidade de vida das pessoas. Para os japoneses, a sociedade 1.0 representou a sociedade da época onde os humanos eram caçadores-coletores, sociedade agrícola (2.0), industrial (3.0), da informação (4.0) e 5.0 o atual momento, centrado nas pessoas por meio da utilização intensa do CPS (KEIDANREN, 2016; TAKAKUWA et al.,2018).

Para Keidanren (2016), a utilização de dados pode melhorar a qualidade de vida e a competitividade dos japoneses, além de resolver questões sociais. De acordo com o governo japonês, a ideia da sociedade 5.0 não é só um projeto de alavancagem industrial de produtividade, mas inclui uma questão social de forma mais abrangente, objetivando à inclusão de jovens, adultos e idosos, e proteger a sociedade conectada não só de forma física, mas em âmbito digital e virtual.

De acordo com o projeto governamental, a Sociedade 5.0 inclui onze serviços públicos inclusos: sistema de transporte inteligente, cadeia de valor energético, sistema de hospitalidade, sistemas integrados de saúde baseado em comunidade, sociedade resiliente a desastres naturais, sistema de monitoramento de infraestrutura, sistema de produção inteligente, sistema de materiais por integração, sistema inteligente de cadeia alimentar, plataforma de informação ambiental global, novo sistema de manufatura.

2.3.7. Índia

O governo indiano iniciou o desenvolvimento da política pública denominado *Make in India* por meio de seu Departamento de Política Industrial e Promoção em 2014. O projeto visa transforma a Índia em um centro global de design e de manufatura, visando fomentar investimentos e construir uma infraestrutura de qualidade priorizando 25 setores em um prazo de 20 anos, com uma meta ousada de criar cerca de cem milhões de empregos (GREEN, 2014; LIAO *et al*.,2018)

Um grande problema enfrentado pela Índia é a pouca formalizada da sua força de trabalho. O governo pretende utilizar das oportunidades trazidas pela I.4.0 para trazer mais formalidade, melhorando a economia, e consequentemente o aumento da arrecadação tributária. Sua vizinha China, formalizou o dobro de trabalhadores, tirando milhões da extrema pobreza.

A índia, um país com força de trabalho jovem, pretende criar 100 milhões de empregos até 2021, e tem adotado políticas complementares como "*Skill India*" e "*Digital India*" para complementar o projeto "*Make in India*" (CHENOY et al., 2019) Ainda segundo os autores, o país passa por uma transformação extraordinária em sua manufatura muito em função da força que tem no setor de TI.

O governo injetou cerca de 1 bilhão de dólares na economia como estímulo ao desenvolvimento novas fontes de energias renováveis, e redes inteligentes que tem trazido importantes fábricas de empresas multinacionais como a fabricante alemã Bosch e a produtora americana de energia General Eletric. Empresas indianas estão criando network com empresas globais a fim de trazer novas soluções em TI e automação. O governo criou em 2018, a Missão Nacional sobre Sistemas CiberFísicos Interdisciplinares com objetivo de desenvolver pessoas, empreendedorismos e start up em tecnologias relacionadas. O projeto visa criar 15 polos de tecnologias, seis centros de inovação em aplicativos e quatro parques de pesquisa de tradução de tecnologias pelo país por meio da integração entre academias, industrias, ministério federal e governos estaduais (INDIA SKILLS, 2018). O país diante do cenário de pandemia mundial do coronavírus (2020), voltou a mostrar ao mundo a sua força como maior produtor mundial insumos para vacinas.

2.3.8. Brasil

No Brasil, o projeto denomina-se "Rumo à Industria 4.0" e foi criado pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI (ABDI, 2017). O Conselho Nacional da Indústria - CNI criou o Conselho Temática Permanente de Política Industrial e Desenvolvimento Tecnológico (COPIN), que tem objetivo criar uma proposta para debater o assunto. Em 2016, as seguintes dimensões prioritárias foram definidas: aplicação nas cadeias produtivas e desenvolvimento de fornecedores, desenvolvimento tecnológico, mecanismos para induzir a adoção de novas tecnologias, aspectos regulatórios, melhoria e ampliação da estrutura de banda larga, qualificação dos recursos humanos e articulação institucional (CNI, 2016).

O agronegócio brasileiro é considerado um dos melhores do mundo em produtividade e é líder de exportação em vários produtos primários, muito em função da avançada automação no campo. Segundo Mendonça *et al*, 2008 o Brasil cresceu muito em sua produtividade com o crescimento da utilização do TIC. No entanto no que se refere à produção industrial de manufatura, as empresas brasileiras têm adquirido softwares de maneira não muito efetiva em

seus resultados, utilizam muito para rotinização de processos, e pouco de forma estratégica para aumentar a competitividade no mercado. Nesse sentido, os produtos e serviços das empresas brasileiras são inferiores à qualidade daquelas fornecidas pelos países desenvolvidos. De forma proporcional, em comparação aos países ricos, a população brasileira consome produtos mais baratos por ter salários menores, os produtos são de menor qualidade, por sua vez, as empresas investem menos em tecnologias de ponta oriundas da I.4.0 Corroborando com recentes pesquisas da CNI, os dados mostram que a implantação de tecnologias de ponta da I.4.0 são baixo nível de implantação (NAKATA & WEIDNER 2012; FRANK *et al.*, 2016; CNI, 2016)

A indústria brasileira está muito atrás dos países desenvolvidos no ambiente de implantação da I.4.0, e isso pode ser resultado de muitos fatores, entre os quais, o mais importante, a adoção de política pública para o desenvolvimento de indústria de forma muito tímida pelo poder central apenas em 2018, sete anos depois dos países de vanguarda. Segundo a CNI, 2016 só com a digitalização tanto o governo como o setor privado podem trazer importantes avanços de produtividade em energia, bens de consumo mobilidade urbana, agricultura e indústria, causando um impacto no PIB do país de 39 bilhões de reais até 2030.

Ainda segundo a Confederação Nacional da Indústria, a confederação junto à agências como IEDI, CNI, ABDI, FAPESP, MDIC/ABDI definiram uma agenda organizada em sete dimensões para o desenvolvimento da indústria 4.0: articulação institucional, formação de recursos humanos, desenvolvimento tecnológico, ampliação e melhoria da infraestrutura de banda larga, aplicações nas cadeias produtivas e de desenvolvimento de fornecedores, mecanismos de indução à adoção de novas tecnologias e aspectos regulatórios. Somente em 2018, através MDIC, ministério do governo federal, o país adotou de forma centralizada, políticas públicas voltadas ao desenvolvimento da I.4.0 no país.

2.4. **Principais Ferramentas da Indústria 4.0**

As ferramentas da I.4.0 permitem que o processo de manufatura altamente automatizado, com mínima ou nenhuma intervenção humana, graças a tecnologias disruptivas nascidas na era da I.4.0. O sistema autônomo permite a resolução de problemas no processo produtivo por meio do envio das informações para um centro de dados (big data), este realiza a análise (system analysis), e em seguida, diante de várias alternativas, toma a melhor decisão (IA) para resolver um gargalo técnico. A integração do processo se dá por meio dos sensores de rádio frequência (RFID) e pela CPS (CNI, 2016). A I.4.0 pressupõe a integração das partes físicas advindas da primeira revolução industrial como máquinas e equipamentos, e a parte não

física como a energia, os softwares e os dados informacionais; esta sistemática só seria possível na era da internet das coisas (MAGALHÃES, 2019).

Segundo Vaidya & Bhosle (2018), os principais motores da indústria 4.0 são a Internet das Coisas (IoT), a Internet Industrial das Coisas (IIoT), a manufatura baseada em nuvem e a manufatura inteligente. Ainda segundo estes autores, as tecnologias da I.4.0 permitem uma produção totalmente integrada, automatizada e flexibilizada. A produção flexível e ágil se beneficia do uso intenso resultante da integração de máquinas e os sistemas informacionais não físicos, ela pode ser chamada de manufatura inteligente. Esta é baseada em ciência e tecnologia que se adapta de modo significativamente rápido o design, a produção, gestão e integração de todo o ciclo de vida típico de um produto (LI *et al.*, 2017)

O sistema de manufatura inteligente é desenvolvido a partir de novos modelos, novas formas e novas metodologias; nesse ambiente, é utilizada a arquitetura de serviço orientado via internet, permitindo surgir o fornecedor colaborativo, a customização, flexibilidade e reconfiguração dos serviços para os usuários finais. Isso é possível por meio alta integração homem-máquina-softwares nos sistemas de manufatura ou serviços (FREENEY *et al.*, 2015).

Para Fettermman (2017), as tecnologias da I.4.0 podem ser classificadas em sete categorias. A primeira compreende as tecnologias usadas para processamento de informações, é a análise de dados e o processamento como big data, mineração e aprendizado de máquina. A segunda compreende as tecnologias relacionadas à percepção e utilização da informação como por exemplo, a realidade aumentada. A terceira categoria é a computação em nuvem, onde são armazenados dados na internet, fora de dispositivos físicos, e indica um importante componente da internet do futuro.

Em seguida, a quarta categoria pode ser denominadas de dispositivos móveis e implica a utilização de dispositivos móveis como *smarthphones*, tabletes, relógios e óculos tecnológicos. Internet das coisas é a quinta categoria, realiza a comunicação e apresentação da informação por meio de ferramentas como aplicativos, redes sem fio, RFID, tecnologias de detecção de localização. A sexta categoria referencia a fabricação aditiva e envolve tecnologias como impressão 3D e insumos como polímeros, aço e até materiais que imitam células humano, permitindo a redução de tempo e custo de desenvolvimento de produtos. Por fim, a sétima categoria, conhecida como CPS, compreende o uso de tecnologias como robotização, automação, robô e veículos guiados automaticamente (AVG), permitindo avanço da integração máquina-máquina e homem-máquina (HOZDIC, 2015; LI *et al.*, 2017)

A seguir os conceitos das principais tecnologias desenvolvidas utilizadas na manufatura inteligente no ambiente da Indústria 4.0:

2.4.1. Big Data e System Analytics

O big data pode ser definida como um complexo número de dados condensados dentro de um sistema resultantes das informações oriundas da internet das coisas (AYUB *et al.*, 2017). Para a relação máquina e software, são necessários os sistemas de RFID. Estes sistemas enviam ao big data uma quantidade de formações do que ocorre no sistema produtivo, de posse destes dados, os sistemas de análise são ativados, que por sua vez, analisam rapidamente várias possibilidades hipotéticas, e escolhe a melhor decisão em tempo real sem que haja a necessidade da intervenção humana, diminuído assim, sensivelmente a quantidade de erros.

A análise automática ocorre por meio de sistemas inteligentes que utilizada dados da big data, permitindo que torne padrão para suportar decisões em tempo real não somente para corrigir erros como realizar previsões desses erros (VAIDYA & BHOSLE, 2018). Para Witkowski (2017), o big data consiste em quatro dimensões: volume de dados, variedade de dados, velocidade de geração de novos dados e suas análises, valor dos dados. A utilização dessas ferramentas armazenar, gerenciar e analisar grandes quantidades de dados estruturados e não estruturados de forma rápida, confiável, flexível e de baixo custo.

O big data está cada vez mais presente na indústria em função da importância que os dados e a informação possuem para atender as expectativas dos clientes e customizar a produção. O sistema possui vários canais de alimentação tais como: sensores, dispositivos, vídeo / áudio, redes, arquivos de log, aplicativos transacionais, web e *feeds* de mídia social (RICH, 2012).

O *system analitics* integrado ao big data tem a função utilizar-se de técnicas avançadas de análise para descobrir padrões ocultos, correlações desconhecidas, tendências de mercado, preferências de clientes e outras informações úteis sobre negócios. Pesquisas na academia e na indústria indicam que varejistas podem obter um aumento de até 15% a 20% no retorno do investimento com a introdução de tecnologias big data. (ZHONG *et al.*, 2017; PERREY *et al.*, 2013). Essa tecnologia pode ser utilizada para análise de processos ou fluxo de processos administrativos demandados por gestores, professores ou técnicos administrativos da IFES.

2.4.2. Sistema Cyber-Physical System

Um CPS é um mecanismo através do qual objetos físicos e software estão intimamente interligados, isso faz com que diferentes componentes interajam entre si de diversas maneiras para trocar informações. Um grande número de técnicas de vários campos da ciência é necessário para o funcionamento de um CPS tais como teoria cibernética, engenharia mecânica e mecatrônica, ciência de projeto e processo, sistemas de manufatura e ciência da computação. Os sistemas embarcados são dos principais métodos técnicos que permitem um relacionamento altamente coordenado e combinado entre objetos físicos e seus elementos ou serviços computacionais. (ZHONG *et al.*, 2017).

Essa ferramenta é de grande valia para a velocidade na tomada de decisão, o big data armazena em tempo real diversas informações do processo produtivo, o CPS é capaz de monitorar, avaliar os índices produtivos, tomar decisões estratégicas e executá-las autonomamente. Para o recebimento dessas informações sem interferência humana, há a ligação do processo produtivo ao big data por meio de sensores, os chamados de RFID's - *Radio Frequency Identification*, sistema capaz de armazenar dados de campo via eletromagnetismo, na sequência transmite informações para um sistema integrado. Desta feita, há a possibilidade de detecção automática de falhas no processo e seu autoconserto, são considerados sensores inteligentes (AYUB *et al.*, 2017).

O CPS pode ser caracterizado como a integração de processos físicos e computacionais. Esses computadores incorporados em rede controlam e monitoram a produção físicas, utilizando-se de feedbacks onde os processos físicos afetam os cálculos e vice-versa em uma relação imbricada (LEE, 2008). Bauernhansl, 2014 classifica CPS em três fases geracionais, a primeira é caracterizada pelo surgimento do RFID, que permitem uma identificação única; a segunda está equipada com sensores que atuam uma gama limitada de funções; a última geração é caracterizada podem não só armazenar como analisar dados, são integrados com diversos sensores e atuares compatíveis com a rede.

O termo CPS foi definido como os sistemas nos quais os sistemas naturais são feitos pelo homem (espaço físico) são fortemente integrados aos sistemas de computação, comunicação e controle (espaço cibernético). A forte integração entre o mundo físico e o serviço do mundo digital permite a melhoria da qualidade das informações necessárias para o planejamento, otimização e operação dos sistemas de fabricação (BAGHERI, 2015; VAIDYA

& BHOSLE, 2018). Descentralização e comportamento autônomo do processo de produção são as principais características do CPS. A troca contínua de dados é realizada através da vinculação de sistemas físicos de forma inteligente com a ajuda de sistemas em nuvem em tempo real (STOCK & SELIGER, 2016; IVANOV *et al.*, 2016). Apesar deste tipo de tecnologia ser não muito utlizáve em uma Administração Publica, essa ferramenta é importante porque é utilizada pea maioria das empresas industriais.

2.4.3. Armazenamento em Nuvem

Para haver a integração entre Big Data e CPS é necessário um lugar onde esses dados deverão ser armazenados, nesse contexto, os meios físicos são substituídos pelo virtual, é o chamado armazenamento em nuvem. Enorme vantagem são apresentadas como a eliminação de espaços físicos para armazenamento de documentos e a redução de custos. Embora seja necessário no início o investimento em Tecnologia da Informação – TI, a longo prazo pode trazer vantagem econômica.

A computação em nuvem é uma metáfora para a infraestrutura de comunicação (internet) entre componentes arquiteturais, estes por sua vez, representa um serviço por cada arquitetura. São alocados em um centro de dados, utilizando-se de hardware compartilhado para armazenamento e computação (BUYYA *et al.*, 2019b). Para utilizar este serviço o usuário precisa ter conexão com a internet a computador, um sistema operacional e um navegador. A infraestrutura desse ambiente computacional em nuvem geralmente é composta por muitas máquinas físicas de baixo custo, conectadas por meio de uma rede (SOUSA *et al.*, 2010).

Computação em nuvem é um termo geral que se refere à prestação de serviços computacionais por meio de recursos visualizados e escaláveis pela Internet (ARMBRUST *et. al*., 2010; XU, 2012;). Este tipo de serviço torna interessante para os empresários tendo em vista a necessidade de pouco investimento, aumento dos custos só em caso de aumento da demanda. (ZHANG *et al*., 2010). Segundo o Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST), uma nuvem ideal possui cinco características: amplo acesso à rede, *pool* de serviços, autoatendimento sob demanda, amplo acesso à rede, elasticidade rápida e serviço medido (ZONG *et al.*, 2017)

Segundo Rubmann *et al*., (2015), o armazenamento em nuvem surge como uma ferramenta da indústria 4.0 capaz de trazer maior facilidade, rápida e segurança quando bem gerenciada. A “nuvem” nada mais é do que o armazenamento de dados na internet, grandes empresas oferecem este serviço como a Amazon e o Google. A plataforma de TI baseada em

nuvem serve como espinha dorsal para conexão e comunicação para o centro de aplicação da I.4.0. A conexão baseada em nuvem permite aumentar o compartilhamento de dados nos sites e nas empresas, proporcionando alta velocidade em tempos de respostas (RUBMANN *et al*., 2015; LANDHERRET *et al.*, 2016).

No entanto, um grande efeito colateral que causa preocupação aos empresários e usuários destes serviços são assuntos como privacidade e segurança dos dados. Um caso bastante emblemático e que causou repercussão mundial foi o caso do Facebook, em que a empresa britânica *Cambridge Analytica* que se utilizou dos dados de milhões de usuários indevidamente para influenciar a opinião do eleitorado americano e de vários países em suas respectivas eleições no ano de 2018 (BBC NEWS, 2018). Essa ferramenta é bastante utilizada na IFES muito em função do alto grau de digitalização dos processos ocorridos em função da aplicação da política pública executada pelos ministérios da economia e da educação. Processos licitatórios, e-mails, editais, processos administrativos demandados por discentes e docentes, por exemplo, são armazenadas em nuvem, sendo possível ser acompanhados em tempo real pelos portais instituicionais. Atualmente a IFES possui contrato público com uma das maiores empresas que oferecem este tipo de serviço, o Google.

2.4.4. Inteligência Artificial ou Robô

A A.I é a ciência e o domínio da engenharia preocupada com a teoria e a prática do desenvolvimento de sistemas que exibem as características associadas à inteligência no comportamento humano, como a percepção, o processamento da linguagem natural, no planejamento e resolução de problemas, leitura e adaptação agindo no meio ambiente. O desenvolvimento da A.I engloba vários campos da ciência como computação, engenharia mecânica, econômica, estatística, controle cibernético, neurociência, linguística, psicologia e até filosofia (TECUCI, 2011).

A.I é um termo geral que implica o uso de um computador para modelar comportamento inteligente com mínima intervenção humana. Ela dá suporte à vida social e já está presente na vida de bilhões de pessoas no mundo, além de essência a diversas atividades econômicas (LU, 2018). Uma grande questão é a progressão com que essa tecnologia passa a ser utilizada de tarefas de inteligência inferior às atividades superiores, essa tecnologia já não é somente utilizada em tarefas mecânicas de repetição, mas em atividades cujos requisitos envolvem

habilidade de análise e de tomada de decisão (HUANG & RUST, 2018), isso implicaria em robôs tomando o mercado de engenheiros, analistas, administradores e até de advogados.

O robô é considerado um sistema de inteligência artificial cujas técnicas de aprendizagem de máquinas realizam análise de grande quantidade de informações oriundas do big data. É um sistema desenvolvido por determinada linguagem de programação, é uma sequência de ações que se move de um estado inicial A até o estágio final B, de forma pré-programada, é o que chamamos de algoritmo. Segundo a Biblioteca Britânica (2020), algoritmo é um procedimento sistemático, com número finito de etapas, a fim de responder uma questão ou solucionar um problema. Para Brostein & Goldman (2017), os robôs tomam decisões de forma quase imperceptível. Para Cabral *et al*., (2017), são cada vez mais flexíveis e capazes de interagir com outras máquinas e com humanos, tonando-se mais cooperativos.

Os robôs trabalham normalmente velocidade e flexibilidade de forma autônoma onde trabalham com certas restrições como o de segurança. Eles podem concluir determinada tarefa com precisão e inteligência dentro de um tempo determinado, são capazes de interagir com humanos e são capazes de aprender (VADYA & BHOSLE, 2018). Importa destacar que inteligência difere de consciência, e é perfeitamente possível máquinas serem inteligentes a ponto de aprender a realizar tarefas sem necessariamente possuir consciência, “algoritmos de empresas como do Google e Facebook já fazem isto, a inteligência, portanto é desacoplada da consciência”, ou seja, uma máquina não precisa necessariamente de consciência, mas apenas da inteligência para desenvolver determinada atividade produtiva (HOMODEUS, pgs.313-314; HARARI, 2016); A inteligência artificial é amplamente utilizada na IFES em sistemas como, por exemplo, COMPRASNET, utilizado para reaizaçao dos pregões eletrônicos, bem como pelo Sistema de Eletronico de Informaçao – SEI, utilizado para pesquisa e transações de processos entre todos os departamentos da instituição.

2.4.5. Internet das Coisas e Internet Industrial das Coisas

A Internet das Coisas (IoT) permite que dispositivos físicos sejam conectados em rede para transação de informações e dados, sendo de mesma ou diferentes hierarquias. Para isto ser possível, vários sensores eletrônicos são incorporados aos objetos permitindo que os mesmos estejam conectados em rede, permitindo a coleta e a troca de dados (XIA *et al*., 2012; CORDEIRO *et al*., 2017;). A IoT permite que coisas e objetos como RFID, sensores, telefones por meio de endereçamento sistemático exclusivo, interajam com o próximo objeto vizinho por

meio de seus componentes inteligentes, cooperando assim para atingir objetivos em comum. Portanto pode ser considerada uma rede na qual a CPS coopera entre si mesmo por meio de endereçamentos exclusivos. Nesse diapasão, exemplos de aplicação da IoT são as fábricas inteligentes, redes inteligentes e casas inteligentes (BAUERNHANSL, 2014; HEMANN *et al.*, 2015).

Quando essa tecnologia é utilizada na indústria, como por exemplo, na utilização de controle e automação da iluminação, aquecimento, usinagem, aspiradores robóticos, linhas de produção automáticas e monitoramento remoto via sistemas informacionais, chama-se de internet industrial das coisas (IIoT). Uma das principais ferramentas já utilizada é o RFID, o responsável da ponte objeto físico-internet, empresas podem com esta tecnologia, acompanhar o ciclo de vida do produto desde o fornecimento de matéria prima e produção até a entrega ao usuário final. Segundo Xu *et al.* (2014), a IoT é concebida como uma convergência maior de tecnologias de ponta, como a rede sem fio onipresente, padrões, análise de dados e aprendizado de máquinas.

Posto isto, essa ferramenta pode ser utilizada na indústria, no comércio ou na prestação de serviços. A conexão via internet entre as coisas já é utilizada pelo mercado consumidor, sendo uma realidade de uso pelos cidadãos nos EUA. Recentemente em São Paulo, a empresa Google lançou uma residência totalmente conectada. Por comando de voz, o cliente poderá ligar as luzes, TV, estabelecer o controle de temperatura do condicionador de ar e até a abertura e fechamento de garagem nas residências (CORREIO BRASILIENSE, 2019). No entanto, para que haja diminuição da restrição dessa conexão, é necessária uma internet de qualidade, e a próxima tecnologia apresentada será uma ponte a fim de fechar esse *gap:* a internet 5G.

Essa tecnologia permite maior grau de flexibilidade no ambiente de trabalho dos servidores. Gestores, por exemplo, podem acompanhar o fluxo de trabalho por meio dos principais sistemas de informação como Sistema de Integraçao de Administraçao Financeira – SIAFI ou o próprio SEI, por meio do perfil de gestor, podendo ser acompanhado em tempo real por um smartphone. Servidores puderam trabalhar em homeoffice muito em função das ferramentas de tecnologias como computadores, tablets, redes sociais (WhatsApp e Meet, utilizado em reunioes) e smartphones interligados.

2.4.6. Internet 5G

Muitos analistas afirmam que quem dominar primeiro essa tecnologia estará na vanguarda no desenvolvimento tecnológico no mundo, isso tem a ver com o domínio do mercado mundial tecnológico em função do precedente que se abrirá com a criação de novas tecnologias e o domínio de dados de bilhões de usuários. Segundo Frias & Martinez (2018), a internet de 5ª geração (5G) pode ser considerada um salto de excelência em velocidade de conexão com baixa latência, é considerada uma evolução da banda larga dos serviços 4G. A expectativa é de um aumento exponencialmente no oferecimento de serviços que utilizam dados em nuvem, tendendo criar um ecossistema de serviços como o das chamadas indústrias verticais como saúde, energia e automotivo.

A internet 5G permitirá que bilhões de objetos estejam conectados à internet com qualidade permitindo que sejam desenvolvidos em velocidade espantosa as cidades inteligentes (*smarthcities*), incluindo aqui a popularização de carros autônomos em cidades estruturadas, casas inteligentes (*smarthome*), sistemas de energia inteligente e ambientes de monitoramento agrícola. Um grande número de sistemas de softwares precisará ser constantemente atualizado via nuvem com baixo custo de ponta a ponta. Os aplicativos utilizados em ambiente 5G requererão maior disponibilidade, confiabilidade, segurança e menor latência para garantir uma experiência sem falhas para o usuário final (AKPAKWU *et al*., 2018)

Ainda segundo os autores, as redes móveis 5G permitirão novos sérviços massivos como banda larga móvel aprimorada, eficiência nas comunicações críticas. A tecnologia possui como características alta velocidade, baixa latência em termos de entrega de dados, alta escalabilidade, permitindo uma imensa quantidade de dispositivos conectados, técnica de consumo de energia eficiente, onipresença para usuários finais em rede para internet das coisas. Empresas como Ericsson, Huawei, Nokia, Qualcomm, Samsung e ZTE já possuem tecnologias 5G, sendo a chinesa Huawei líder mundial, isso tem causado disputas geopolíticas com europeus e americanos em função da preocupação com os dados de seus usuários.

Segundo Iannacci (2018), em 2020 até 50 bilhões de dispositivos estariam conectados à nuvem, proporcionada pelo aumento da qualidade desse serviço. O volume de dados será aumentado em até 1000 vezes, a taxa de dados e os dispositivos conectados por usuário aumentará de 10 a 100 vezes, e a vida útil da bateria estendida em até 10 vezes. Países como EUA, China e Coreia do Sul estão na dianteira e já fazem uso dessa tecnologia que promete um salto da qualidade e abertura de novos serviços através da internet das coisas sem precedentes. Em fevereiro de 2020 já foi disponibilizado no Brasil a consulta pública para proposta de edital de licitação para futuro certame (ANATEL, 2020).

A conexão via fibra ótica utilizada na IFES deverá ser atualizada para a tecnologia 5G em função da qualidade necessária que uma universidade deve ter para prestar seus serviços, bem como das pesquisas realizadas por alunos e professores no seu interior. As instituições públicas, inclusive a IFES, devem ser as primeiras beneficiadas em função da forte adoção da digitalização e da preocupação do governo em implantar a tecnologia o mais rápido possível na Administraçao Pública; isso ocorre porque é necessário o acompanhamento da evolução no mundo, bem como não ficar atrasado em termos de vantagem competitiva.

2.4.7. Impressão 3D

A impressão 3D é uma tecnologia utilizada na manufatura aditiva. Esta pode ser definida como um processo de fabricação na forma de camadas, com informações obtidas diretamente de uma representação geométrica computacional 3D do componente. O processo tem início com o modelo 3D da peça sendo "fatiado" eletronicamente, obtendo-se "curvas de nível 2D" que definirão, em cada camada, onde será ou não adicionado material. A tecnologia 3D torna possível a manufatura aditiva por meio da integração de processos tradicionais com outras tecnologias advindas da Tecnologia da Informação (VOLPATO, 2017).

O termo impressão 3D (3D Printing) originalmente designava um processo específico patenteado por cientistas do *Massachusetts Institute of Technlogy* (MIT) em 1993 e licenciado para fabricantes em geral (BIBLIOTECA BRITÂNICA, 2020). De acordo com Herrero (2014), não faltará muito tempo para a possibilidade de que quase todos objetos existentes em um domicílio possa ser fabricado via impressão 3D, é conceito do modelo *make it youself* (faça você mesmo). Na era da I.4.0 esta tecnologia permitirá que fabricantes de objetos a pedido, façam seus produtos próximos aos locais de distribuição ou dos consumidores, gerando eficiência com a redução de custos logísticos em transporte e armazenamento.

A impressão 3D permite a criação de formas geométricas complexas, podendo ser personalizadas em massa, porque nenhum molde ou matriz é necessário e os conceitos de design são traduzidos em produtos por meio da fabricação digital direta. Na era da I.4.0, as empresas estão investindo de forma substancial em sistemas de produção para motores a jato, carrocerias personalizadas para carros e até produtos farmacêuticos (MACDONALD & WICKER, 2016).

A próxima geração de impressoras 3D será chamada de multiprocessada ou híbrida, e é definida como manufatura aditiva aprimorada com processos complementares. Buscar-se-á encontrar um processo de fabricação de dispositivos de uso final multifuncional combinando

recursos eletrônicos, eletromagnéticos, ópticos, fluídicos, de atuação, químicos e términos concomitantemente. Todos estes, com os recursos benéficos trazidos pela tecnologia de impressão 3D, essas tecnologias permitirão a alavancagem de produção personalizada em massa. (REEVES & TUCK, 2011). A utilização dessa tecnologia pode ser bem aproveitada em projetos de pesquisas na universidade, como por exemplo, nos cursos de medicina, de engenharia ou de arquitetura. Protótipos gerados pela impressão 3D podem trazer maior qualidade no aprendizado em aulas práticas em laboratórios.

2.4.8. Realidade Aumentada

Um cenário de AR (Realidade Aumentada) envolve a apresentação de informações de imagem digital ou virtual sem transparência para outra entrada visual real do mundo virtual, significa uma ampliação do mundo real por meio da apresentação de informações de imagem virtual, permite, portanto, que que imagens virtuais sejam misturadas com um ambiente ou espaço físico do mundo real (BAR-ZEEV & LEWIS, 2016; BRADSKI *et al*., 2019). Um exemplo típico é a sobreposição de itens como arvores e animais virtuais sobreposto sobre um parque real.

Os sistemas baseados em realidade aumentada suportam uma variedade de serviços, como a seleção de peças em um armazém e o envio de instruções de reparo por dispositivos móveis. A indústria pode usar a realidade aumentada para fornecer aos trabalhadores tempo real das informações necessároas para melhorar a tomada de decisão e os procedimentos de trabalho. Os trabalhadores podem receber instruções de reparo como substituir uma peça específica, pois eles estão olhando para o sistema real que precisa desse reparo (RUBMANN *et al*., 2015)

Importa ressaltar que a Realidade Virtual (RV) difere da Realidade Aumentada (AR), VR se refere a um ambiente digital no qual o usuário interage como se estivesse no mundo real, porém o foco da interação permanece no ambiente digital. Já a AR o foco da interação da tarefa executada está no mundo real (AR) em vez do ambiente digital (VR). A AR oferece, portanto, a oportunidade de uma sobreposição digital, frequentemente interativa, em um ambiente real ou virtual. Os aplicativos de realidade aumentada são aplicativos digitais que oferecem essa camada extra. Para o usuário, as camadas do ambiente virtual e físico são combinadas de tal forma que um ambiente interativo imersivo é experimentado (BARSOM *et al*, 2016).

Essa tecnologia é perfeitamente utilizável em laboratórios de tecnologia nas faculdades de medicina, engenharia ou em tecnologia da informação. O ambiente virtual também pode ser aplicado também para utilização em reuniões virtuais, onde um gestor, por exemplo, pode se fazer presente via halograma em uma sala onde os subordinados estão fisicamente. Permite maior proximidade entre pessoas de forma mais "real" mesmo que distantes fisicamente.

2.4.9. Digitalização

Tecnologias digitais estão transformando fundamentalmente estratégias de negócios, processos, recursos, produtos e serviços e o relacionamento entre empresas em suas redes de negócios (BHARADWAJ *et al*, 2013). Tem sido um dos desafios mais importantes para as empresas para adaptação nesses novos modelos de negócios na era da informação. Tecnologias de informação e seus profissionais são indispensáveis para o desenvolvimento da maturidade na I.4.0 nos mercados globais (LYEH *et al*, 2016). Um dos principais modelos de avaliação de maturidade de digital que pode ser utilizada por uma organização é o DREAMY (Digital REadness Assessement Model Maturity), inspirado no CMMI (Capability Maturity Model Integration) (De CAROLIS *et al*, 2017)

A digitalização é o processo de conversão de dados analógicos em conjunto de dados digitais, esta estrutura permite a exploração de oportunidades digitais. Essa transformação digital corrente no mundo tem sido usada para reestruturar economias, instituições e sociedade em um nível de sistema (BRENNEN & KREISS, 2016; UNRUH & KIRON, 2017). Esse movimento causa rupturas na sociedade, a digitalização por meio da combinação de diferentes tecnologias (RFID, nuvem, sensores, big data, impressão 3D) abre possibilidades imprevistas e oferece o potencial para criar produtos, serviços e modelos de negócios novos (MATZLER *et al*, 2016).

Houve alguns eventos que causaram a rápida revolução do mundo digital: rápida adaptação às necessidades específicas dos clientes, eficiência, confiabilidade, comodidade, transparência, redução de custos, acompanhamento em tempo real dos processos e à distância. Esta tecnologia também auxilia no monitoramento de matérias primas vindo dos fornecedores, na criação de banco de dados de clientes, e controle e acompanhamento do pós-venda. (PARVIANEN, 2017)

Mundo físico e digital convergem cada vez mais, proporcionando a criação de novos modelos de negócios. Blocking *et al*. (2015), afirma que a transformação digital é uma

interconexão contínua de todos os setores de negócios, e que os *players* devem adaptar-se rapidamente à nova economia digital. A Internet das coisas e a Internet Industrial das coisas permitem a criação de valor por meio da análise e gerenciamento de dados, podendo ser usados como fonte de vantagem competitiva (PORTER & HEPPELMAN, 2015). Movimentos recentes ocorridos nos últimos anos, têm causado perturbação às empresas tradicionais. Empresas como Uber, Airbnb, Ifood, Amazon têm causado ruptura e transtorno às empresas tradicionais em seus respectivos segmentos de mercado. Essa tecnologia já é amplamente nas universidades federais no Brasil, inclusive na IFES. Em função da alta digitalização dos processos, foi possível o trabalho remoto em época de pandemia em muitos departamentos. Alguns setores já realizam os trabalhos de forma 100% online, sem utilização de papéis. O fluxo de processos ocorre entre departamentos via sistemas informacionais, sem a necessidade de transporte físico ou da assinatura física dos gestores, garantido assim, velocidade e flexibilidade no fluxo de trabalho.

2.4.10. Tecnologias de Cyber Segurança

A segurança cibernética é responsável por proteger o meio cibernético contra riscos potenciais à empresa em função de eventuais vulnerabilidades dos sistemas por meio de ciberataques. Segundo o *National Institute of Standards and Technology* (NIST), vulnerabilidade refere-se à fraqueza em um sistema de informações, procedimentos de segurança do sistema, controles internos ou implementação que poderia ser explorada ou acionada por uma fonte de ameaça (LEZZI *et al.*, 2018) HUXTABLE & SCHAEFER, 2016 afirma que a segurança cibernética visa a dar proteção contra roubo ou dano ao hardware empregado na Tecnologia da Informação - TI, bem como ao software e aos dados armazenados nos sistemas

Os meios de ataques podem ser remotos, via software ou rede local, podendo ser associados a recursos em nuvem ou ainda via sistemas de TI. As principais razões de organização serem hackeadas ocorrem porque muitas funcionam por semanas ou meses sem qualquer ferramenta de segurança como *firewall* ou atualização de antivírus. (FLATT, 2016; KOBARA, 2016; JANSEN, 2018). Para a implementação dos sistemas de segurança cibernéticos são necessários avaliar cinco princípios fundamentais conforme a literatura: balanceamento de riscos (KORABA, 2016); Mecanismos de autenticação (HUXTABLE & SCHAEFER, 2016); Defesas e contra-ataques (ZHANG *et al.*, 2017), Comunicação máquina

a máquina (ASARE & BROMAN, 2012) e Proteção extensiva dos dispositivos e canais de comunicação (ITU, 2015)

Para Tuptuk e Hailes, 2018, a maioria dos sistemas de software que integram os sistemas Ciber-físicos conectados em ambientes industriais não foram preparados com segurança cibernética em seus projetos. As fábricas modernas são equipadas com inúmeros dispositivos inteligentes, tendo contato intenso com meio externo através de fornecedores e clientes. O sistema de segurança cibernética, portanto, torna-se um imperativo nesse ambiente da I.4.0 (CORALLO *et al*., 2020). Protocolos e regulamentos foram criados para que as empresas possuam uma infraestrutura em comum. A partir disso, padrões foram criados com objetivo de melhorar a segurança, a disponibilidade, a integridade e confidencialidade dos componentes de automação e controle industrial (ISA, 2016)

Por outro lado, Theoron & Lazari, 2018 sugere quatro esquemas de certificação de segurança cibernética: autodeclaração de conformidade, avaliação de conformidade independente, certificação de resiliência de produto cibernético e certificação de resiliência cibernética total. Estes itens resultam na avaliação de três atividades diferentes: avaliação de conformidade, teste de resiliência cibernética e avaliação do processo de desenvolvimento. Zhang *et al.*, 2017 afirma que ao selecionar os melhores sistemas de segurança, é preciso avaliar e compreender a mecânica das plataformas dos vários aplicativos, estudar as vulnerabilidades, analisar as ameaças em ambiente físico, e trabalhar questões como a autenticação de forma efetiva. A IFES utiliza-se de vários sistemas informacionais tais como e-mails, COMPRASNET, SEI, SIAFI, COMPRASNET etc. Alguns processos necessitam tramitar de forma sigilosa, como um orçamento fechado na licitação, um processo de administrativo disciplinar ou auditoria; há ainda grande quantidade de dados e informações que tramitam pela IFES, nesse sentido, o fator cybersegurança é extremamente relevante para a instituição.

2.4.11 Tecnologias em geral na I.4.0

Essas tecnologias permitem que haja um ambiente propício para o desenvolvimento da I.4.0: a integração horizontal e vertical dos sistemas e auto-otimização são os dois principais mecanismos usados na organização industrial. O paradigma da Indústria 4.0 é essencialmente delineado por três dimensões de integração: (a) integração horizontal entre toda a rede de criação de valor, (b) integração vertical e sistemas de manufatura em rede ponta a ponta, (c)

engenharia em todo o ciclo de vida do produto. Integração e automação digital completa da fabricação processos na dimensão vertical e horizontal implica também uma automação da comunicação e cooperação especialmente ao longo de processos padronizados (EROL *et al.*, 2016; STOCK & SELIG, 2016; SIMONS *et al.*, 2017)

Muitas organizações possuem banco de dados separados conforme o nível hierárquico. Para o desenvolvimento de maturidade no ambiente da I.4.0, é importante que haja uma integração vertical dos vários sistemas de informações. Sistemas como *Enterprise Resource Planning* (ERP), Sistemas de Gerenciamento de Cadeia de Suprimentos (SGCS), Gerenciamento de Sistemas de Informação (GSI), gerenciamento de Ciclo de Vida do Produto (CVP), devem ser melhorados e integrados em uma grande rede a fim de facilitar o acesso e fluidez das informações (LYEH *et al*., 2016).

Ainda segundo os autores, quanto ao nível horizontal, os sistemas devem ser integrados ao longo da cadeia produtiva do produto a fim de evitar falhas e vazamentos em todo o fluxo de informações. Essa integração permite que não fiquem isoladas, é possível utilizá-las no momento e no lugar certo ao longo de toda a cadeia de abastecimento, inclusive de fornecedores; para maior velocidade das decisões, tais fluxos de informações devem ser automatizados. Tecnologias como RFID, Big Data, CPS, *System Analysis* são importantes para tornar este objetivo possível.

2.5. **Modelos de Maturidade da Indústria 4.0**

O modelo de maturidade é uma das ferramentas para identificar a distância entre a situação atual e os requisitos da indústria 4.0 em diferentes áreas, como a infraestrutura de TI e de pessoal (LI & LAU, 2019). O modelo de maturidade a ser adotada por determinada organização tem que possuir como principais pressupostos: a integração vertical de sistemas de TI na engenharia de produção e automação (1), a integração horizontal de vários sistemas de TI em diferentes estágios da cadeia de valor (2), consistência da engenharia ciclo de vida completo (3) e novas infraestruturas com mudança, importando o apoio e envolvimento da alta administração (HAYES, 2018).

Maturidade é o estado de ser completo, perfeito ou pronto (DE CAROLIS *et al*, 2011). Para Maier *et al*., trazer uma empresa ou um processo para a maturidade significa trazê-lo para um estado de pleno crescimento. Para a criação do modelo, devem ser considerados as tecnologias utilizadas no processo bem como o objetivo da qual se propõe o modelo.

Maturidade implica evolução, progresso de um estágio inicial para um estado desejado ou estágio final, acarretando naquilo que todos os modelos de maturidade devem ter: os estágios ou níveis de maturidade (METTLER, 2009). Segundo Gottschalk (2008), estes modelos de maturidade podem ser moderados ou complexos, acarretando consequente, em níveis simples ou complexos.

Alguns autores usam o termo "nível de prontidão" ao invés de "modelo de maturidade". Àqueles se referem à medida de efetividade ou de capacidade em qualquer processo específico, sendo descrito em termos de níveis de desempenho total ou capacidade máxima naquele processo. Assim, o nível de prontidão relaciona-se ao nível de capacidade organizacional obtido a partir da transformação e evolução de um ou mais domínios de processos em certa organização (CURTIS *et al*,1995). Já o modelo de maturidade pode ser considerado uma ferramenta que pode ser utilizada para descrever a progressão perfeita para a mudança desejada, utilizando-se de fases ou níveis progressivos; servem para comparar o nível atual da organização ou processo até o nível ideal desejado (NIKKHOU *et al*., 2016; SCHUMACHER *et al*., 2016). Desta forma, a diferença do modelo de prontidão para o de maturidade consiste no fato de que o primeiro esclarece se a organização está pronta ou não para iniciar um novo processo, já o segundo visa demonstrar em que nível de maturidade a qual organização se encontra (AKDIL *et al.*, 2018).

A CMM – *Capability Maturity Model*, lançado pelo Instituto de Engenharia de Software, é um dos precursores de modelo de software que serviu como base para o desenvolvimento dos modelos de maturidade da I.4.0 (STERNARD *et al*, 2018). Ainda segundo os autores, o modelo de maturidade pode ser definido como uma sequência de níveis ou estágios que juntos formam um caminho planejado, desejado ou lógico de um estágio inicial até à maturidade. Eles podem ser descritivos, prescritivos e comparativos.

O modelo é descritivo se for usado para avaliar o estado em que se encontra, análise da condição atual de capacidade utilizando-se de determinados critérios; prescritivo quando utilizado para identificar os níveis de maturidade desejáveis, fornecendo diretrizes para alcança-los; comparativo quando utilizado para realização de benchmarking interno ou externo à organização (BECKER *et al*., 2009; PÖPPELBUL & RÖGLINGER,2011). Para Barata & Cunha, 2017, modelos de maturidade descrevem, portanto, os cenários atuais das organizações e oferecem diretrizes de melhoria, podem ser comparáveis, além de que novos modelos surgem constantemente nas academias.

Quanto ao conceito nível de prontidão, a origem surgiu a partir de diversos estudos realizados pelo Departamento de Defesa Americano, do Reino Unido, Canadá e Austrália. Em

seguida, o modelo também foi adotado pela NASA em seus projetos. Segundo a agência americana, a tecnologia é definida como aplicação prática do conhecimento para criar a capacidade de fazer algo novo de forma inteiramente nova. (DEPARTAMENTO DE DEFESA AMERICANO, 2002; DEPARTAMENTO DE DEFESA CANADENSE, 2006).

Como resultado desse esforço, alguns diferentes conceitos e sistemas foram criados com a finalidade de mensurar a prontidão sistêmica, funcional ou tecnológica de equipamentos/sistemas, especialmente daqueles desenvolvidos para aplicações militares e espaciais. Podem-se citar os seguintes modelos: *Technology Readiness Levels* (TRL), *Interface Maturity Levels* (IML), *System Readiness Levels* (SRL), *Integration Readiness Levels* (IRL), *Design Maturity Levels* (DML), *Manufacturing Readiness Levels* (MRL), *Programmatic Readiness Levels* (PRL) e *Technology Maturity Level* (TML), além de processos e ferramentas associados ao conceito em estudo [DEPARTAMENTO DE DEFESA AMERICANO, 2002; DEPARTAMENTO DE DEFESA CANADENSE, 2006].

A escala de prontidão tecnológica do TRL foi desenvolvida com o intuito de prover uma medida relativa ao estado de uma nova tecnologia em relação ao seu uso para futuros sistemas espaciais. Consolidou-se como uma métrica de uso mundial importante não apenas para avaliar a prontidão tecnológica, mas como método para analisar riscos inerentes ao processo de desenvolvimento tecnológico e fornecer bases para a tomada de decisão e orientações para gestores voltados à Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) (ALTUNOK & CAKMAK, 2010).

Ainda segundo os autores, diante da sua importância e sua eficácia de avaliação, os modelos de maturidade e os níveis de prontidão foram espalhados em aplicação em várias áreas das organizações, como gestão de pessoas, produção, finanças, e agora relacionado a nível de implementação da indústria 4.0. Compreender o nível de prontidão é necessário para uma avaliação prévia de riscos, antes de comprometer todo o esforço organizacional, inclusive o orçamento, para a execução de um projeto (NASA, 2010). Dessa forma, a organização deve estar preparada estruturalmente antes de executar o seu planejamento com as ferramentas no campo da I.4.0.

Posto isto, um determinado tipo de modelo de maturidade ou nível de prontidão deverá ser adotada a fim avaliar certa organização de acordo com suas as características e especificidades. Um modelo de maturidade adequado é importante para trazer conclusões fidedignas, visto que dependerá se a organização é pública ou privada, se se trata de indústria, comercio, organização pública ou organização social sem fins lucrativos. No modelo de maturidade, o uso das ferramentas da I.4.0 poderá ser avaliada a depender da instituição.

Dos 66 modelos de maturidade da I.4.0, conforme descrito na metodologia, destacamos os 12 princípais modelos a seguir, utilizando como critério para determinação da escolha, o nível de relevância e impacto dos artigos a partir do número de citações conforme índice do *Journal Citation Reports* (JCR) nas plataformas web of sicente e Scopus.

Tabela 01: Modelos de maturidade da I.4.0

Modelo	**Possibilidade de avaliar capacidade de um processo ou de nível de prontidão (requisitos)***			**Análise**	**Conclusão**		**Ambiente de aplicação**
01-12	Níveis	Dimensões	Itens/elementos	Relação entre o modelo e os conceitos	Modelo Maturidade	Nível de Prontidão	
1. Um modelo de maturidade para avaliar a prontidão e a maturidade do setor 4.0 de empresas de manufatura (Schumacher *et al.*, 2016)	X	X	X	Verificado que Schumacher *et al* (2016) abordam tanto o nível de maturidade do processo como um todo, bem como o nível de prontidão da nova tecnologia estudada; ressalta-se que no próprio título do artigo, está posto os termos "prontidão" e "maturidade". O modelo possui os pré-requisitos: níveis de maturidade, dimensões e itens de avaliação, a estruturação do modelo faz com que o mesmo seja considerado 100% como modelo de maturidade ou de prontidão.	100 %	100 %	Empresas de manufatua; origem da revisão literária sistemática, consulta a especialistas; estudos de caso.
2. Um modelo de maturidade para o gerenciamento de modelos de negócios na indústria 4.0 Modelo CMMI - *Capability Maturity Model Integration*, (Rubel *et al.*, 2018)	X	X	X	Em função dos cinco níveis definidores do grau de evolução e do estabelecimento de um processo de evolução rumo à I.4.0. Tal modelo advindo da indústria software estabelece 3 dimensões de avaliação, níveis de evolução de maturidade e itens ou elementos específicos de avaliação contendo objetivos gerais e objetivos específicos, o modelo é estruturado e pode ser definido realmente como um modelo de maturidade.	100 %		Gerenciamento de negócios em geral; modelo criado a partir da revisão sistemática da literatura
3. Modelo de maturidade em três fases nas PME para I.4.0 (Garazain & Errasti, 2016)	X	X	X	Proposto por Gazaian e Errasti (2016), estabelece três fases de implementação bem definidas: visão, habilitação e promulgação; dentro de cada etapa são propostos cinco níveis de maturidade, possuindo itens de avaliação, cumpri, portanto, os três requisitos fundamentais. Por ser possível avaliar o nível de graduação do processo e possuir os 3 requisitos elementares, o modelo pode ser considerado um modelo de maturidade.	100 %		Pequenas e médias empresas em geral; modelo criado por especialistas

4. System Integration Maturity Model Industry 4.0 – Um modelo de para classificação da empresa em cenário de TI e software com foco no setor 4.0 (Lyeh, Bley, Schaffer *et al.*, 2016)	X	X	X	O sistema proposto por Lyet *el al* (2016), estabelece de forma estruturada um modelo de grau de digitalização definido em cinco níveis bem estruturados: da digitalização básica à completa e otimizada; estabelece dimensões: fatores-chave, empregados, organização, produto e produção; possui 4 dimensões: integração vertical, integração horizontal, desenvolvimento de produto digital e critérios de tecnologia transversal. Possuindo 100% dos quesitos, o sistema, que advém da indústria do software, permite a avaliação gradual de maturidade, prevalece, portanto, como um consistente modelo de maturidade.	100 %		Foco em TI nas empresas em geral, foco em digitalização; origem: modelo acadêmico criado a partir da literatura sistemática
5. Industria 4.0 na prática – idenficação para o sucesso no padão 4.0 (Puchan *et al.*, 2018)	X	X	X	O sistema proposto por Puchan, Zeifang e Leu (2018) estabelece cinco dimensões-alvo, bem como estabelece critérios bem definidos em cinco níveis de graduação de maturidade, contendo elementos ou itens em cada um. Em função desses graus de avaliação do processo e os três requisitos elementares, o modelo pode ser considerado um modelo da maturidade.	100 %		Pequenas e médias empresas de manufatura; origem acadêmica a partir da literatura sistemática
6. Desenvolvimento de um modelo de maturidade de digitalização para o setor manufatureiro (Canetta *et al.*, 2018)	-	X	X	O modelo proposto por por Canetta, Barni e Montini (2018), dividiu o processo em duas fases, sendo a segunda fase, o momento de efetiva implementação de digitalização dos processos. O modelo não propõe nível de prontidão, também não estabelece níveis de maturidade especificamente, possui dimensões (estratégia, processos, produtos e serviços, tecnologias e pessoal) e itens de avaliação; o processo está mais relacionado ao um processo de implantação rumo a I.4.0 mas não aborda um item fundamental: seus níveis de maturidade; apesar disso, possui 66% requisitos, pelo que pode ser considerado um modelo de maturidade.	66 %		Empresas de manufatura industrial, foco em digitalização; origem por especialistas a partir de aplicação em estudos de caso.
7. Implementação de Fábrica Inteligente e Processo de Inovação (Sjodin *et al.*, 2018)	X	X	X	Proposto por Sjodin *et al* (2018), a avaliação ocorre em três dimensões fundamentais: pessoas, processos e tecnologias. Os autores definem quatro níveis de maturidade que vão desde a definição da tecnologia a ser utilizada até ao grau de manufatura inteligente e previsível**.** Por ser uma sistemática bem estruturada, o modelo cumpre 100% dos requisitos estabelecidos, a proposta pode ser considerada tanto modelo de maturidade como modelo de prontidão, visto que conceitualmente a prontidão está relacionada se uma tecnologia está pronta ou não para uso.	100 %	100 %	Fábrica de automóveis; desenvolvido por especialistas a partir da aplicação de estudos de caso

8. Modelo por meio do mapeamento e implementação e melhoria da performance operacional na era da indústria 4.0 (Tonelli *et al*, 2016)	-	X	X	O modelo permite a avaliação do nível de maturidade atual da companhia por definição, por ser uma tecnologia para se verificar o grau de prontificarão para produzir, o termo mais adequado seria nível de prontidão e não modelo de maturidade. O modelo não define claramente os níveis de maturidade, mas demonstra os itens avaliados, desta feita, o modelo cumpre dois terços de um modelo padrão de maturidade com esses requisitos estabelecidos.	66 %		Empresas de manufatura ; origem a partir da análise sistemática de artigos científicos
9. Conceito para medição da maturidade organizacional apoiando o desenvolvimento sustentável (Odwazny *et al.*, 2018).	-	X	X	Odwazny *et al* (2018) propuseram um alinhamento das práticas da nova indústria com uma fabricação sócio, econômico e ambientalmente responsável; são estabelecidos três pilares fundamentais: fator humano, técnico/organizacional e gerenciamento; são definidos 11 itens de avaliação e 17 objetivos que abrangem desde à qualidade de vida humana até à produção ambientalmente responsável. Não são definidos graus/níveis de maturidade ou níveis de prontidão em específico, em função de quantidade de itens abordados, o modelo pode ser considerado em 2/3 como um modelo de maturidade.	66 %		Negócios em geral; modelo desenvolvido a partir da revisão de literatura e no padrão internacional
10. Avaliando a prontidão do setor 4.0 de Empreendimentos (Rajnai & Kocsis, 2018)	X	X	X	Neste modelo, são propostas quatro dimensões de avaliação: cultura, tecnologia, organização e aprendizagem; e quatro níveis de maturidade ou prontidão: céticos, adotantes, colaboradores e diferenciadores; as avaliações somam de 0 a 84 como resultantes. Por ser um bem estruturado e copiável e cumprir 100% dos requisitos, o processo estabelece o nível de constatação da tecnologia está ou não pronta para uso, desta feita, o modelo é considerado nível de prontidão.		100 %	Empresas de diversos segmentos, foco em digitalização; Origem a partir de avaliação de empresas em pesquisas de campo.
11. M2DDM – Modelo de maturidade para fabricação orientada a dados (Weber *et a*l., 2017)	-	X	-	A sistemática proposta por Weber et al propõem um modelo de maturidade que permite verificar qual o nível de maturidade de determinada organização orientada por dados. Existe dimensões como TI e processos de produtos e serviços. Os níveis são focados na arquitetura de TI que determinada empresa possui. O nível de maturidade vai de 0-inexistencia de infraestrura de TI a 5- Fábrica de auto-otimização	66 %		Modelo de maturidade teórico desenvolvido a partir da análise da literatura de outros modelos
12. Processo DREAMMY (Digital REadness Assessement Maturity model) (Carolis *et al.*, 2018)	X	X	X	Carolis *et al* (2018) define cinco áreas de avaliação, cinco fatores-chave de implementação e no final os processos são avaliados pelos princípios do modelo CMMI, a resultante da avaliação poderá se encaixar em 4 níveis de maturidade: inicial, gerenciou, definiu, integrou e orientação digital. O modelo pode ser	100 %		Empresas de manufatura , foco em digitalização. Origem a partir de estudos de

				considerado conceitualmente como modelo de maturidade, apesar do nome também possuir o termo “avaliação de prontidão” integrado na sigla.			caso por especialistas.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor a partir de modelos encontrados nas plataformas *Scopus* e *Web of Science* (2020) *****Parâmetros de CURTIS *et al.*, 1995; ALTUNOK & CAKMAK, 2010

Nesse processo foram identificados doze principais modelos de maturidade, tendo como aspectos em comum, na maioria dos casos, *níveis de maturidade, dimensões analisadas e itens* a serem avaliados. No entanto, conforme literatura seminal trazidas no início deste capítulo (2.5), nem todos os modelos apresentaram as três características fundamentais. Dessa forma, utilizando do critério da literatura clássica como de CURTIS *et al.*, 1995; ALTUNOK & CAKMAK, 2010, apenas 08 dos 12 modelos apresentaram completamente os requisitos elementares como níveis de maturidade, dimensões e itens, os outros 04 modelos apresentaram 66% dos critérios.

Dos modelos apresentados, cinco foram apresentados em conferencias internacionais nas áreas da Tecnologia da Informação, cinco foram publicados em conferências relacionadas a Engenharia Industrial ou de Gerenciamento de Produção, um publicado em congresso Internacional de Engenharia e Elétrica e um publicado em jornal relacionado à logística. Pode-se verificar que as áreas de TI, engenharia industrial e de produção e logística estão bastante integradas para o sucesso do desenvolvimento da I.4.0

Todos os modelos abordados foram apresentados em congressos ou conferências, jornais e revistas científicas na Europa, com exceção do modelo referente ao artigo 05 – *Industry 4.0 in Practice Identification of industry 4.0 Sucess Patterns*, que fora apresentado na Tailândia, continente oceânico. Dos 10 publicados na Europa, 04 foram apresentados na Alemanha, país pioneiro da I.4.0; 02 no Reino Unido, 02 na Polônia, 01 na Espanha e 01 na Eslováquia. Fora da Europa, um publicado em congresso em Taiwan e outro na Indonésia.

Verificou-se um grau de similaridade de 75% dos modelos entre o que descreve a literatura seminal e a forma como os modelos são apresentados pelos autores, ou seja 09 dos 12 artigos foram classificados corretamente como modelo de maturidade ou de prontidão; o restante, 03 artigos, teve troca de classificação, ou seja, classificou-se modelo de maturidade quando na verdade tratava-se de modelo de prontidão e vice-versa. Isto posto, foi possível verificar também as principais dimensões abordadas pelos autores a seguir:

Tabela 02: Dimensões dos modelos de maturidade da I.4.0

Modelo	**DIMENSÕES**															
01-12	estratégia	liderança	customização	produtos/serviç	operações	cultura	pessoas	Governança	TI	organização	socioambiental	logística	manutenção	design e	qualidade	Dimensões abordadas
1. Um modelo de maturidade para avaliar a prontidão e a maturidade do setor 4.0 de empresas de manufatura (Schumacher *et al,* 2016)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	9
2. Um modelo de maturidade para o gerenciamento de modelos de negócios na indústria 4.0 (Modelo CMMI - *Capability Maturity Model Integration*, Rubel *et al,* 2018)	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	1
3. Método proposto para a Diversificação Colaborativa da Indústria 4.0 (Gazaian & Errasti, 2016)	X	-	-	-	X	-	X	-	X	X	-	-	-	-	-	5
4. System Integration Maturity Model Industry 4.0 (Lyeh *et al,* 2016)	-	-	-	X	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	3
5.MUAS – Modelo de Maturidade do Departamento de Ciências Aplicadas da Universidade de Munique (Puchan *et al,* 2018)	-	-	-	X	X	-	X	-	X	X	-	-	-	-	-	5
6. Desenvolvimento de um modelo de maturidade de digitalização para o setor manufatureiro (Canetta *et al,* 2018)	X	-	-	X	X	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	5

7. Implementação de Fábrica Inteligente e Processo de Inovação (Sjodin *et al*, 2018)	-	-	-	-	X	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	3
8. Modelo por meio do mapeamento e implementação e melhoria da performance operacional na era da indústria 4.0 (Tonelli *et al*, 2016)	-	-	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	2
9. Conceito para medição da maturidade organizacional apoiando o desenvolvimento sustentável (Odwazny *et al*, 2018).	-	-	-	-	-	-	X	-	X	X	X	-	-	-	-	4
10. Avaliando a prontidão do setor 4.0 de Empreendimentos (Rajnai & Kocsis, 2018)	-	-	-	-	-	X	X	-	X	X	-	-	-	-	-	4
11. D2MM – Modelo de maturidade para fabricação orientada a dados (Weber *et al*, 2017)	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	2
12. Processo DREAMMY (Digital REadness Assessement Maturity model) (Carolis *et al*, 2018)	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	5
Total	03	01	01	04	08	02	07	01	10	06	01	01	01	01	01	49

Elaborado pelo próprio autor (2020)

As dimensões com maior número de abordagens em ordem decrescente foram: tecnologia, operações, organização, pessoas, produtos e serviços, cultura, estratégia, liderança, customização, governança, socioambiental, logística, manutenção, design e engenharia e qualidade.

Importa destacar que em função da nova revolução industrial, a dimensão de maior abordagem foi justamente a tecnologia, na sequência estão as dimensões que estão diretamente ligadas à fabricação de produtos ou serviços: operações, pessoas e organização. Desta feita,

liderada pela dimensão tecnologia, estes são fatores fundamentais ou essencialmente elementares em um processo de manufatura ou da produção de serviços, sendo por isso mesmo, objetos de maior estudo por possuir maior impacto na organização.

3. PERCURSO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Pesquisa

Trata-se de estudo de abordagem dedutiva, vez que parte de um conhecimento geral e universal para um mais específico; utilizou-se em um primeiro momento da técnica bibliográfica como documentação indireta (LAKATOS & MARCONI, 2009, p.110), trazendo o conhecimento da literatura prévia acerca do tema abordado. Nesse contexto, em primeiro momento foi trazido uma revisão da literatura especifica em plataformas especializadas no assunto, ou seja, conceitos existentes e praticados no mundo acerca do modelo de maturidade da I.4.0 foram explorados amplamente (macro); posteriormente, aplicou-se um modelo de maturidade da I.4.0 a uma determinada IFES (micro).

3.2 Natureza da Pesquisa

Quanto a natureza do tipo de pesquisa, o presente estudo é de natureza aplicada, com intuito de adquirir ou gerar novos conhecimentos a partir da pesquisa de campo. Segundo Assis (2009), interessa-se pela aplicação, utilização e consequências práticas de conhecimento, tem objetivo de aplicar os conhecimentos científicos para a solução dos mais variados problemas individuais ou coletivos. Concretiza-se por meio das “ciências aplicadas” ou “tecnológicas”. Desta forma, a presente pesquisa aplica um conhecimento teórico robusto e maduro afim de avaliar e demonstrar os resultados encontrados de uma determinada instituição.

3.3. Estratégia da Pesquisa

A pesquisa terá caráter exploratório tendo em vista identificar em uma determinada instituição pública o diagnóstico do nível de maturidade/prontidão frente a I.4.0. Portanto busca a obter maior familiaridade do problema, com vista a torna-lo mais explícito. Está envolvida de alguma maneira com questões descritivas, já que “a identificação de fatores que determinam

um fenômeno exige que este esteja suficientemente descrito e detalhado" (GERHART &SILVEIRA, 2009, p. 35). Há a combinação da abordagem associada ao método de campo, pois trata-se uma pesquisa *survey*, como observações e entrevistas (dados qualitativos), bem como a utilização de levantamentos tradicionais (dados quantitativos) (CRESWEL, 2010).

3.4 Abordagem da Pesquisa

A pesquisa teve abordagem de caráter quali-quantitativa, porque foi realizado um levantamento de dados objetivos em pesquisa de campo, qualitativo porque após a coleta dos dados, os mesmos foram analisados e interpretados para uma compreensão do fenômeno no aspecto quantitativo; foi possível também representar as informações em figura e quadros e a interpretação pessoal dos achados informam procedimentos qualitativos. (SILVEIRA 2009; CRESWELL, 2010)

O método representa uma abordagem que associa as formas qualitativa e quantitativa, envolve o uso em conjunto, de modo que a força geral de um estudo seja maior do que a da pesquisa qualitativa ou quantitativa isolada. Envolve a coleta de dados qualitativos e quantitativos, estes dados são integrados, mesclados, construindo assim uma base de dado maior (CRESWELL, 2010; CRESWELL & CRESWELL, 2018). Proporciona um maior nível de credibilidade e validade aos resultados da pesquisa, evitando-se, assim, simplicidade por meio de uma única opção de análise (OLIVEIRA, 2016).

3.5 Instrumentos e Procedimentos

3.5.1 Instrumentos Teóricos

Em um primeiro momento foi realizado uma pesquisa exploratória bibliográfica. Trata-se de uma pesquisa feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas (FONSECA, 2002). Ainda segundo o autor, tem o objetivo de recolher informações ou conhecimentos prévios sobre o problema no qual se debruça em busca de respostas. Segundo Gil (2006) tem a finalidade de alcançar informações mais completas acerca de determinado assunto, facilitando, por conseguinte, a delimitação de um tema de trabalho. Geralmente constitui a primeira etapa de um trabalho para uma investigação mais ampla.

Doravante, foi realizada uma pesquisa *survey*, ou seja, foi criado um questionário com questões objetivas dirigidas a servidores docentes e técnicos-administrativos, que exercem funções estratégicas ligadas a dimensões da organização objeto do presente estudo. Em um primeiro momento a pesquisa seria realizada *in loco*, mas em razão da pandemia do coronavírus -COVID-19 (2020), a pesquisa foi aplicada por meios informáticos como o e-mail. Lopes (2006, p. 215), define pesquisa de campo como aquela que se realiza coleta de dados por meio de entrevistas e/ou questionários bem como observações *in loco*.

A partir do estado da arte e da *Survey*, estabeleceram-se os subsídios teóricos e práticos para a elaboração do modelo de maturidade estabelecido como referência para eventuais estudos de casos em outras IFES. Desta forma o modelo de maturidade criado serve como método para diagnosticar o nível de maturidade/prontidão de instituições análogas. O modelo foi criado e adaptado de modelos majoritariamente industriais para uma Instituição Federal de Ensino Superior (IFES)

A pesquisa trata de um estudo de caso, pois trata-se de um estudo de caráter empírico que investiga um fenômeno atual no contexto da vida real, levando em consideração que as fronteiras entre o fenômeno e o contexto onde se insere não são claramente definidas (YIN, 2001). Para Miguel (2010), estudo de caso é um estudo histórico de investigação de um fenômeno, extraído de múltiplas fontes de evidência, seja de natureza qualitativa ou quantitativa.

3.5.2 Procedimentos

Para elaboração dos capitulo 1 e 2, utilizou-se dos temos "*industry 4.0*", "*concept industry 4.0*" "*principles industry 4.0*", "*guidelines industry 4.0*" e "*industry 4.0 tool's"* nas principais plataformas de pesquisa como *Web of Sicence*, *Scopus* e de forma complementar no google acadêmico de artigos revisado por pares nos últimos cinco anos somente na língua inglesa para o embasamento teórico do trabalho.

Em seguida, para que fosse possível a elaboração de um modelo de maturidade pra uma IFES, foi realizada a pesquisa de vários modelos de maturidade utilizada pela indústria 4.0 utilizando de termos mais específicos como "*maturity models and industry 4.0*"; *"maturity models and advanced manufacturing"* e "*maturity models and fourth revolution industrial*" nas plataformas *Scopus, Web of Science* de artigos revisados por pares no últimos cinco anos

somente na língua inglês, e de forma complementar em sites como Google Acadêmico, IEDI, CNI, NASA, FMI e artigos de revistas especializadas.

Para a pesquisa foram utilizados seguintes termos para a pesquisa: “maturity models” and “industry 4.0”; “maturity models” and “advanced manufacturing” e “maturity models” and “fourth revolution industrial” (Liao, 2018). O número total de periódicos encontrados foram 79, retirando-se os repetidos e artigos que 3 não possuíam modelo de maturidade como foco principal do estudo, obteve-se a amostra final para estudo 66 artigos.

No capítulo 3, a partir da análise dos modelos de maturidade e prontidão pesquisados, foi criado um modelo de maturidade voltado para avaliar o nível de maturidade de um Instituição Federal de Ensino Superior (IFES) brasileira frente à I.4.0. As dimensões utilizadas para tal análise se darão em função do grau de aderência dos itens mais compatíveis com uma instituição pública de ensino.

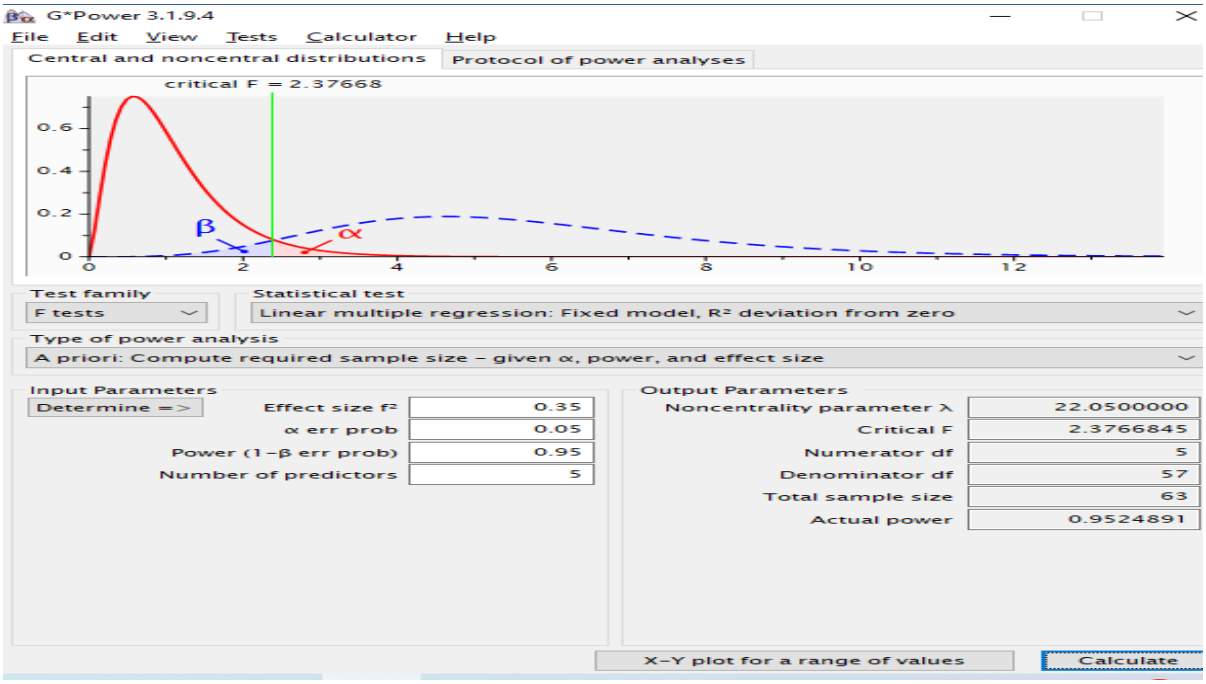
Em seguida, foi realizado elaborado um questionário *survey* para aplicação da pesquisa de campo. As questões foram elaboradas utilizando-se de itens relacionados às cinco dimensões da I.4.0 determinadas para avaliação da IFES. Ratificando que as dimensões foram selecionadas junto com especialista da I.4.0 de forma a estar aderente para avaliação de uma instituição governamental educacional. Foram elaboradas 5 questões para cada dimensão, totalizando 25 questões. Foi utilizado do método da escala likert 1-5, em que cada questão possuía do melhor grau de avaliação “1- excelente” ao pior grau “5-muito ruim”. No capítulo 5 constam-se as fases do trabalho.

No capítulo 4, utilizou-se do gráfico radar para demonstrar o nível de maturidade ou prontidão da IFES, em seguida utilizou-se do Método das Equações Estruturadas (MEE) para análise dos dados por meio da utilização do software SmartPLS®. O MEE combina análise fatorial e de regressão. MEE é historicamente aplicado a resolução de problemas práticos de testagem de modelos complexos, com múltiplas variáveis simultâneas e traços latentes. “São capazes de estimar uma série de regressões múltiplas interdependentes simultaneamente pela especificação de um modelo estrutural”. A análise, portanto, é feita na totalidade, de modo a integrar todos os fatores (PRADO, 2006. p.129; PILATI & LAROS, 2007; BARNY, 2010).

Para isso, foi usado o software G-Power 3.1. Para encontrar o tamanho da amostra ideal; conforme site oficial do programa, G Power 3.1 é um software computacional que possui capacidade de realizar vários tipos de testes tais como: F-teste, X^2-Testes, Z-Testes e outros testes exatos. Calcula tamanhos de efeito e de amostras, exibe graficamente resultados de análise de potência a partir dos dados inseridos. Para análise da pesquisa, utilizou-se os

seguintes parâmetros: universo de 3 mil servidores, margem de erro 5% e índice de confiança de 0.95. Diante disso, encontrou-se a amostra ideal de 63, utilizamos amostra de 64. Esse por sua vez, foi o número de servidores da IFES consultados, distribuído entre professores e técnicos-administrativos das diversas pró-reitorias. A seguir demonstração gráfica do software G Power 3.1:

Figura 03: Demonstração do sistema G-Power



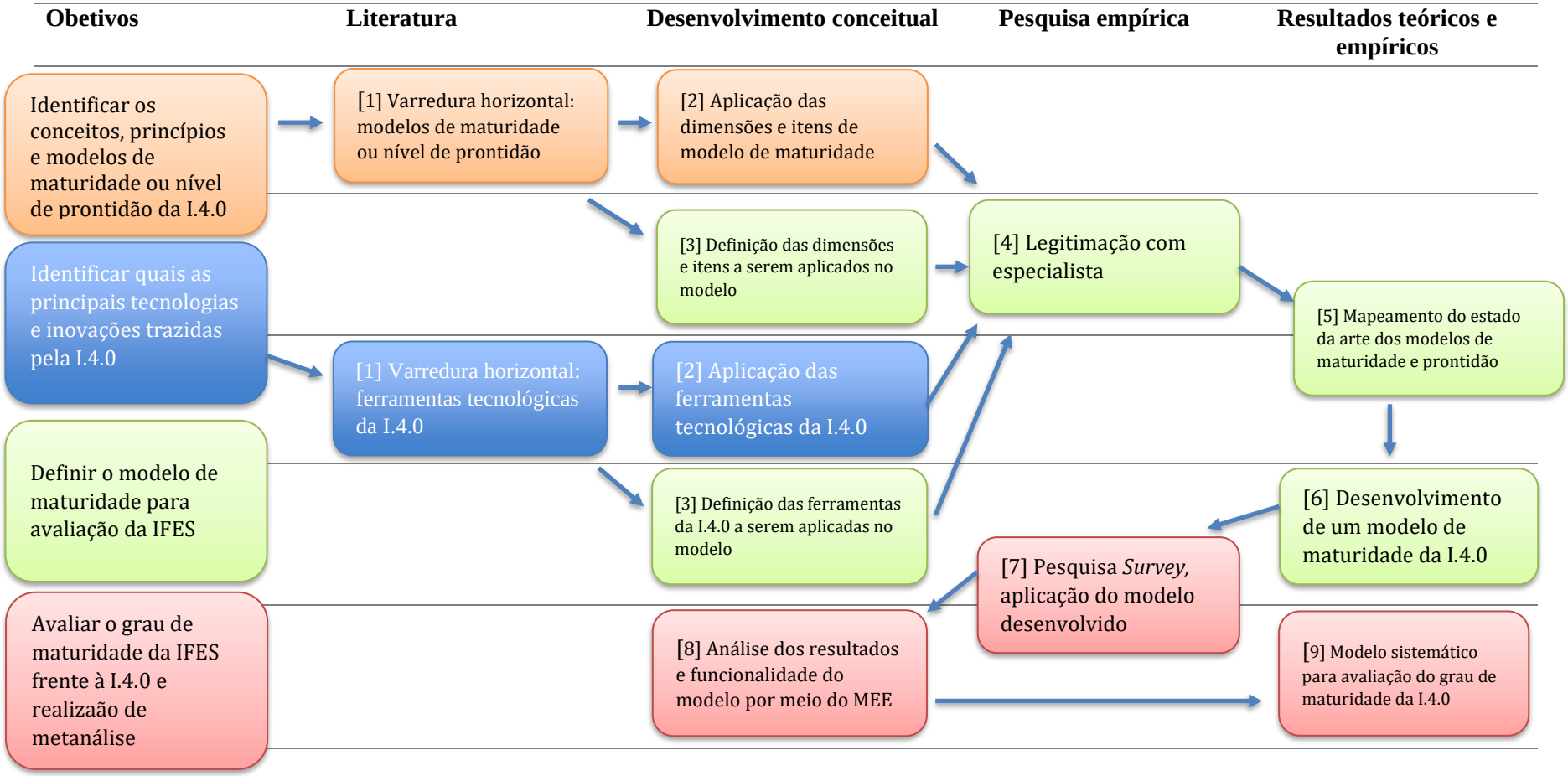
Fonte: Modelo do sistema G-Power 3.1

No capítulo 5, consta as considerações finais, trazendo o nível de maturidade atual da instituição quanto à I.4.0 nas cinco dimensões abordadas, realizou-se uma avaliação de possíveis *gaps* existentes entre a situação atual e a ideal. Este resultado traz uma oportunidade para indicar como melhorias poderão ser implementadas para adaptação da IFES frente às mudanças advindas da I.4.0. No sexto e último capítulo, constam todas as referências bibliográficas.

3.6 Fases do Trabalho

As fases do projeto de pesquisa podem ser localizadas cronologicamente ao longo do seu período de investigação.

Figura 04: Fases do projeto de dissertação



Fonte: Adaptação modelo Santiago, (2017)

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Modelo de maturidade desenvolvido para avaliação da IFES

A IFES, objeto deste estudo, foi criada em 1906 é considerada a primeira instituição de ensino superior do Brasil, possui 96 cursos de graduação, 11 cursos de pós-graduação latu sensu, 52 cursos de pós-graduação stricto sensu, sendo 36 de metrado e 16 de doutorado. São cerca de 20 mil alunos de graduação, 2 mil de pós-graduação e 3.000 colaboradores, dentre servidores públicos como docentes e técnicos administrativos, além dos terceirizados (Portal da IFES, 2020). Como parâmetro de avaliação do modelo proposto, será utilizado o método estrutural do modelo CMMI - *Capability Maturity Model Integration*, (RUBEL *ET AL.*, 2018).

Do ponto de vista técnico, uma organização é composta de estrutura social que recebe recursos ambientais formais e estáveis e os processa para produzir saídas, podendo ser serviços ou produtos. O conjunto de procedimento para organizar a sequência para transformar entradas e saídas são chamados de processos de negócios (LAUDON & LAUDON, 2007). Uma vez feita a análise de maturidade de uma determinada organização, a melhoria da gestão ou de um processo pode ser realizada mediante a adoção de alguma abordagem ferramental como reengenharia de processos, benchmarking, engenharia de processos/gerenciamento de fuxo de trabalho, engenharia reversa e melhoria de processos baseada em modelo (KULPA & A., 2008).

O modelo CMMI já foi adotado como modelo de maturidade para avaliação nas áreas de sistemas de informação e educação em organizações como: *Association for Information Systems* (AIS), a *Association for Computing Machinery* (ACM) e a *Association for Information Technology Professionals* (AITP) (WHITE ET AL, 2013). Foi proposto um modelo de maturidade chamado de Modelo de Maturidade de Design de Curso Online (OCDMM) por Neuhauser, considerado uma adaptação do modeo CMMI para área de curso online (NEUHAUSER, 2004). Thompson propôs um modelo de maturidade do processo de aprendizagem (LPMM), com base no *Capability Maturty Model* - CMM, para ajudar os alunos a identificar os pontos fortes e fracos em suas atividades de aprendizagem, além de selecionar as estratégias mais adequadas para a aprendizagem (THOMPSON, 2004, 2006)

Diversos outros modelos na área educacional foram criados como: modelo de gerenciamento de serviços de TI para universidades chinesas com base em ITIL (Information Technology Infrastructure Library). (WANG & ZHANG, 2007); modelo de maturidade para a ciência da computação e ensino, também inspirado no CMM, denominado Computing Education Maturity Model

(CEMM) (LUTTEROTH, ET AL., 2007); modelo paracertificação de instituições de ensino, com base no CMMI, para melhorar a capacidade dos processos eminstituições, faculdades e estudantes de engenharia e tecnologia (PETRIE, GARCÍA, & GIRALDO, 2009); modelo de maturidade para informação e comunicação de Tecnologias em instituições educacionais em países em desenvolvimento (BASS, 2010). Esses modelos são exemplos relacionados a processos de áreas de negócios isoladas a uma unidade informativa da área educacional como aluno, curso, curso online, ou recursos de TI relacionados.

A partir dos modelos de maturidade abordados na metanálise e de agumas práticas realizadas na área educacional pelo mundo, foi criado um modelo que fosse aderente para análise de maturidade de uma IFES no Brasil. Uma das características principais verificados nos modelos são as dimensões analisadas de determinada instituição, e os níveis de maturidade alcançados a partir de parâmetros estabelecidos pelos autores. Nessa perspectiva, para avaliação da IFES são analisadas dimensões, itens em cada dimensão, com respectivos embasamentos teóricos.

O modelo proposto neste trabalho possui 5 grandes dimensões a seres avaliadas: Governança, Cultura, Processos, Pessoas e Tecnologia da Informação e Comunicação. Cada dimensão possui cinco itens específicos a avaliar. A pesquisa, utilizando-se do método *survey*, possui a escala *Likert* (de 01-05, onde 1 representa excelente, 02 bom, 3, regular, 4, ruim, 5- muito ruim). Esses níveis de avaliação são adaptação dos níveis respetivamente do modelo CMMI (otimizado, gerenciado, definido, organizado e inicial). Ao final, será utilizado a média das respostas, resultado em uma avaliação que ficará escalonado conforme modelo estrutural do CMMI, do 1- informal ao 5- otimizado.

O CMMI é considerado integrado porque contém as práticas necessárias para o amadurecimento em várias disciplinas: Engenharia de Sistemas, Engenharia de Softwares, Produto Integrado Desenvolvimento e *Sourcing* e Processo de Fornecedor. O CMMI possui atualmente três versões: CMMI para desenvolvimento, com foco no desenvolvimento de produtos e serviços; CMMI para Serviços, direcionado aos processos das organizações de serviço; e CMMI para aquisição, centrado em aquisição, centrado em aquisições e fornecimento de bens e serviços de terceiros (DUARTE & MARTINS, 2013).

Ainda segundo os autores, cada nível de maturidade define práticas e objetivos que a organização deve alcançar em determinada área ou dimensão. Uma organização adquirirá um nível de maturidade somente quando os objetivos desse nível e de todos os níveis anteriores forem alcançados. Para que uma organização obtenha um determinado nível de certificação, é necessário que todos processos atinjam esse nível de maturidade nessa determinada dimensão. Por se tratar de uma IFES, utilizaremos como padrão de avaliação, o CMMI para Serviços, o modelo apresenta a seguinte estrutura, com adaptação de ordem:

TABELA 03: Modelo de avaliação adotado para a IFES

Nível	**Características**	**Comportamento**
5- Otimizado	Todos engajados na melhoria contínua e refinamento do processo. Comportamento proativo	Continuamente Melhorado
4- Gerenciado	Indicadores Consistentes Metas e planos baseados em dados. Processos integrados e alinhados	Previsível e Controlado
3 – Estruturado/Definido	Procedimentos Padronizados Alto grau de Controle Início do uso de Indicadores	Padronizado e Consistente
2- Organizado	Processos Principais Definidos Compromissos recursos balanceados	Disciplinado
1- Inicial/Informal	Conceito de Processo Ausente comportamento reativo	Indefinido e Imprevisível

Fonte: Adaptação do modelo CMMI (Rubel *et al* 2018)

A partir desse pressuposto estrutural, estão apresentados o modelo de maturidade contendo as dimensões e os itens a serem avaliados na IFES. Tais elementos possuem como base teórica os doze modelos de maturidade estudados neste trabalho de diversos autores. Foram selecionados elementos aderentes a estrutura organizacional à IFES, além disso, os mesmos possuem características compatíveis com o modelo CMMI para Serviços. Na tabela seguinte, a primeira coluna indica as cincos grandes dimensões a avaliar na IFES, cada dimensão possui subdimensões ou itens a serem avaliados na pesquisa. A coluna à direita representa os autores que abordaram tais variáveis em seus respectivos modelos de maturidade ou prontidão da I.4.0.

Tabela 04: Dimensões e itens de avaliação do modelo de maturidade da IFES

DIMENSÕES E SUBDIMENSÕES	CARACTERÍSTICAS	AUTORES
1. Dimensão: GOVERNANÇA	Representa a forma como a organização é administrada. Princípios da administração pública como transparência, equidade e prestação de contas devem ser exercidas por uma instituição pública.	Schumacher *et al*, 2016
1.1 Infraestrutura da organização	O local, ambiente onde pessoas, materiais e tecnologias são alocados para o desenvolvimento dos trabalhos. Permitirá avaliar se a estrutura adequada para a prática	Lyeh *et al* (2016)

	dos princípios da I.4.0 como a descentralização e a interoperabilidade.	
1.2 Relacionamento institucional	Relações da organização frente a outras organizações de pesquisa, de educação ou indústria para parcerias estratégicas	Puchan, Zeifang & Leu (2018)
1.3 Transparência	A nova gestão pública possui como um de seus princípios a transparência. O princípio constitucional da publicidade está associado à transparência dos atos administrativos dos gestores públicos, é imperativo também da I.4.0.	Rajnai & Kocsis (2018)
1.4 Valorização de profissionais	Fator relevante para que o profissional possua desenvolvimento educacional contínuo para acompanhar as mudanças do mercado na era I.4.0	Puchan, Zeifang & Leu (2018)
1.5 Tecnologia Informação e Comunicação – TIC	É um dos elementos primordiais da I.4.0. É um item fundamental na interface máquina-homem. Representa a parte imaterial como sistemas e softwares.	Canetta, Barni & Montini (2018)
2. Dimensão: CULTURA	Representa o compartilhamento de valores e crenças pelas quais os gestores e colaboradores tomam suas decisões no ambiente laboral. Permite avaliar o conhecimento e a importância dada pelos servidores à I.4.0	Rajnai & Kocsis (2018)
2.1Compartilhamento de informações (interoperabilidade interna)	Representa um dos princípios da I.4.0. Interoperabilidade é a capacidade de dois ou mais componentes de software cooperarem, apesar das diferenças de idioma, interface e plataforma de execução. Permite avaliar a facilidade do fluxo de processos no ambiente interno institucional.	Lyeh *et al. (*2016); Moica *et al.*, 2018
2.2 Disponibilidade de informações (interoperabilidade externa)	Similar ao item anterior, permite avaliar o fluxo contínuo e de fácil acessibilidade das informações pelo público externo. A lei de acesso à informação é um imperativo à IFES. Está associado ao princípio da I.4.0 da transparência.	Puchan, Zeifang & Leu (2018)
2.3 Valorização da TIC	Permite avaliar como os gestores vem investindo em tecnologias da I.4.0 como computação em nuvem, *big data*, *system analitics*, softwares de última geração e cyber segurança. No caso particular, permite avaliar a infraestrutura e a tecnologia disponível para os servidores do CTIC.	Ganzarain & Errasti (2016)
2.4 Flexibilidade às mudanças	Representa um dos princípios da I.4.0. Será possível analisar como a IFES consegue ser ágil e flexível às mudanças do mercado mesmo tendo que ser pautada pelas regras burocráticas impostas pela Administração Pública.	Ganzarain & Errasti, 2016
2.5 Incentivo à capacitação	Qualificar é desenvolver habilidades para o exercício de novas tarefas atribuídas a um cargo. Isso importante para que os servidores aprendam novas competências necessárias à era da I.4.0. Verifica-se como os gestores da IFES no exercício de sua governança criam um ambiente de incentivo para que os servidores busquem qualificação como cursos de curta duração, MBA's e de *strictu* sensu.	Puchan, Zeifang &Leu (2018)
3. Dimensão: PROCESSOS	Processo são sequências de atividades que são necessárias para realizar as transações e prestar o serviço. Os mesmos precisam ser cada vez mais rápidos, eficientes e de baixo custo. O modo como os processos são gerenciados resultam na velocidade com os serviços são prestados na IFES, por isso sua importância em sua avaliação no contexto da I.4.0	Sjodin *et al.*, 2018

3.1 Descentralização decisória	Uma das formas de aumentar a velocidade da prestação os serviços é a descentralização das decisões, junto com a integração vertical, a descentralização corresponde a um dos princípios da I.4.0	Asdecker & Felch, 2018
3.2 Interoperabilidade	Um dos princípios da I.4.0, permite avaliar a fluidez e a compatibilidade dos softwares e sistemas operacionais trabalhem de modo integrado para a produção de processos e compartilhamento de informações.	Lyeh *et al.*, 2016
3.3 Controle e monitoramento	Representa uma das funções da administração dentro do ciclo PDCA. A ferramenta "controle" pode ser exercido de forma mais eficaz e autônoma a partir da adoção de tecnologias como big data e softwares de controle e monitoramento.	Odwazny *et al.*, 2018
3.4 Nível de digitalização	Uma das tecnologias da I.4.0 amplamente adotada pelo setor público. O nível de digitalização pode trazer importantes resultados como maior produção de serviços, redução de custos e maior controle dos processos.	Carolis *et al.*, 2017
3.5 Nível acessibilidade aos dados	Imperativo trazido pela nova gestão pública adotado pelo Brasil, citado por organismos internacionais como OCDE e ONU, permite o melhor o exercício da cidadania. A adoção de tecnologias da I.4.0 para o desenvolvimento de sites e aplicativos podem permitir melhor nível de acessibilidade dos dados.	Lyeh *et al.*, 2016
4. Dimensão: PESSOAS	Considerado o ativo mais valioso das organizações, o professional da era da I.4.0 precisa ter muitas competências como: criatividade, flexibilidade, aprender a aprender e disposto a uma educação contínua.	Odwazny *et al.*, 2018; Sjodin *et al*, 2018
4.1 Nível de conhecimento da I.4.0	Compreender qual o entendimento dos servidores sobre a era I.4.0, verificar como está a atualização, seja por leitura livre em literatura especializada, seja por meio de cursos de curta duração.	Sjodin *et al.*, 2018
4.2 Utilização de ferramentas da I.4.0 na solução de problemas pelos profissionais de TI	Verificar como o CTIC tem adotado ferramentas como orientação remota, sistemas embarcados, nuvem e sistemas de cibersegurança bem como na velocidade de respostas para problemas enfrentados recorrentemente por servidores como configuração de dispositivos, problemas de conexão de internet dentre outros.	Odwazny *et al.*, 2018
4.3 Grau de adaptação do pessoal frente às mudanças	Agilidade e flexibilidade são dois princípios da I.4.0 citados por vários autores. Entender como os servidores têm se adaptado às mudanças permite verificar como se esses princípios fazem parte ou não da cultura da IFES.	Sjodin *et al.*, 2018
4.4 Conhecimento dos funcionários para utilização das ferramentas da I.4.0	Importante no contexto da pandemia do COVID-19 em que o mundo passa, por ocasião do home office, o conhecimento acerca da utilização de softwares, aplicativos e sites institucionais tornou- esse processo de transição ainda mais acelerado.	Schumacher *et al.*,2016
4.5- Autonomia dos funcionários	Apesar do parâmetro legal burocrático imposto aos servidores, analisar dentro do princípio da discricionariedade, as medidas que os mesmos têm adotado dentro de suas atribuições para tomada de decisões. Este item está diretamente associado ao nível de descentralização decisória dos processos.	Schumacher *et al.*,2016; Puchan, Zeifang & Leu (2018)
5. TIC	Um dos principais pilares da I.4.0, tem sido o desenvolvimento de novas tecnologias relacionadas à TI. Quatro elementos o compõem: infraestrutura de informação, controles e dispositivos, rede de conexão e política de cibersegurança. Permite avaliar como os investimentos em TIC tem sido feito na IFES.	Moica *et al*, 2018; Odwazny et al, 2018

5.1 Infraestrutura tecnológica	Hardwares, softwares, dispositivos de última gestão, sistemas de cibersegurança, qualidade de conexão de internet. Para compreender o nível de importância dada pela governança da IFES em estabelecer adequadas dos profissionais em exercer suas funções;	Rajnai & Kocsis, 2018
5.2 Nível de comunicação para resolução de problemas via sistemas	Permite avaliar como ocorre a comunicação entre servidores do CTIC e servidores administrativos, gestores e docentes, sem o entrave da utilização dos jargões presentes no vocabulário dos profissionais de TI.	Odwazny *et al.*, 2018
5.3- Sistemas de informação	Verificar como os sistemas informacionais (exs: COMPRASNET, SEI, SICAF, SIAFI, sites institucionais e sistemas embarcados) tem sido utilizado no contexto da I.4.0	Canetta, Barni & Montini (2018)
5.4- Acessibilidade de informações via TIC	Corroborado pela Lei de Acesso à Informação, permite avaliar como dispositivos, aplicativos e sistemas tem sido adotado para que clientes internos e externos tem acesso aos dados com segurança e facilidade para o exercício de sua cidadania. Associado ao importante princípio da I.4.0: transparência.	Lyeh *et al.*, (2016)
5.5- Segurança em TI	Analisar a percepção de segurança da informação pelos servidores, associado ao nível de investimento e importância dada à governança da IFES para a proteção de seus dados. Instituições públicas e privadas têm sido alvo cada vez mais de ciber-ataques. Como a IFES tem se preparado para enfrentar esses problemas?	Doucek 2019

Fonte: Autoria própria partir dos modelos adotados pelos autores (2020)

Segundo o Institui Brasileiro de Governança Coorporativa (IBGC, 2020), o termo **Governança**, originariamente nascido no setor privado, representa o sistema na qual as empresas e demais organizações são dirigidas, monitoradas e incentivadas envolvendo o relacionamento entre sócios, diretoria, conselho de administração, órgãos de fiscalização e demais partes interessadas. Possui princípios básicos como a equidade, a transparência, a *accountability* e a responsabilidade coorporativa. No aspecto da governança pública, representa uma reestruturação do Estado por meio de uma ação coordenada baseada na transparência e no compartilhamento pelo Estado, pelas empresas e pela sociedade civil com objetivo de procurar soluções inovadoras dos problemas sociais, criando oportunidades para um desenvolvimento sustentável para todas as partes envolvidas (LOFFER, 2001)

Nesse contexto, a governança pública está ligada ao novo modelo gerencial adotado pelo Estado, pautados nos princípios da eficiência, da transparência e da prestação de contas dos governantes perante os administrados. É uma forma de aproximar à sociedade do Estado, de trazer melhorias dos gastos públicos, e de prestação de melhores serviços públicos à sociedade. Segundo a ONU e OCDE (2020), a governança pública deve estar pautada nos elementos estruturais como gestão, responsabilidades, transparência e legalidade do setor público (KISSLER & HEIDEMANN 2006)

A partir desses pressupostos, decidiu-se de forma arbitrária, para os aspectos que serão avaliados dentro da dimensão governança: a) Infraestrutura da organização por ser um elemento fundamental, onde as pessoas e materiais são alocados para o desenvolvimento dos trabalhos, uma

infraestrutura adequada, posto ser fator altamente relevante para a prestação dos serviços à sociedade. b) Relacionamento porque precisa se associar a outras organizações de pesquisa, de educação ou indústria para parcerias estratégicas. O nível de qualidade desse relacionamento é relevante porque pode mostrar como os gestores tem feito conquistas no campo diplomático afim de potencializar a cooperação para realização de pesquisas ou a coordenação no desenvolvimento de estudos e novas tecnologias, gerando impacto efetivo à sociedade.

O terceiro elemento é a transparência (c), ligado diretamente a um dos princípios estabelecidos pela ONU, ODCE e IBGC. A transparência está relacionada também à prestação de contas que os gestores precisam realizar as partes interessadas (*stakeholders*); um dos princípios constitucionais para a Administração Pública é a publicidade dos seus atos, está associada diretamente ao princípio da transparência. A valorização dos profissionais (d) porque indica como a gestão vê seus colabores, como os incentiva à qualificação, está associada a competência que o colaborador possui para o desenvolvimento de suas atividades a partir do seu desenvolvimento contínuo. Por fim, o elemento diretamente associado à I.4.0, a TIC (e). A I.4.0 tem em seu contexto, o desenvolvimento da Tecnologia da Informação e Comunicação como um dos principais atores para a melhoria da interoperabilidade, melhorias do fluxo de processos e a implantação da digitalização.

A segunda dimensão utilizada no modelo de maturidade é a **Cultura.** Também chamada de cultura organizacional, é vista como uma condição para se tornar membro de uma determinada organizacional. Ela pode ser caracterizada como o compartilhamento de valores e crenças, princípios do qual se norteiam os objetivos e as decisões de seus integrantes, geralmente criada por seus líderes ou fundadores, é repassada ao grupo para aprender a resolver problemas de adaptação interna ou externa (EMMANUEL, 2017; HILLARY, 2018)

Para Sureci (2017) e Lubis & Hanum (2019) a cultura organizacional é um conjunto normativo de princípios, valores, símbolos e linguagem em comum compartilhado por um determinado grupo de indivíduos. É capaz de superar desafios ambientais de forma conjunta para resolução de problemas. Representa uma parte inseparável do ambiente organizacional, capaz de criar um sentimento de orgulho e união dentro da instituição. Uma cultura forte terá maior influência sobre os colaboradores se se apoiar em padrões éticos elevados, ela é projetada para determinar comportamentos que levam a resultados de desempenho (WAHYUNINGSIH, 2017; OWINO, 2019)

Nessa perspectiva, os cinco elementos escolhidos nessa dimensão de forma arbitrária foram: compartilhamento de informações (interoperabilidade interna), disponibilidade de informações (interoperabilidade externa), valorização do TIC, flexibilidade às mudanças e incentivo à qualificação. Compartilhamento de informações (a) está relacionado ao modo como as informações dos processos

administrativos são compartilhados dentro e entre os departamentos, a gestão desse fluxo é importante para avaliar a velocidade e a agilidade pelo qual os processos se movimentam e as decisões são tomadas. O segundo elemento (b) porque a "disponibilidade de informações" está ligada diretamente aos princípios da transparência e da *accountability* perante aos clientes e à sociedade em geral, um ambiente imposto pelo modelo do estado gerencial adotado modernamente.

O elemento c) valorização do TIC foi escolhido em função da grande variedade de tecnologias surgidas ou desenvolvidas com o advento da I.4.0 neste setor, representando um pilar fundamental desse ambiente onde as informações devem ter fluxo contínuo e ágil, tecnologias como *big data, system analitics*, inteligência artificial, computação em nuvem, segurança cibernética e novos softwares de gestão são aplicados nas instituições 4.0. O novo paradigma do TIC possibilita conexão entre coisas e a ligação homem-máquina-softwares e a digitalização (FREENEY *et al.,* 2015), permitindo acesso as informações por meio virtual de forma interna e externa, resultando em maior velocidade da tramitação de processos bem como na redução de custos como de transporte e de movimentação de pessoal.

O item d) flexibilidade às mudanças foi determinado por ser uma característica elementar da I.4.0 (QUIN *et al*, 2016; WANG *et al*, 2016; LIN *et al*, 2016). A customização e a internetização dos serviços produzem um alta potencial para acelerar a produção dos serviços. O setor público abarca grande parte das tecnologias advindas do setor privado e adapta à sua realidade. Para acompanhar as rápidas mudanças nesse ambiente, a flexibilidade de gestores e colaborares precisam ocorrer de forma contínua. É importante inclusive a maior velocidade na tomada de decisões na cúpula do poder governamental, seja em âmbito ministerial, presidencial ou de congressistas por meio de mudanças legislativas a fim de superar eventuais disfunções burocráticas que tornam o processo de mudança lento.

Por último, o elemento e) incentivo à qualificação, fator preponderante de cultura organizacional. Sem qualificação dos recursos humanos (CNI ,2016) a flexibilidade às mudanças fica comprometido. Os servidores precisam estar constantemente se atualizando quanto aos aspectos tecnológicos e regulatórios, os gestores precisam incentivar essa cultura constante de qualificação. Qualificar é desenvolver habilidades para o exercício de novas tarefas atribuídas a um cargo. É possível avaliar com esse elemento, o incentivo em que os gestores dão aos colaboradores para formação ou atualização de conteúdos técnicos necessários para as novas práticas ocorridas no cargo tais como MBA's, cursos de curta duração ou pós de *stritu sensu*.

Processos representa a terceira dimensão avaliada na IFES. Processo são sequências de atividades que são necessárias para realizar as transações e prestar o serviço (RAMASWAMY, 1996). Para Quinn (1992), o nível de importância dos processos aumenta à medida que as empresas produzem

serviços cada vez mais intelectual ou puramente intelectual. Segundo Gonçalves (2000) uma organização que precisa organizar seus processos tem como base servir ao cliente. A administração da produção e de suprimentos tem a ver com finalizar o trabalho de modo rápido, eficiente, sem erros e um custo baixo (JACOB & CHASE, 2009). Nesse contexto o processo é a engrenagem pelo qual os serviços são prestados à sociedade por meio da IFES.

A administração pública vem adotado ao longo tempo as técnicas desenvolvidas no setor privado a fim de melhorar seus processos administrativos. Processo administrativo é a sequência de atividades da Administração que visa alcançar determinado efeito previsto em lei. A lei nº 9.784/1999 é a lei que trata das diretrizes gerais do procedimento administrativo no Brasil. O procedimento administrativo é um conjunto de atos administrativos, sucessivos e contentados, praticados pela Administração Pública com objetivo de atender determinadas finalidades de interesse público (NOVO, 2018). Os servidores têm o desafio de trabalhar baseado na eficiência (trazida pela Emenda Constitucional 19/1998) e eficácia dentro dos parâmetros dos procedimentos legais.

O primeiro elemento de análise é o nível de decisão descentralizada (a) realizada na IFES. Importante porque é possível avaliar o grau de velocidade do andamento dos processos administrativos em função da decisão não depender do despacho de chefes ou superiores, isso permite maior fluidez e agilidade no andamento dos processos de menor complexidade. O nível de interoperabilidade (b) aplicada entre sistemas informacionais é relevante para avaliar como este princípio da I.4.0 encontra-se dentro da instituição. Interoperabilidade é a capacidade de dois ou mais componentes de software cooperarem, apesar das diferenças de idioma, interface e plataforma de execução (ATIQUZZAMAN & GAEDKE, 2019). A aplicação desse conceito é importante porque permite as informações serem processadas com mais fluidez, sem o entrave das eventuais incompatibilidades entre os sistemas operacionais utilizados.

O nível de controle e monitoramento (c) é relevante por poder mostrar como os gestores lidam com o exercício de suas funções primordiais como o controle e o monitoramento. O controle aliás faz parte de uma das famosas técnicas da administração, o ciclo PDCA (*Plan, Do, Control e Action*), ou seja, planejar, fazer, controlar e agir. O nível de digitalização (d) é o quarto elemento, um dos principais fundamentos para descobrir o grau de maturidade da IFES diante da implantação dessas tecnologias. Um alto grau de digitalização de seus processos permite uma maior celeridade na prestação de serviços para seu público interno e externo, melhora a interoperabilidade e reduz custos para a organização.

O quinto e último elemento da dimensão Processos é o nível de acessibilidade (e) dos dados via sistemas informacionais para o público interno e externo à IFES. Importante saber seu grau de

maturidade porque representa um dos elementos de verificação do cumprimento do princípio da publicidade trazida pela constituição bem como da transparência e da *accountability*, paradigma da nova gestão governamental. A vivência desses conceitos pela instituição permite também a possibilidade do desenvolvimento da cidadania.

A quarta dimensão destacada são as **Pessoas**, um pilar fundamental sem a qual as organizações não funcionam. Para muitos teóricos da gestão de pessoas, é o ativo intangível mais valioso que uma organização possui. No século XXI, Marras (2017) afirma que as pessoas foram redescobertas na essência e na plenitude, a empresa precisa procurar um profissional com várias competências: criativo, capacidade a executar tarefas com flexibilidade, ser bem informado, curioso, crítico, possuir espírito de liderança e saber trabalhar em equipe. Professores como Novak (1981) e Gowin (1984) já afirmavam na década de 80 que mais importante do que aprender ou adquirir conhecimento, é aprender a aprender.

Grandes empreendedores que estão à frente das maiores empresas de tecnologias do mundo (2020) como Mark Zuckerbeg (Facebook), Elon Musk (Tesla), Jeff Bezzos (Amazon) e Larry Page (Google) possuem o hábito de estar sempre aprendendo e se adaptando aos movimentos rápidos do mercado. Mais importante do que ter informação, é saber filtrar as informações, separar as que são relevantes das que não são, necessário para não perder o foco e a produtividade do profissional. Nesse contexto, o modelo de gestão no setor público, que possui características como burocracia e impessoalidade, encontra desafios para acompanhar os impactos que vem sofrendo internamente. Foi necessário a partir da Nova Gestão Pública, a adoção de um Estado mais flexível, descentralizado, eficiente e de melhor qualidade orientado ao cidadão (BRESSER-PEREIRA, 1998; COSTA, 2008; PETERS, 2008), isso passa pela qualificação constante dos servidores.

Considerando essas mudanças de paradigmas e de criação constante de novas, o primeiro elemento dessa dimensão é o (a) nível de conhecimento da I.4.0. Foi realizada uma pesquisa para saber qual o nível de informação ou de conhecimento acerca do que ocorre no mundo nesse contexto. Isto porque a IFES sobre impactos e influências de novas tecnologias como a digitalização e a utilização de novos softwares. A pandemia ocasionada pelo coronavírus COVID-19 (2019-2021) trouxe mudanças como a adoção imperiosa do trabalho *home office*, o que fez acelerar esse processo na relação de servidores e utilização dessas novas tecnologias.

O segundo elemento de avaliação foi a (a) utilização das ferramentas tecnológicas advindas da I.4.0 para resolução de problemas por meio da TI tais como robôs, orientação e interferência remota computacional, utilização de armazenamento em nuvem, *system analitics* para diagnóstico de problemas na infraestrutura cibernética, utilização de cyber segurança para proteção dos sistemas de informação utilizados pelos servidores, dentre outros. O terceiro elemento é o (c) grau de adaptação

das pessoas frente às mudanças sofridas na instituição. Descobrir como os servidores têm reagido e se adaptados na utilização de novas tecnologias, estando associado ainda como estes têm buscado conhecimento ou se atualizado por meio da qualificação para executar novas atribuições como utilização de novos softwares, e como têm prestado contas à sociedade por meio dos sites institucionais e redes sociais.

O quarto elemento de impacto na dimensão Pessoas é identificar qual o (d) grau de conhecimento dos colaboradores acerca das novas tecnologias da I.4.0. Avaliar o grau de maturidade e de prontidão destes profissionais para uso dessas novas ferramentas. O quinto e último elemento dessa dimensão é verificar qual o grau de autonomia dos servidores da IFES (e) na utilização das ferramentas tecnológicas para resolução de problemas, utilizando-se de características inerentes ao profissional do século XXI como a inventividade, a criatividade e à flexibilidade dentro da margem da burocracia legal governamental.

A quinta e última dimensão avaliada á a **TIC**, a dimensão trazida por dez dos dozes modelos de maturidade estudados neste trabalho, trata-se um elemento fundamental em que está baseada a I.4.0. Para Akidil *et al*., (2018) uma estrutura adequada de TIC está estruturada sob o fundamento de quatro características: infraestrutura de informação (hardware e software), controles e dispositivos (sensores atuadores, controles de motor, interruptores) que recebem e alimentam os dados, rede de conexão que movem tudo isso e políticas de segurança. Computação em nuvem e digitalização têm sido uma das ferramentas mais utilizadas pela organização em seus processos administrativos.

A adoção dessa dimensão para o estudo importa porque diversas organizações têm apresentado resultados como diminuição de erros de dados causado por humanos, aumento da eficiência operacional, aumento do nível de atendimento ao cliente e a diminuição dos custos (MUHAMMAD *et al*., 2014). Olah *et al.*, 2018 afirma que os investimentos em TI permanecerão um constante importante nos próximos anos. O desenvolvimento e o aproveitamento das melhores tecnologias podem gerar vantagens competitivas e maiores recompensas em termos financeiros. A TIC faz parte do processo para a implementação da agilidade, flexibilidade e da *accountability* na IFES, princípios fundamentais do paradigma I.4.0.

O primeiro elemento, (a) infraestrutura tecnológica foi uma escolha arbitrária baseada na sua importância quanto aos recursos de hardwares, softwares e conexão de internet utilizada pelos servidores. A qualidade e a responsividade com que estes elementos dão ao usuário-servidor determinará o nível adequado ou não de maturidade. O segundo, (b) nível de comunicação para resolução de problemas via sistemas, tem o propósito de verificar o nível de satisfação ou qualidade com que os problemas referentes aos processos administrativos são resolvidos entre departamentos,

bem como avalia o nível de qualidade da própria infraestrutura de comunicação como a facilidade com que usuários (internos e externos) utilizam os sistemas informacionais, e o grau de resolução de problemas resolvidos sem que o cliente precise estar presencialmente na IFES.

A velocidade e a facilidade de comunicação entre servidores que produzem atividades-fim (serviços aos clientes como alunos e outros servidores) com a equipe técnica (servidores) do CTIC para resolução de problemas, tais como atualização de softwares, conexão com a internet ou configuração de dispositivos físicos como computadores, impressoras e roteadores. Os sistemas de informações (c), terceiro item avaliado, visa identificar como estes são vistos por seus usuários quantos aos princípios da ciber-informação como acessibilidade, autenticidade e inviolabilidade dos dados. Os portais e sítios eletrônicos institucionais precisam ser fáceis de serem acessados ao cidadão comum conforme Decreto Lei 9094/2017, que trata da simplificação do atendimento prestado aos usuários, bem como orientação do Tribunal de Contas da União. A IFES utiliza de vários sistemas informações como o SEI e outros sistemas dentro do Sistema Integrado de Administração de Serviços Gerais (SIASG) do governo federal como o COMPRASNET, SICAF, SIAFI, E-DOC além de sites institucionais, muitos deles contendo informações armazenadas em nuvem por meio de contrato com a empresa de tecnologia Google.

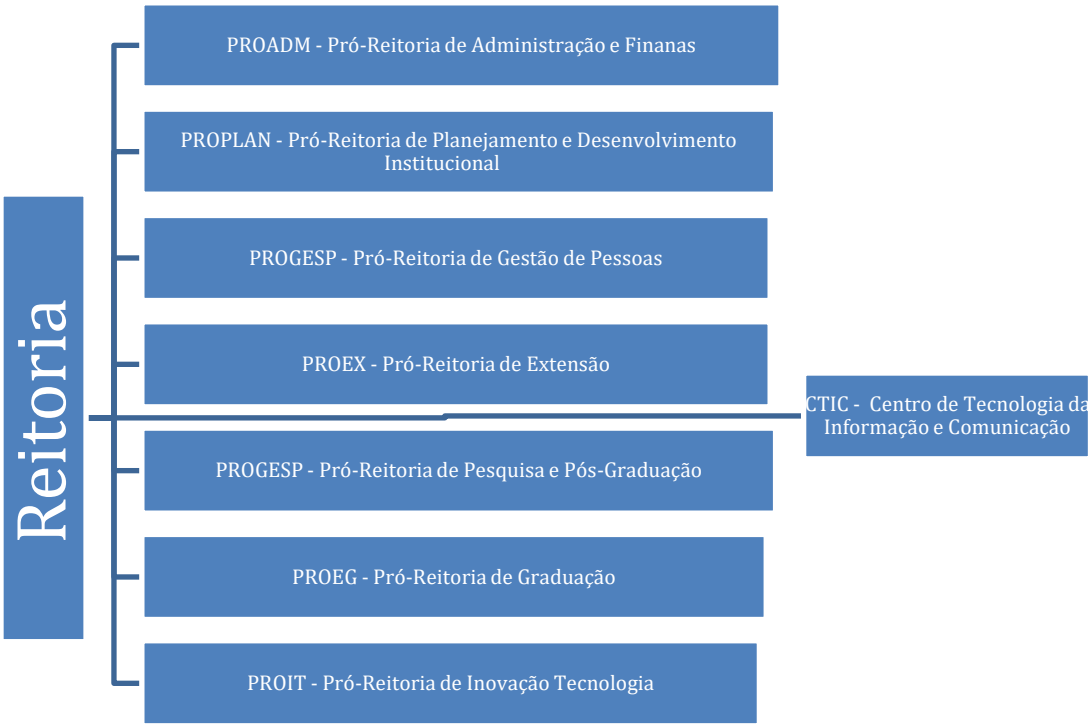
A Lei de Acesso à Informação (12.527/2011), impõe ao Estado (subsequentemente um imperativo nas atividades dos servidores), a observância da publicidade como preceito geral, sendo o sigilo exceção, divulgação de informações de interesse público, utilização de meios de comunicação viabilidade pela TI, fomento ao desenvolvimento da cultura da transparência no setor público e desenvolvimento do controle social da administração pública, por isso, a escolha imperativa do quarto item – acessibilidade das informações (d). A avaliação do item trará um diagnóstico de como os servidores enxergam o nível de acessibilidade dos dados públicos pelo interessado.

A segurança da informação (e) como último fator de avaliação, é relevante porque toda a informação dos dados públicos precisa ser autêntica e inviolável. Ataques cibernéticos contra empresas e Estados tem sido cada vez mais comum nos últimos anos. O GSI é o órgão governamental responsável pela administração da cibersegurança nacional no Brasil. Este item revelará como os servidores avaliam o nível de segurança com que o mesmo tem sobre os sistemas operacionais.

4.2 Aplicação do modelo de maturidade

O processo de levantamento de dados deu-se pela aplicação via virtual do questionário *survey* de perguntas fechadas a uma amostra de 64 servidores federais da IFES, ligados a setores-chave da instituição. A seguir a estrutura administrativa na qual fora aplicado a pesquisa.

Figura 05 – Parte do organograma da IFES



Fonte: Adaptação do site oficial da IFES

Sete pró-reitorias são subordinadas diretamente à reitoria e um Centro de Tecnologia da Informaçao e Comunicação - CTIC, ligado indiretamente (*staff*), por se tratar de um órgão suplementar. Foram consultados por meio de questionário virtual 64 servidores ligados aos setores técnicos-administrativos, ao CTIC e aos docentes efetivos da IFES. A amostra adequada, conforme cálculo realizando pelo software G-Power, considerando o índice de confiança de 0,95 e margem de erro de 5%, são de 63, utilizamos, portanto, de um a mais. O perfil dos entrevistados ficou distribuída da seguinte de forma: 49,2% de técnicos administrativos (inclusive servidores do CTIC), 46% de professores, 3,2% gestores e 1.6% staff.

A IFES, objeto da avaliação, possui como missão “Cultivar o saber em todas as áreas do conhecimento por meio do ensino, da pesquisa e da extensão, contribuindo para a formação de cidadãos e para o desenvolvimento da Amazônia” e visão “Reconhecimento pela excelência alcançada no ensino público, na produção científica e na contribuição para o desenvolvimento social;, servidores capacitados, valorizados e comprometidos com a Missão, Infraestrutura adequada para a missão, Gerenciamento eficaz apoiado por informação dos processos administrativos, acadêmicos e técnicos” (Portal oficial da IFES, 2020).

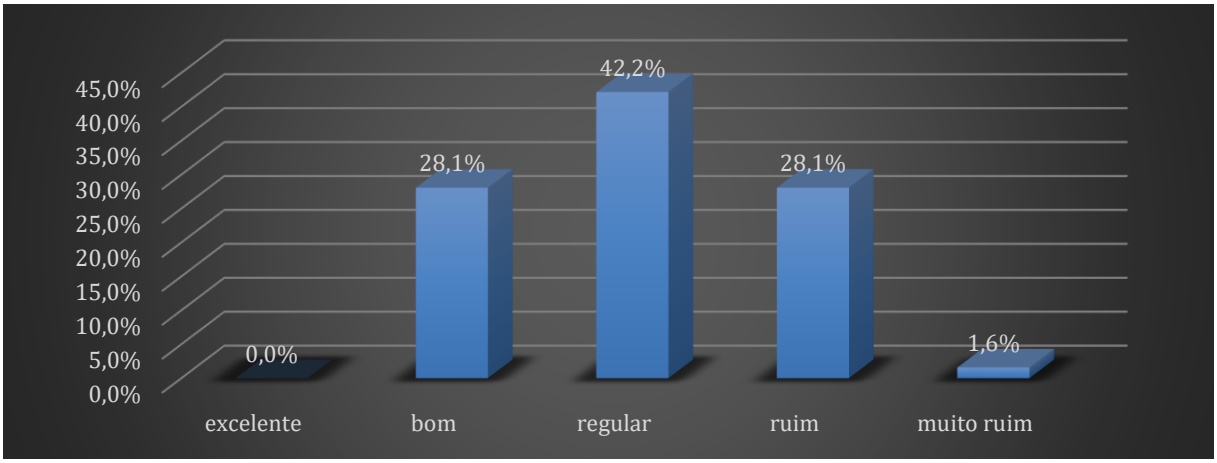
4.3 Resultados gerais da pesquisa

A seguir, os resultados da avaliação nas dimensões propostas pelo modelo:

4.3.1 Governança

4.3.1.1 Nível de adequação Infraestrutura frente à I.4.0:

Gráfico 1 – Gov_Infra



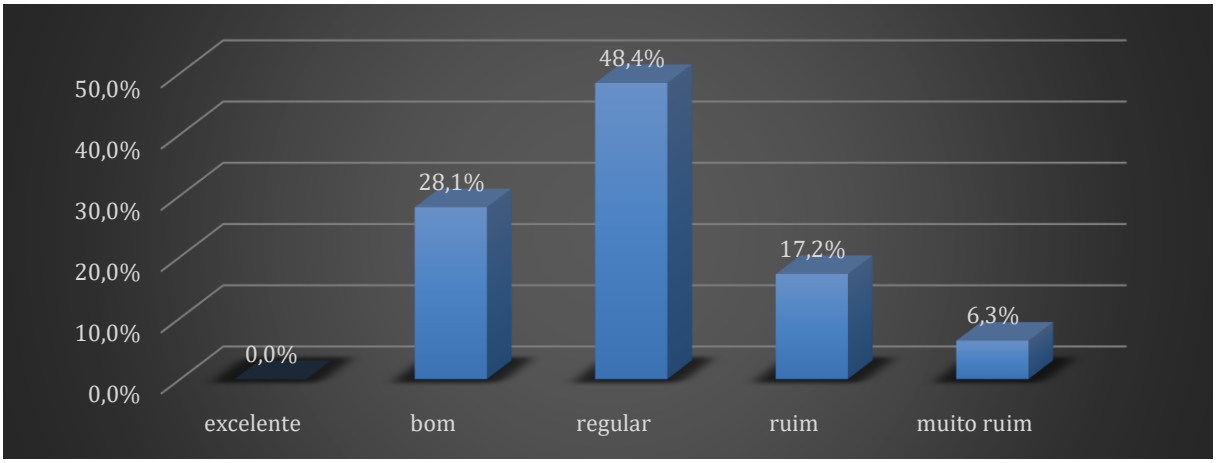
Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

Dos 64 entrevistados, 01 classificou a infraestrutura como muito ruim, 18 a classificaram como ruim, 27 como regular, 18 disseram ser boa, e nenhum avaliou como excelente. Esses dados demonstram que mais de 70% dos entrevistados avaliam a infraestrutura da IFES como muito ruim, ruim ou regular. De acordo com esses dados, a IFES possui um grave problema de infraestrutura, representando necessidades de investimentos em itens relacionados ao tema como estrutura predial,

espaços, logística interna, energia elétrica, água, internet, iluminação dentre outros. Uma organização sem uma infraestrutura ou investimentos de manutenção adequada pode comprometer todo o fluxo de trabalho dos servidores, corroborando por um serviço de baixa qualidade em relação à finalidade última da instituição: a educação.

4.3.1.2 Nível de relacionamento da IFES com outras instituições para o desenvolvimento da I.4.0:

Gráfico 2 – Gov_Relac

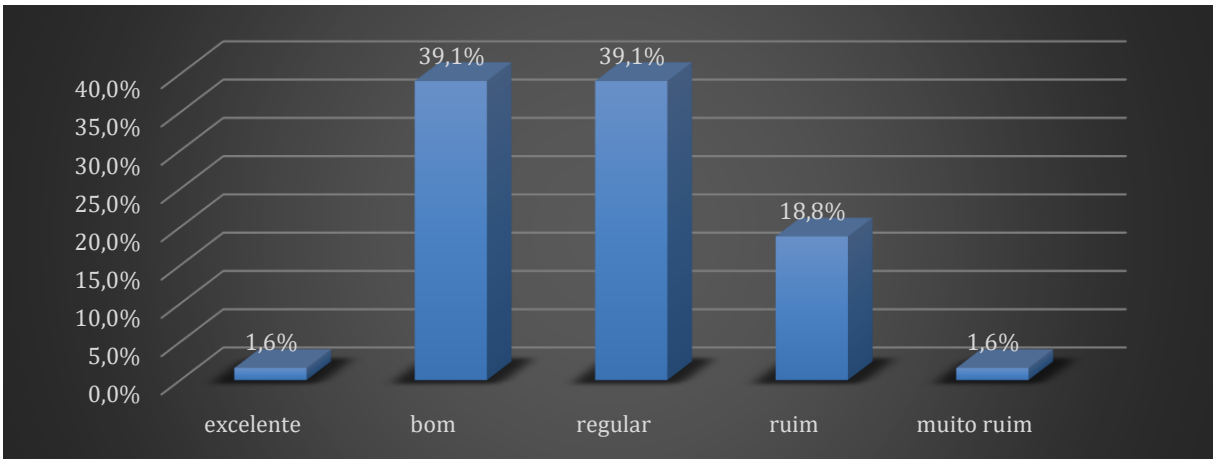


Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

No que se refere ao nível de relacionamento a IFES com outras instituições, 4 dos entrevistados avaliaram como muito ruim, 11 classificaram como ruim, 31 afirmaram ser regular, 18 consideraram como boa, e nenhum avaliou como excelente. Esses números mostram que quase metade dos entrevistados avaliaram como regular, e cerca de ¼ avaliaram como ruim ou muito ruim. Isso demonstra uma deficiência significativa do relacionamento da instituição com parceiros da educação, da pesquisa ou da indústria para o desenvolvimento da I.4.0. Maior nível adequado de cooperação e colaboração por meio do compartilhamento de informações e tecnologias poderia elevar o nível de maturidade neste aspecto. Corrobora Shwab (2016) nesse conceito ao afirmar que diferentes opções de colaboração e parcerias de negócio são um novo imperativo necessário na era da I.4.0. Como um dos principais aspectos da governança, a avaliação deste item demonstra a necessidade da IFES melhorar sua comunicação e cooperação com instituições parceiras a fim de atrair recursos, tecnologias e desenvolvimento de novas práticas da I.4.0.

4.3.1.3 Nível de transparência das decisões e ações dos gestores por meio do portal de transparência:

Gráfico 3 – Gov_Transp

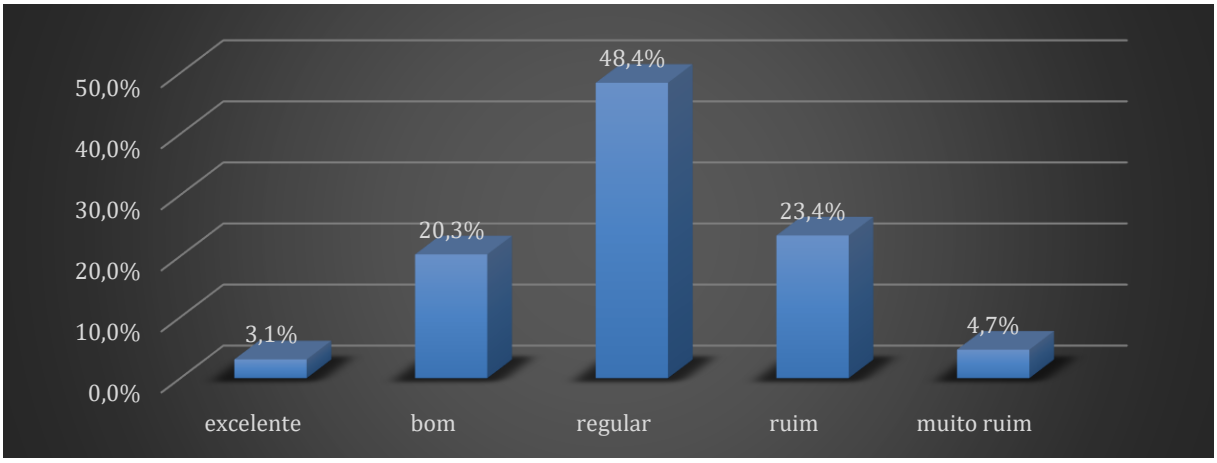


Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

O gráfico mostra que a avaliação do nível de transparência dos gestores em suas ações é considerada ruim, posto que a somatória de avaliação “muito ruim”, “ruim” e “regular” representa cerca de 60% dos entrevistados, 12 pessoas de 64 avaliaram como “bom” e apenas 01 avaliou como excelente. Para avaliar este item foi levado em consideração no título da questão, a demonstração dos atos dos gestores de forma geral, como a publicitaçao das decisões por meio de portais e sites institucionais. O nível de transparência é um dos requisitos fundamentais para a habilitação de uma organização para o alcance de um alto nível de maturidade (LYEH *et al*, 2016), além de representar um dos principais elementos da nova gestão pública, representa um imperativo da legislação como demonstra a carta magna ao dizer em seu artigo 37 acerca do princípio da publicidade (CF, 1988). O resultado de pesquisa indica a necessidade de uma melhor gestão para a publicitação de atos e decisões dos gestores, que poderão utilizar além dos portais oficiais, as novas abordagens de engajamento como as mídias sociais,

4.3.1.4 Política de valorização e qualificação dos servidores frente aos novos desafios da I.4.0:

Gráfico 4 – Gov_Qualif

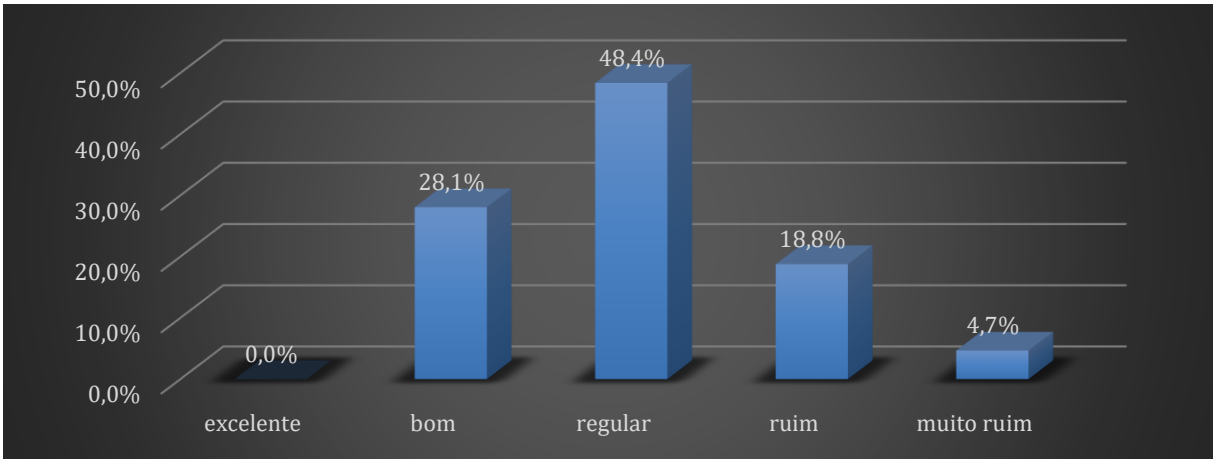


Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

Nesse aspecto, quase 50% dos entrevistados avaliaram a política de valorização e qualificação dos servidores como regular, 3 dos 64 avaliaram como muito ruim, 15 consideraram ruim, 13 afirmaram ser bom e apenas 2 avaliaram como excelente. Muitos autores especialistas em Recursos Humanos afirmam que o ativo mais valioso são as pessoas, o motor do funcionamento de uma organização (ARMSTRONG, 2005; DESSLER, 2013). No entanto, fica cada vez mais evidente que o operacional do chão de fábrica, trabalhadores passam a ser cada vez mais descartáveis na medida em que aumenta a automação no contexto da I.4.0. Os trabalhadores terão o desafio de se reinventar e buscar novas qualificações no setor de TI para torna-se os novos especialistas em softwares, big data, analistas de sistemas, programadores, e ciência dos dados. Dado esse contexto, o incentivo à qualificação pela gestão é avaliado por quase 1/3 dos entrevistados como “ruim” ou “muito ruim”, e quase metade consideram “regular”. Levando em consideração a maior estabilidade dada aos servidores estatutários em comparação aos contratados celetistas, causa dificuldade na tomada de decsao dos gestores, quando da necessidade de eventual demissão daqueles que não se fazem mais necessários ao órgão público, isso representaria uma medida para fins de redução dos custos. Nesse diapasão, torna-se mais imperativo a qualificação desses colaboradores a fim de aproveitá-los para alcançar um serviço mais eficaz e eficiente para a instituição no contexto da I.4.0.

4.3.1.5 Gestão tecnológica da IFES frente à I.4.0:

Gráfico 5 – Gov_Tecno



Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

No aspecto da gestão tecnológica na IFES, os resultados são similares à avaliação do item anterior. Dos 64 entrevistados, 3 disseram ser muito ruim, 12 afirmaram ser ruim, 31 avaliaram como regular, 18 compreenderam ser uma boa gestão tecnológica e nenhum avaliou como excelente. Como parâmetro, faz-se recomendável aos gestores acompanhar as boas práticas das universidades nacionais e internacionais para realizar investimentos para aquisição de novas tecnologias relacionadas a TI da I.4.0. Conforme SIMONS, ABÉ & NESER, 2017, para o desenvolvimento robusto da I.4.0, é necessária a integração de elementos como compreensão interdisciplinar de sistemas, processos produtivos, tecnologias da automação e da informação, princípios de ergonomia e conhecimento dos processos de negócios. Nesse contexto, a avaliação da IFES mostra o resultado muito abaixo do que seria ideal para um alto grau de maturidade, torna-se necessário mais investimento em novas tecnologias em ferramentas para os servidores especialistas do CTIC, bem como maior qualificação nessa área para servidores e docentes.

4.3.1.6 Avaliação geral da dimensão: GOVERNANÇA

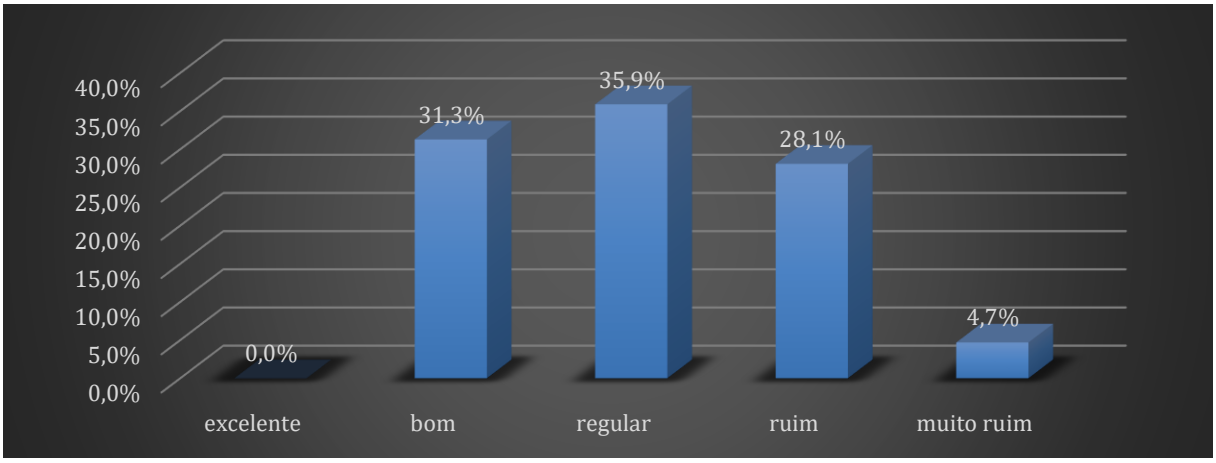
Governança é uma das dimensões destacadas pelo modelo de maturidade “Um modelo de maturidade para avaliar a prontidão e a maturidade do setor 4.0 de empresas de manufatura” de (Schumacher *et al*., 2016). Dentre os 5 itens analisados nesta dimensão, somente àquelas relacionados à transparência das decisões dos gestores e política de incentivo à qualificação de servidores obtiveram alguma avaliação em nível “01-excelente”. No aspecto geral, o nível de transparência dos gestores foi a avaliação mais positiva dos cinco itens, possuindo índice somado de ótimo, bom e regular de 79,8%. A pior avaliação ocorreu no aspecto da infraestrutura, com avaliação de ruim ou péssimo de quase um

terço dos entrevistados. Por ordem de mehor a pior avaliação: níveis de transferência das ações e decisões dos gestores, nível de relacionamento da IFES com outras instituições, gestão tecnológica da IFES, política de valorização e qualificação dos servidores, e nível de adequação de infraestrutura. A avaliação geral do nível de maturidade percebido nessa dimensão é 0,94% no nível excelente, 28,74 % no nível bom, 45,3% em nível regular, 21,26% no nível ruim e 3,78 % de avaliação considerada péssima.

4.3.2 Cultura

4.3.2.1 Nível de interoperabilidade entre departamentos interno da IFES quanto ao compartilhamento de informações:

Gráfico 6 – Cult_InteropDep



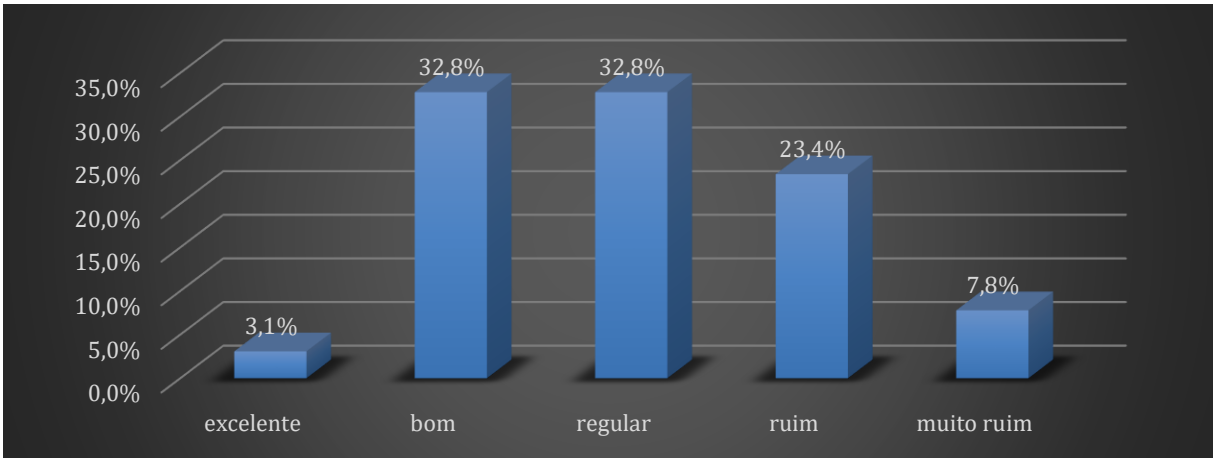
Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

Nenhum entrevistado avaliou esse requisito como excelente, 20 dos 64 afirmaram ser bom, cerca de 1/3 consideram regular, 18 dos 64 afirmara ser ruim, e 03 avaliaram como muito ruim. A interoperabilidade no compartilhamento de informações é um dos princípios da I.4.0. Significa a capacidade de dois ou mais componentes de software cooperarem, apesar das diferenças de idioma, interface e plataforma de execução (ANTÔNIO *et al.* 2018; ATIQUZZAMAN & GAEDKE, 2019). Nesse contexto a interoperabilidade no compartilhamento de informações de forma competente permite maior velocidade na produção de processos administrativo, resultando em melhores serviços para o cidadão como cliente final. O presente resultado demonstra que apenas cerca de1/3 avaliam como bom, o restante, considera regular, ruim ou muito ruim. Este resultado indica a necessidade de os gestores diagnosticarem eventuais gargalos no fluxo de informações, a fim de implementar projetos pontuais e compatíveis com a IFES. Softwares, sistemas de cibersegurança e aumento de conexão e

compatibilidade entre sistemas informacionais podem ser alvo de opções de investimentos necessários para resolver problemas de gargalos no fluxo de trabalho.

4.3.2.2 Nível de interoperabilidade de estudos e boas práticas para o desenvolvimento da inovação aberta e disponibilização com outras instituições:

Gráfico 7 – Cult_InteropEst

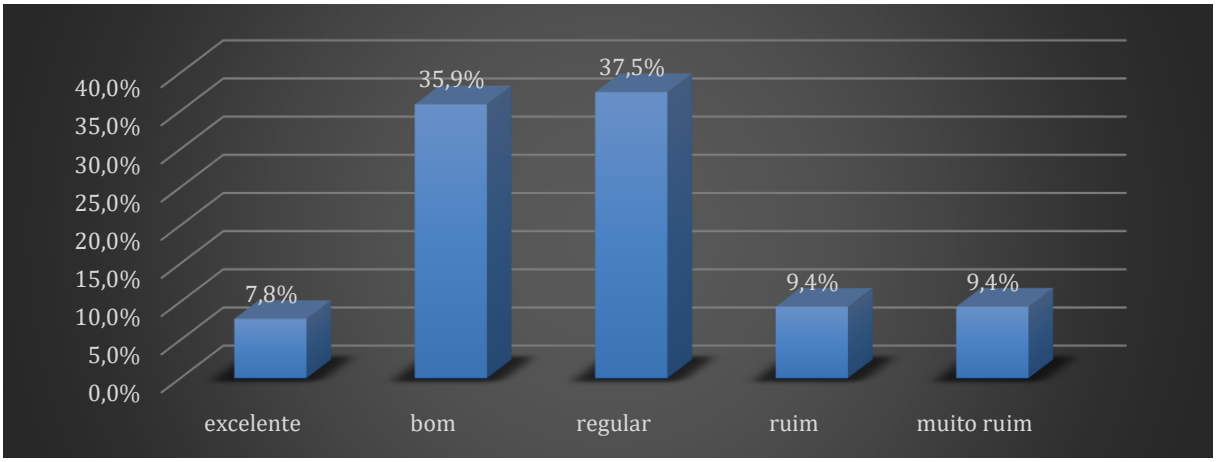


Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

Para avaliar este requisito, deve-se levar em consideração que a interoperabilidade de estudos e boas práticas poderá ocorrer com outras instituições de pesquisa ou junto à indústria. Isso é importante em função da sinergia que pode surgir para o desenvolvimento de ideias inovadoras, trazendo melhorias para os serviços prestados pela IFES. Dos 64 entrevistados, 2 afirmaram ser excelente, 21 avaliaram como boa, 21 consideram regular, 15 compreendem ser ruim, e 5 indicam ser muito ruim. Nesse aspecto, ao verificar que apenas cerca de 1/3 avaliaram como bom ou excelente, mostra que há muito potencial da IFES em cooperar com empresas e instituições de pesquisas para o desenvolvimento de novas formas de se fazer gestão ou de operação dos serviços. Isso seria possível por meio de pesquisas dos discentes junto à indústria bem como por meio dos docentes cooperando com pesquisadores de outras instituições através de boas práticas para aplicação na instituição.

4.3.2.3 Importância dada pelos gestores da IFES à TIC – Tecnologia da Informação e Comunicação:

Gráfico 8 – Cult_Tic

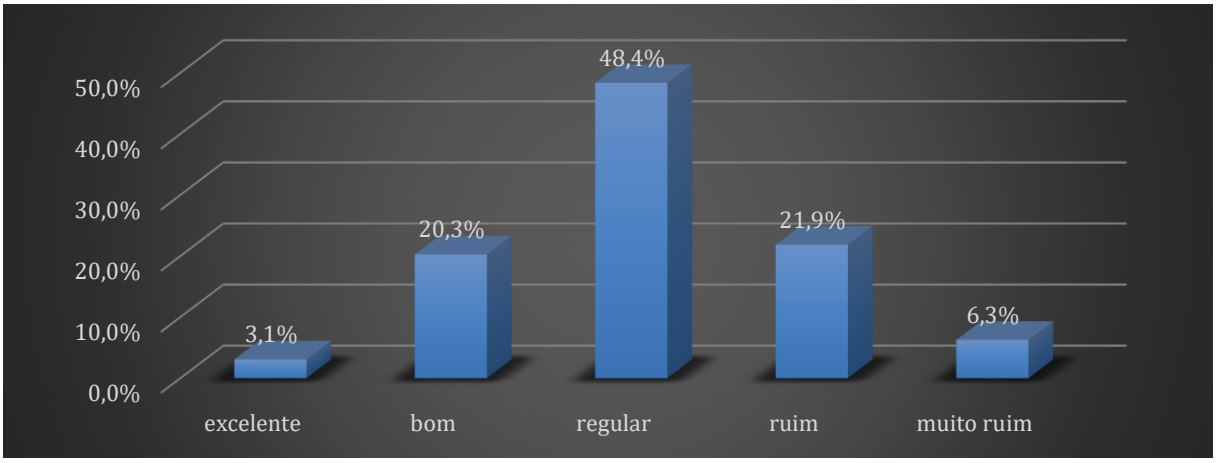


Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

Nesse aspecto, dos 64 entrevistados, 5 avaliaram como excelente, 23 disseram ser boa, 24 afirmaram ser regular, 06 compreender ser ruim e 06 argumentaram ser muito ruim. Há um equilíbrio de avaliação nos aspectos “bom” e “regular”, representando mais de 1/3 para cada um, e uma igualdade nas avaliações “ruim” e “muito ruim”. Este item possui uma das avaliações mais bem distribuídas pelas cinco opções de avaliação. A importância dada pelos gestores à TIC compromete fundamentalmente os resultados da avaliação de maturidade ou prontidão no contexto da I.4.0, vez que a aplicação dos princípios da interoperabilidade, da flexibilidade e agilidade passam muito pelo crivo do fluxo de informações intra e interorganizacional. Este elemento está diretamente relacionado ao maior ou menor grau de investimentos realizados em ferramentas tecnológicas e treinamento de servidores. O resultado representado no gráfico indica uma necessidade de novos investimentos a fim de trazer a maior parte de avaliação “regular” para os espectros “bom” e “excelente”, bem como reduzir as avaliações “ruim” ou “muito ruim”.

4.3.2.4 Grau de flexibilidade da IFES frentes às mudanças proporcionadas pela I.4.0:

Gráfico 9 – Cult_Flex

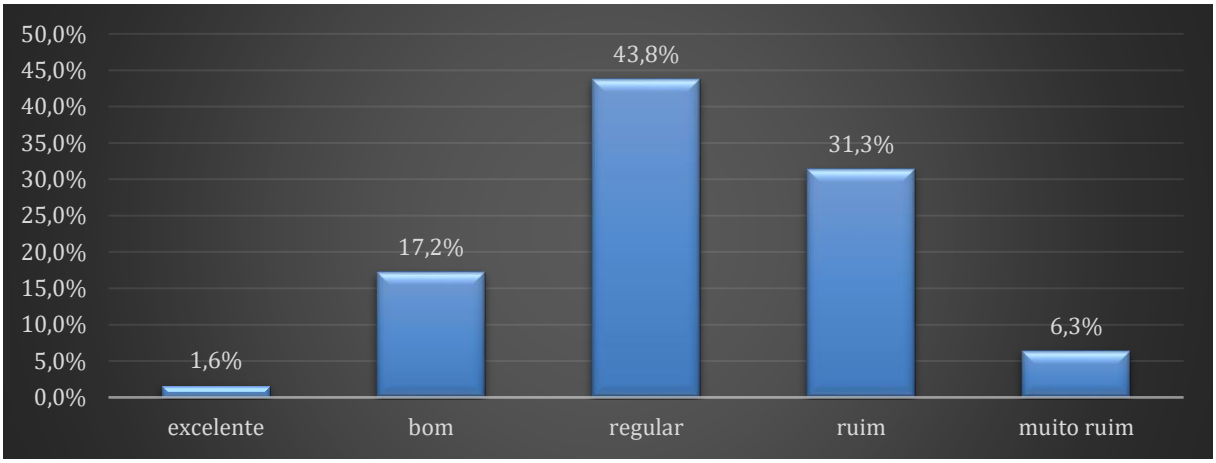


Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

A previsibilidade de mundaças no mercado e na sociedade não devem ser especulações de evetual acontecimento, pois as mudanças são certas e não especulativas . O imperativo de precoupação pelos gestores deve ser a “velocidade” e a “forma” como estas mudanças ocorrem, geralmente disruptiva no âmbito da I.4.0 A finalidade última da IFES é a educação e a formação de profissionais por meio da graduação ou pós graduação. Os desafios impostos são: como readequar grade curriculares que duram de 04 a 06 anos quando o mercado muda de forma drástica e disruptiva anualmente, tornando os prifissionais absoletos rapidamente? Como manter os docentes constantemente atualizados em suas respectivas especialidades de conhecimento? Como os servidores da atividade-meio da IFES estão se adpatando a novas tecnologias e abordagens da I.4.0 ao mesmo tempo em que devem atuar dentro do parâmetro legal? A necessidade de aplicação de princípios como a flexibildiade e agilidade vindo da I.4.0 é um imperativo, posta a necessidade de rever o planejamento que ocorrer cada vez mais em prazo menor. Nesse contexto, quase 50% avaliação a flexibildiade da IFES como “regular”, dos 64 entrevistados, 4 compreendem ser “muito ruim”, 14 avaliaram como “ruim”, 13 afirmam ser “bom”, e apenas 2 disseram ser “excelente”. A maior parte dos entrevistados avaliar como “regular” pode representar uma avaliação que não muito ruim, mas também indica um grade potencial de melhoria, podendo trazer boa parte da avaliação “regular” para os espectros “bom” e “excelente”.

4.3.2.5 Grau de atualização do conhecimento dos servidores para a utilização da tecnologia digital do âmbito da I.4.0:

Gráfico 10 – Cult_Atual



Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

Na sociedade do conhecimento, o governo deve realizar investimentos mais agressivos em programas de pesquisas ambiciosos, a colaboração público-privado deve estar cada vez mais voltada à construção do conhecimento. Os dados são o novo petróleo, a crescente transparência, o engajamento dos consumidores e os novos padrões de comportamento dos consumidores (que fazem sua pesquisa cada vez mais pela rede de dados móveis) forçam as empresas adaptarem o design, a propaganda e as formas de entrega de produtos e serviços existentes e novos (SCHAWB, 2016). Isso não difere das instituições públicas, que por sua vez, devem ser adaptar constantemente às mudanças da sociedade, resguardada as devidas peculiaridades. Nesse aspecto, foi possível verificar como o governo, na figura dos gestores públicos, tem investido nos servidores para atualização de conhecimento da I.4.0. O resultado mostra que, 6,3% avaliam como “muito ruim”, 31,3% disseram ser “ruim”, quase metade (43,8%) compreendem ser “regular”, 17,2% avaliam ser “bom”, e apenas 1,6% afirmaram ser “excelente”. Posto isso, a amostragem mostra a necessidade de uma atenção maior à qualificação e atualização de novos conhecimentos para os servidores, tendo em vista que quase 1/3 avaliaram como “ruim”.

4.3.2.6 Avaliação geral da dimensão**:** CULTURA

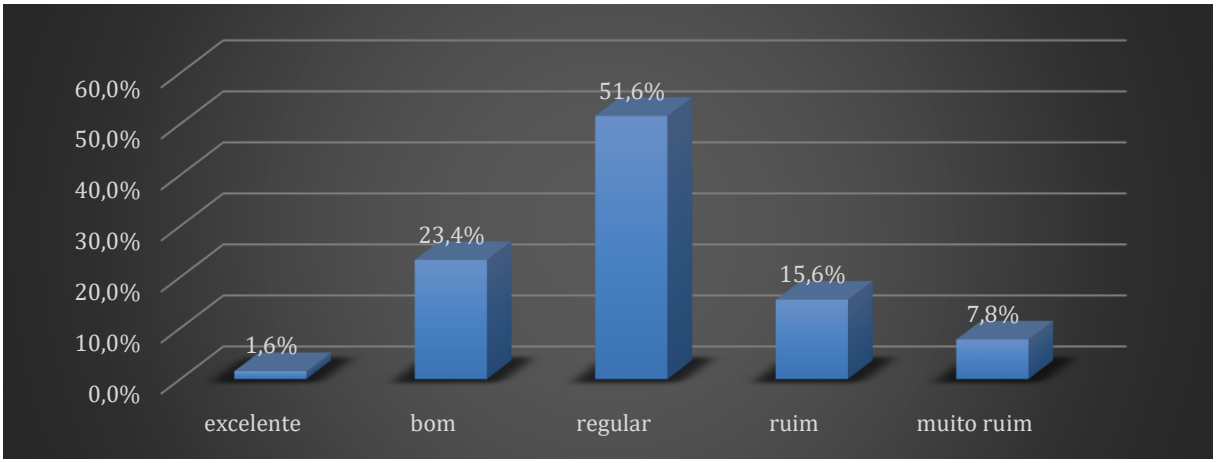
O item relacionado à importância dada pela gestão à TIC possui a melhor avaliação, tendo como ótimo, bom e regular o percentual de 81,2%, foi único item também em que o percentual de avaliação excelente foi superior a 5%. O item que requer mais atençao é o nível de atualização dos

próprios servidores perante a utilização da tecnologia digital, ou seja, voltada a ferramentas como a digitalização e a utilização de sistemas operacionais para o desenvolvimento dos trabalhos administrativos. De melhor à pior avaliação os itens estão na seguinte disposição: importância dada pelos gestores à TIC, grau de flexibilidade frente às mudanças da I.4.0, nível de interoperabilidade com outras instituições para desenvolvimento de estudos e boas práticas para inovação aberta, nível de interoperabilidade entres os departamentos para compartilhamento de informações e o grau de atualização do conhecimento dos servidores para utilização de tecnologia digital. Quantos aos cinco itens analisados, o nível geral percebido de maturidade nessa dimensão é 3,12% no nível excelente, 27,50% no nível bom, 39,68% em nível regular, 22,82% no nível ruim e 6,90% de avaliação considerada péssima.

4.3.3 Processos

4.3.3.1 Nível de descentralização decisória para maior agilidade na prestação dos serviços:

Gráfico 11 – Proc_Desc



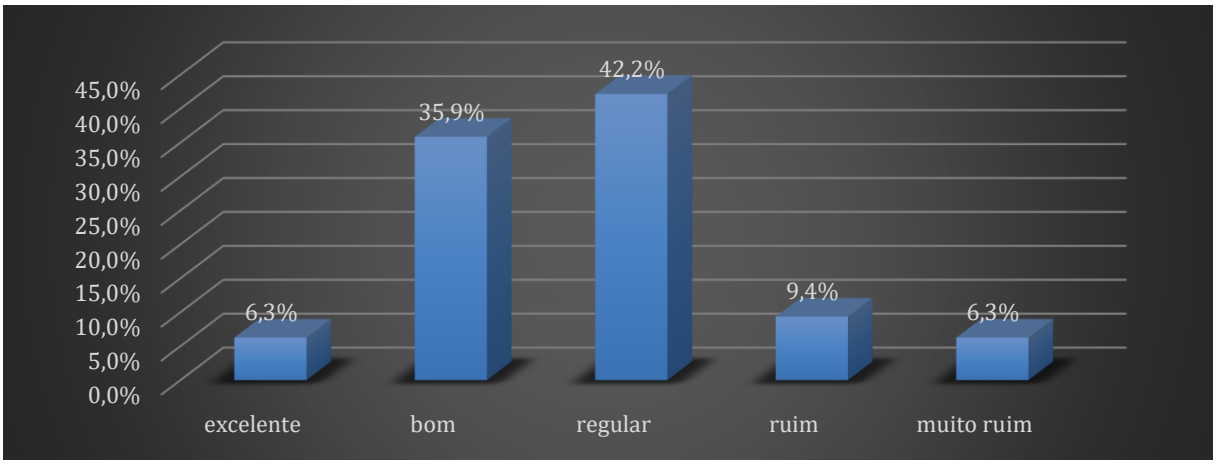
Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

Processos é um dos temas mais estudos na administração da produção, e o mesmo sofre influências fortemente das mudanças ocasionadas pela indústria 4.0. Uma gestão de processos competente é necessária para que os princípios da I.4.0 como agilidade e flexibilidade façam parte da cultura da organização. Um dos fundamentos que permite a maior velocidade dos processos é justamente a descentralização de processos, retirando decisões mais simples da cúpula da administração, e dando liberdade de ação aos operadores no final da linha do processo. Corrobora com esse argumento Antônio *et al*, 2018 ao afirmar que os princípios da I.4.0 são a interoperabilidade, a virtualização, a descentralização dos controles, a adaptação da produção em tempo real, a orientação a

serviços e sistemas modulares. Siepmanne & Graef (2016) também argumenta que a integração horizontal e vertical, a descentralização de decisões de forma inteligente, o controle descentralizado, completa integração da engenharia digital e o sistema de produção ciber-físico são princípios norteadores da I.4.0. Nesse aspecto, mais da metade dos entrevistados alegaram que a descentralização decisória ocorre de maneira regular, 23,4 % avaliaram como boa, 1,6% dissertam ser excelente. Em relação àqueles que estão insatisfeitos, 15,6% avaliaram como ruim, e 7,8 afirmaram ser muito ruim. Em comparação a outros itens avaliados nessa dimensão, este não representa uma das piores avaliações, tendo em vista que o somatório de "regular" e "bom" representam 75% dos entrevistados. No entanto, uma atenção especial e a adoção de novas formas de gestão pontuais podem diminuir o percentual de 25% restantes que avaliaram como ruim ou muito ruim.

4.3.3.2 Grau de interoperabilidade no compartilhamento de processos administrativos entre os departamentos:

Gráfico 12 – Proc_Interop



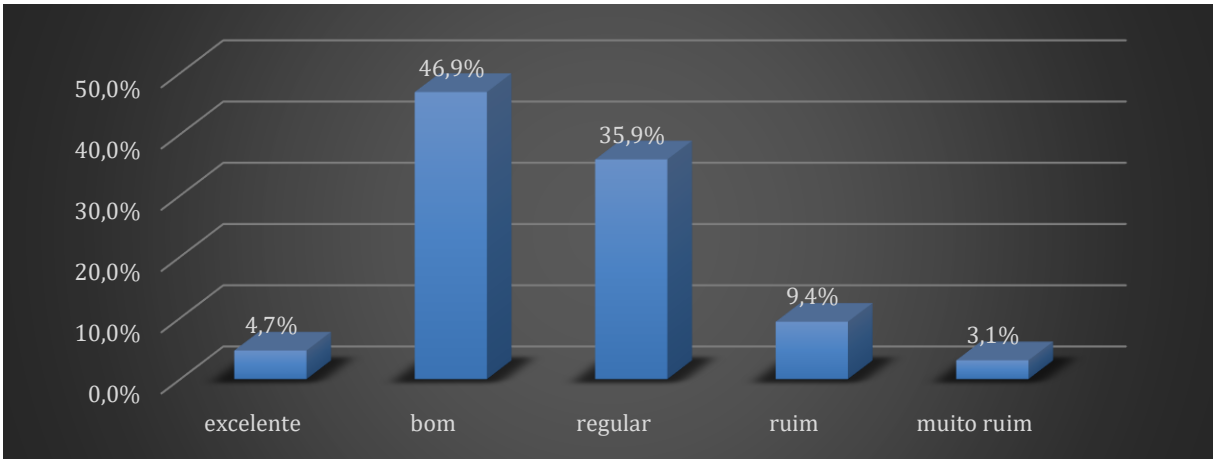
Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

Este gráfico mostra que dos 64 entrevistados, 04 disseram ser muito ruim e 04 afirmaram ser excelente, 06 consideram ruim, 23 alegam ser bom e a maioria, 27, avaliaram este quesito como regular. O nível de interoperabilidade significa integração, sendo vertical quando voltado à própria organização, e horizontal, configurando toda a cadeia de valor, ou ainda pode ser representado como a integração de máquinas, pessoas e dados (QIN *et al.*, 2016; RAJNAI & KOCSIS, 2018). Sendo assim 27 entrevistados avaliar como bom ou excelente e 27 avaliarem como regular, demonstra que a IFES possui um grau de maturidade médio quanto à interoperabilidade, como se estivesse em um período de transição entre um baixo e um alto nível de maturidade e prontidão. Significa que a IFES não precisará começar do zero para a implantação deste importante conceito, visto que é possível manter ou atualizar certos processos e avaliar possibilidades de melhorias em aspectos onde o nível de interoperabilidade

é considerado baixo. Isto pode acontecer a partir de um diagnóstico afim de identificar possíveis gargalos de comunicação existentes entre sistemas, sendo possível sua resolução a partir da implantação de melhorias de infraestrutura de internet, atualização de softwares ou em investimento em sistemas informacionais que permitam a comunicação mais fluida entre todos os setores existente na IFES.

4.3.3.3 Nível de controle e monitoramento dos processos através das ferramentas advindas da TIC:

Gráfico 13 – Proc_Control

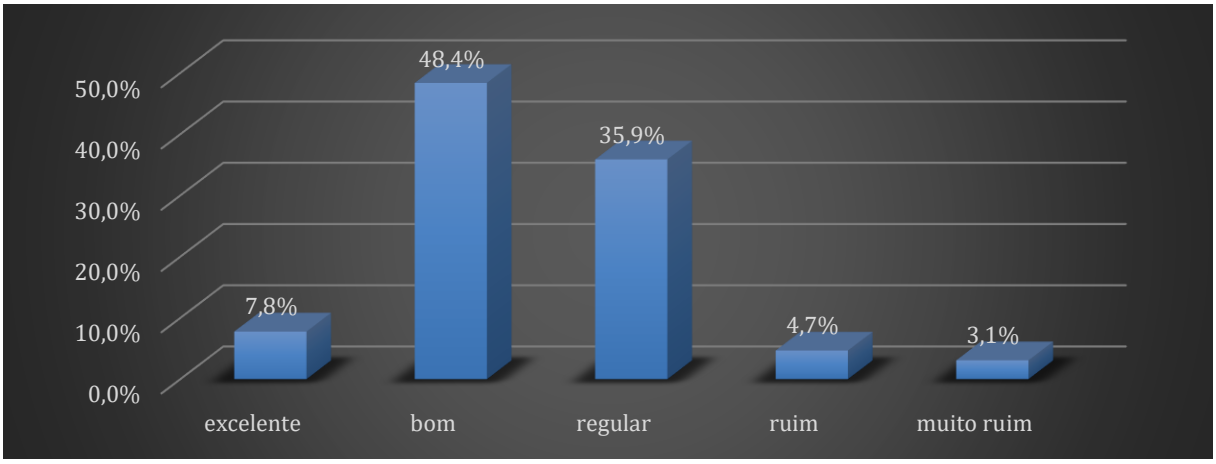


Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

A adoção de tecnologias como CPS, Big Data, robôs e armazenamento em nuvem permitem que os gestores utilizem softwares que possuam maior poder de controle e monitoramento de seus processos, atividades e gestão sobre as pessoas em tempo real. Os dados e a informação em tempo real são poderosos aliados para que os gestores tomem decisões rápidas e com qualidade. Nesse contexto, quase 50% dos entrevistados afirmaram que o nível de controle e monitoramento por meio de ferramentas da TIC são boas, cerca de 36% avaliaram como regular, 9,4% disseram ser ruim, 4,7% consideram excelentes e 3,1% avaliaram como muito ruim. Levando em consideração que 51,6% avaliaram este aspecto como bom ou excelente e 35,9% como regular, o nível de maturidade ou de prontidão nesse processo é relativamente alto, posto que a somatória das avaliações regular, boa e excelente chegam a 87,5%. A realização de investimentos pontuais pode melhorar ainda mais o nível de maturidade, fazendo migrar boa parte da avaliação regular (35,9%) para uma avaliação boa ou excelente.

4.3.3.4 Nível de digitalização dos processos da instituição:

Gráfico 14 – Proc_digital

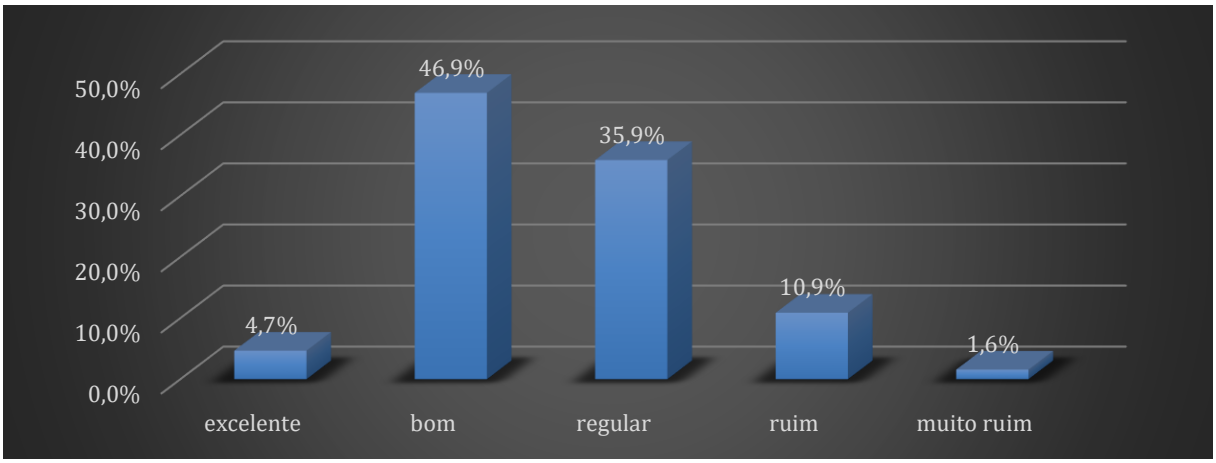


Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

Na dimensão Processos, este item possuem o mais alto grau de avaliação de maturidade posto que a maioria (48,4%) afirmaram que o nível de digitalização dos processos na IFES é considerado bom, 7,8% afirmaram ser excelente (a mais alta avaliação como "excelente" nesta dimensão), 35,9% consideram ser regular, 4,7% afirmara ser ruim e apenas 3,1% ou 2 pessoas da amostragem de 64 entrevistados, avaliaram como muito ruim. A digitalização é uma tecnologia que permite uma comunicação do mundo digital com o mundo real, e a base são os dados, e estes precisam ser alimentados nos sistemas de comunicação (GAJDZIK *et al.*, 2021). Nesse aspecto, ao somarmos as avaliações "excelente" "bom" e "regular", temos uma avaliação de 92,1% dos entrevistados, sendo que mais de 50% consideram bom ou excelente. Este resultado demonstra um nível de maturidade ou de prontidão relativamente alto, contribuindo para uma avaliação positiva na dimensão "Processos". Para uma definição incontestável para um estabelecimento de um alto nível de maturidade neste item, Gajdzik *et al* 2021, afirma que um planejamento eficaz para implantação ou melhoria do nível de digitalização deve passar pelas seguintes fases: a) mapeamento da estratégia da I.4.0; b) criação de um projeto-piloto inicial, c) definição de recursos necessários; d) desenvolvimento da expertise em análise de dados, e) transformação da organização em digital e f) planejamento ativo de ama abordagem ecossistêmica.

4.3.3.5 Nível de acesso e facilidade de acessar às informações via portais e sistemas de informação pelo público interno e externo em geral:

Gráfico 15 – Proc_Acesso



Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

Dos 64 entrevistados, 1 avaliou como muito ruim, 07 disseram ser ruim, 23 afirmam ser regular, 30 compreendem como bom e 3 avaliam como excelente. A transparência é um fator comum como princípio tanto da I.4.0 como da administração pública. A IFES, como instituição pública está sob o manto legal do princípio legal constitucional da publicidade bem como da lei de acesso à informação (Art. 37, CF, 1998, Lei 12527/2011.) A I.4.0 possui uma variedade de tecnologias que são integradas em rede digital comum, e aborda a digitalização, **transparência**, mobilidade, modularização, e socialização de produtos e processos (grifo meu) (SASSI ET *et al.*, 2021). Corrobora com este importante princípio da I.4.0, o princípio da *accountability* na Administração Pública, ou seja, o dever da prestação de contas que os gestores públicos precisam dar à sociedade. Armstrong (2005) afirma que junto com a *accountability*, a integridade e transparência são importantes princípios que devem ser adotados pela administração dos países que integram as nações unidas. Nesse contexto, o nível de maturidade e prontidão da IFES quanto à transparência e acessibilidade de informações possuem uma avaliação relativamente alta, posto que quase metade consideram boa e mais de 1/3 avaliam como regular. Melhorias podem ser implementadas e já vem sendo adotados para melhorar a prática desses princípios com recentes imposições pelo Tribunal de Contas da União (TCU, 2019) ao passo que gestores podem adotar ferramentas que facilitem o acesso dos dados por meio de decisões proativas.

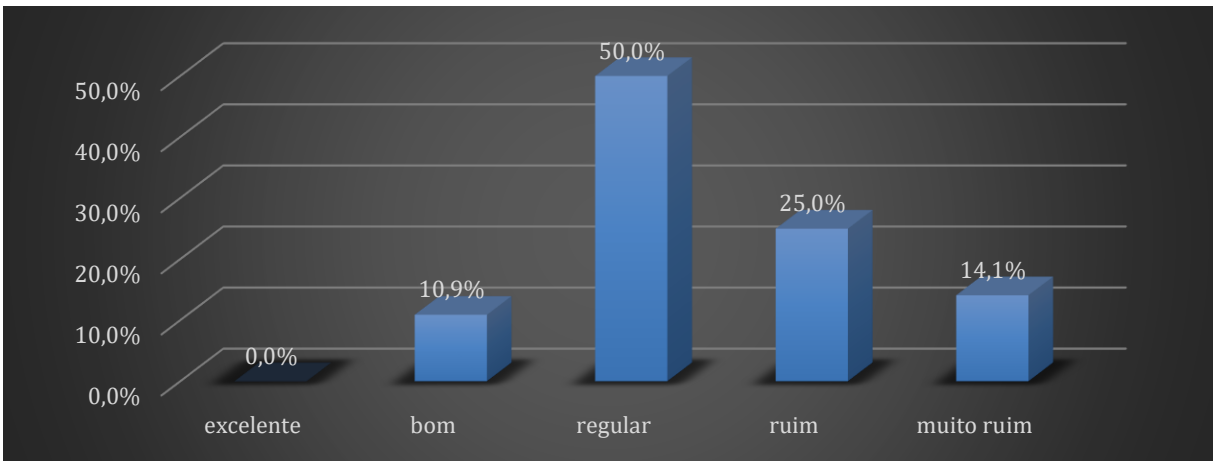
4.3.3.6 Avaliação geral da dimensão: PROCESSOS

Quanto ao fluxo de processos na IFES, o nível de digitalização dos processos na IFES apresenta avaliação positiva ou regular com um percentual acima dos 90%, isso pode ser explicado em parte, pela política adotada por meio de decretos e portarias determinadas pela secretaria especial de desburocratização, gestão e governo digital. Do melhor ao pior nível de avaliação de maturidade: nível de digitalização dos processos, nível de acesso e facilidade de acesso às informações via portais institucionais, nível de controle e monitoramento por meio de ferramentas da TIC, grau de interoperabilidade de compartilhamento de processos entre departamentos, e nível de descentralização decisória para maior agilidade dos processos. Quantos aos cinco itens analisados, o nível geral percebido de maturidade nessa dimensão é 5,02% no nível excelente, 40,3% no nível bom, 40,3% em nível regular, 10% no nível ruim e 4,38 % de avaliação considerada muito ruim.

4.3.4 Pessoas

4.3.4.1 Nível de conhecimento acerca da I.4.0 pelas pessoas na instituição:

Gráfico 16 – Pes_Conhec



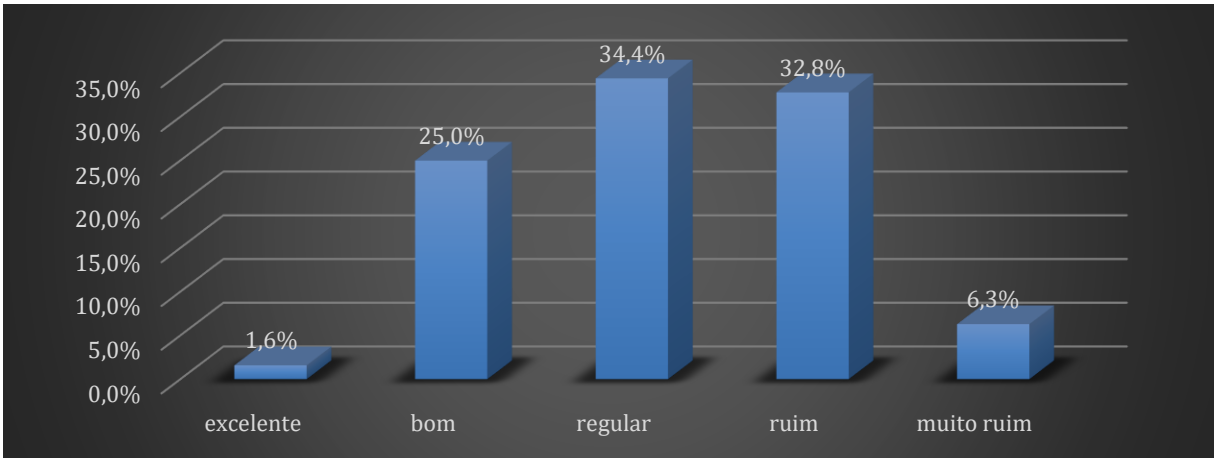
Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

Este gráfico demonstra o nível de conhecimento acerca da I.4.0 pelos servidores. É relevante compreender em que nível de maturidade de conhecimento os colaboradores possuem acerca de um tema que se iniciou em meados de 2011 na Alemanha, é de interesse perceber como esse tema é compreendido atualmente na academia, lugar onde o conhecimento é produzido e que, geralmente, pauta os caminhos para a sociedade. Metade, portanto 32 dos 64 servidores alegam compreender regularmente sobre o tema, 14,1% avaliam que o conhecimento da I.4.0 é muito ruim, ¼ entendem ser ruim, 10,9% avaliam conhecer muito bem, e nenhum em nível excelente. Conhecer o tema é o primeiro

passo para a elevação do nível de maturidade ou prontidão da I.4.0 na instituição. A I.4.0 deve ser estruturada por meio de conexões entre máquinas, produtos, componentes e operadores, o fortalecimento das interações autônomas e a manutenção dessas conexões como prioridades (SU *et al*., 2021). No âmbito da IFES, pode-se afirmar que essa conexão ocorre entre servidores, máquinas, os processos finalizados e o conhecimento gerado por meio de uma rede integrada, estável e segura, compreendendo a aplicação do conceito de interoperabilidade. O resultado demonstrado no gráfico deve causar certa precaução por parte dos gestores, visto que por se tratar de uma academia universitária, nenhum avaliado disse possuir o conhecimento em nível excelente, apenas um pouco mais de 10 em cada 100 possui um bom conhecimento sobre o tema, e cerca de 1/3 possui avalia conhecer de forma ruim ou muito ruim. Faz-se necessário um investimento em produção de novos conhecimentos através da pesquisa entre docentes e maior qualificação através de palestras, cursos de curta duração ou inventivo à especialização sobre o tema para os servidores em geral.

4.3.4.2 Nível de aperfeiçoamento das pessoas por meio de cursos de capacitação em relação às mudanças tecnológicas em TCI advindas da I.4.0:

Gráfico 17 – Pes_Aperf



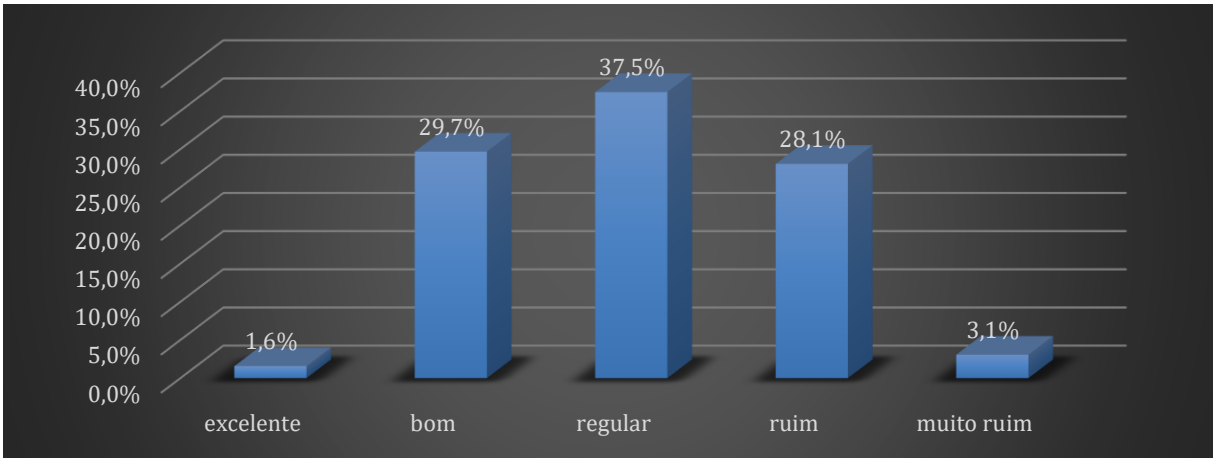
Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

A avaliação desse item, pode representar o caminho que está se desenvolvendo para uma melhoria do conhecimento acerca da I.4.0 pelos servidores verificados no item anterior, posto que o incentivo à qualificação sobre o I.4.0 pode trazer melhores resultados acerca no nível de maturidade de conhecimento sobre o tema na instituição. Dos 64 entrevistados, 1 avaliou como excelente, ¼ afirmou ser bom, 22 disseram ser regular, 21 afirmou ser ruim, e 4 compreendem ser muito ruim. A avaliação “ruim” de 32,8% é superior aos 25% de avaliação “ruim” do item anterior; a avaliação

“regular” de 34,4% é menor do que os 50% de avaliação “regular” do item anterior; no entanto, este item mostrou uma avaliação “excelente” ante nenhuma avaliação “excelente” do item anterior; ¼ avaliou como bom ante 10,9% de avaliação boa do item anterior e 6,3% de muito ruim ante 14,1% do item anterior. Este resultado mostra uma certa preocupação posto que a avaliação deste item (nível de aperfeiçoamento dos servidores) deveria ser melhor no aspecto geral do que a avaliação do anterior (nível de conhecimento dos servidores sobre a I.4.0) para que o item anterior elevasse o nível de maturidade, mas o que ocorre é um certo *establishment.*

4.3.4.3 Nível de autonomia dos servidores na utilização das ferramentas tecnológicas e na proposição de melhorias:

Gráfico 18 – Pes_Auto



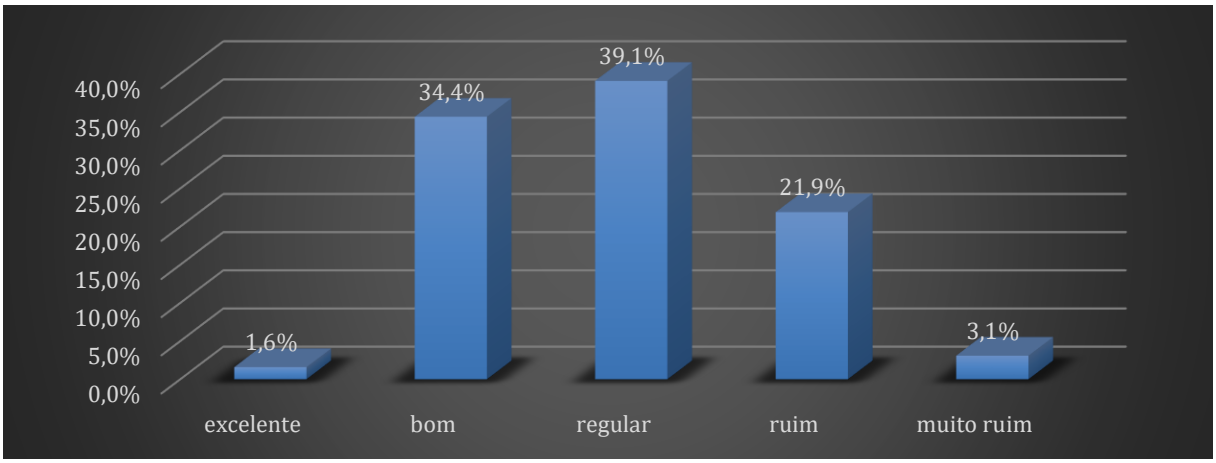
Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

A autonomia de decisão para os operadores de final de linha é fundamental para haja a aplicação da descentralização, que é um dos princípios da I.4.0. A integração horizontal e vertical, a descentralização de decisões de forma inteligente, o controle descentralizado, completa integração da engenharia digital e o sistema de produção ciber-físico são princípios norteadores da I.4.0 (grifo meu) (SIEPMANNE & GRAEF, 2016). Nesse espectro, 1,6% disseram ser excelente, 29,7% afirmaram ser “bom”, 37,5% avaliaram como “regular”, 28,1% compreendem ser ruim e 3,1% entendem ser muito ruim. Este resultado demonstra relativamente um baixo nível de maturidade de autonomia para os servidores, tendo em vista que menos de 1/3 avaliam como “bom” e “excelente”. Nesse contexto, é preciso aumentar o nível de autonomia dos servidores e assim elevar o nível de descentralização, no entanto, como afirma Siepmanne & Graef (2016) isso deve ocorrer de forma inteligente. Uma das formas de aumentar o poder de decisão de forma inteligente do operador é capacitá-lo, e

especificamente dentro do contexto da IFES, observando o parâmetro legal sob o qual está inserida, posto que algumas competências são delegáveis, e outras não.

4.3.4.4 Nível de satisfação dos servidores com a gestão da infraestrutura tecnológica para desenvolvimento de suas atividades:

Gráfico 19 – Pes_SatisSe

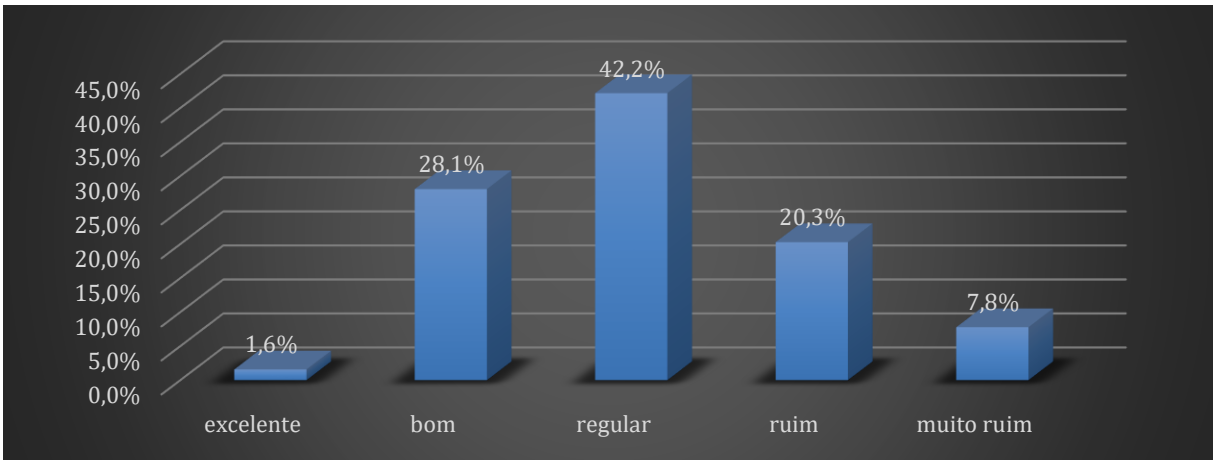


Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

Da TI, surgiram várias tecnologias que permitiram a era da I.4.0 tais como a digitalização, o big data, os sistemas analíticos, a inteligência artificial e o armazenamento em nuvem. Muitos dos portais de transparência e sítios institucionais armazenam seus dados em nuvem por meio de parcerias com grandes empresas de tecnologia como Amazon e Google. Uma outra fonte de preocupação é a qualidade de softwares e estrutura de cibersegurança utilizados por servidores especialistas do CTIC bem como pelos servidores em geral. Nesse quesito, apenas 1,6% sentem que a qualidade da infraestrutura tecnológica é excelente, mais de 1/3 avaliam como “bom”, cerca de quatro em cada dez disseram ser “regular”, em torno de 1/5 avaliam com ruim e 3,1% afirmaram ser “muito ruim”. Nesse contexto, a IFES apresenta uma avaliação de maturidade relativamente “média” em comparação aos outros itens avaliados na dimensão “Pessoas”. A maioria avaliar como “regular” mostra que há muitos espaços para investimentos em melhoria. Dada vivência da pandemia da COVID-19 é possível compreender o aumento da importância das tecnologias da informação para o desenvolvimento dos trabalhos via home-office, a infraestrutura tecnológica via sistemas de informação e máquinas disponibilizadas aos servidores para o desenvolvimento de suas atividades são elementos que podem ter impactado na avaliação dos servidores que passaram a trabalhar de casa. Importa destacar também como a utilização de redes sociais e serviços de e-mails passaram a ser utilizados para resolução de problemas dos sistemas de informação junto ao corpo de profissionais de CTIC.

4.3.4.5 Nível de satisfação dos usuários externos frente utilização dos portais para recebimento de informações ou acompanhamento de processos:

Gráfico 20 – Pes_SatisUs



Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

O decreto 8.777/2016 implementou a política de dados do Executivo Federal do Brasil, e possui o objetivo de criar condições para o aumento do controle social sobre as ações do governo, isso ocorre porque de posse dessas informações, o cidadão comum pode se manifestar ou apresentar denúncias fundamentadas quando observar eventuais irregularidade com a utilização do erário público. O decreto permite o aprimoramento da prática da transparência, posto que a política de dados abertos, criada com a parceria internacional OGP - *Open Government Partnership*, permite tornar os governos mais inclusivos e responsivos, fortalecendo como consequência, a democracia. A Lei 12.527/2011, conhecida como a Lei de Acesso à informação foi outra política pública adotada pelo Brasil para aumentar as práticas da transparência e da *accountability*. Nesse contexto, apenas 1,6% avaliam essa prática como excelente, 28,1% disseram ser boa, 42,2% compreendem ser regular, 20,3% opinam com ruim e 7,8% consideram muito ruim. Acórdão 1943/2018 do TCU imprimiram ao executivo federal não somente a disponibilização dos dados, como também a implantação de portais de fácil uso, acompanhado ainda manual de acesso para o cidadão, percebe-se com isso, que o conceito da trasparencia vai além do conceito da publicidade. Embora este quesito apresente uma avaliação relativamente regular em comparação aos outros itens avaliados, é possível melhorar a disponibilização dessas informações adotando medida recomendas pelo TCU, o que poderá trazer esse quase ¼ que classificam como ruim ou muito ruim para outros níveis de avaliação. Apesar desses resultados, segundo último relatório do TCU divulgado em 2018, a IFES, objeto desta pesquisa, está em primeiro lugar entre as IFES da região norte no que se refere à transparência de seus dados (página 79).

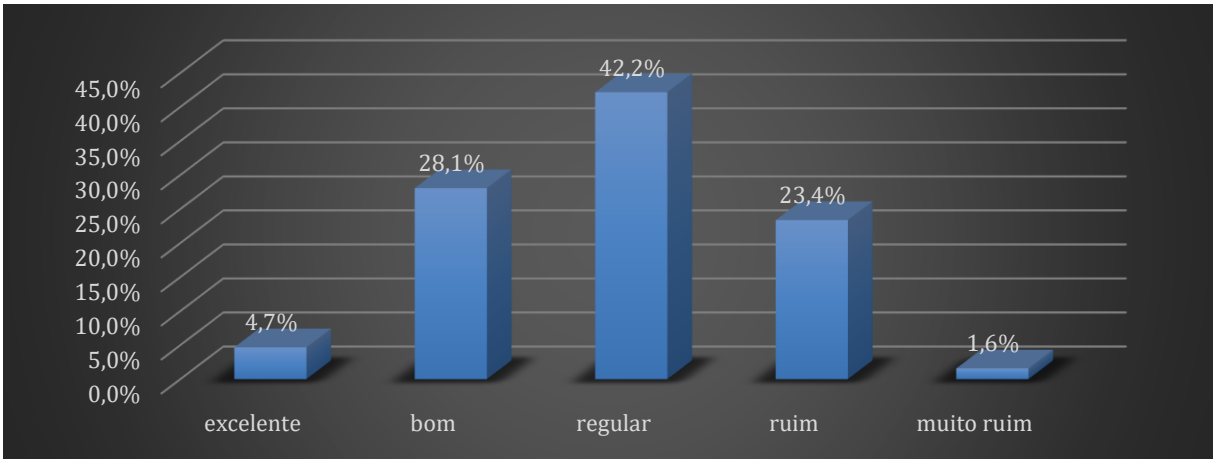
4.3.4.6 Avaliação geral da dimensão: PESSOAS

A dimensão Pessoas foi citado em mais da metade dos modelos de maturidade estudados e apresentados neste trabalho, isso corrobora no fato de que as pessoas ainda continuam sendo fundamentais para o funcionamento das organizações, e muitos autores definem como o ativo mais valioso de uma organização. No aspecto dos recursos humanos, os servidores avaliam a gestão da infraestrutura tecnológica para desenvolvimento de suas atividades como a mais positiva entre os cinco itens avaliados, isso mostra que os mesmos estão satisfeitos com os equipamentos informacionais e sistemas operacionais disponíveis na IFES, posto que ¾ avaliam de modo excelente, bom ou regular; no entanto muito abaixo dos 92% do melhor item avaliado na dimensão anterior. De ordem decrescente de melhor ao pior item avaliado: nível de satisfação dos servidores com a gestão da infraestrutura tecnológica para desenvolvimento de suas atividades, nível de satisfação dos usuários externos frente utilização dos portais para recebimento de informações ou acompanhamento de processos, nível de autonomia dos servidores na utilização das ferramentas tecnológicas e na proposição de melhorias, nível de aperfeiçoamento das pessoas por meio de cursos de capacitação em relação às mudanças tecnológicas em TIC advindas da I.4.0, e nível de conhecimento acerca da I.4.0 pelas pessoas na instituição. A avaliação geral desta dimensão: excelente 1,28%, bom 25,62%, regular 40,64%, ruim 25,62% e muito ruim 6,88%.

4.3.5 TIC – Tecnologia da Informação e Comunicação

4.3.5.1 Estrutura e a qualidade dos equipamentos e recursos para a realização dos trabalhos na instituição:

Gráfico 21 – TIC_Estrut

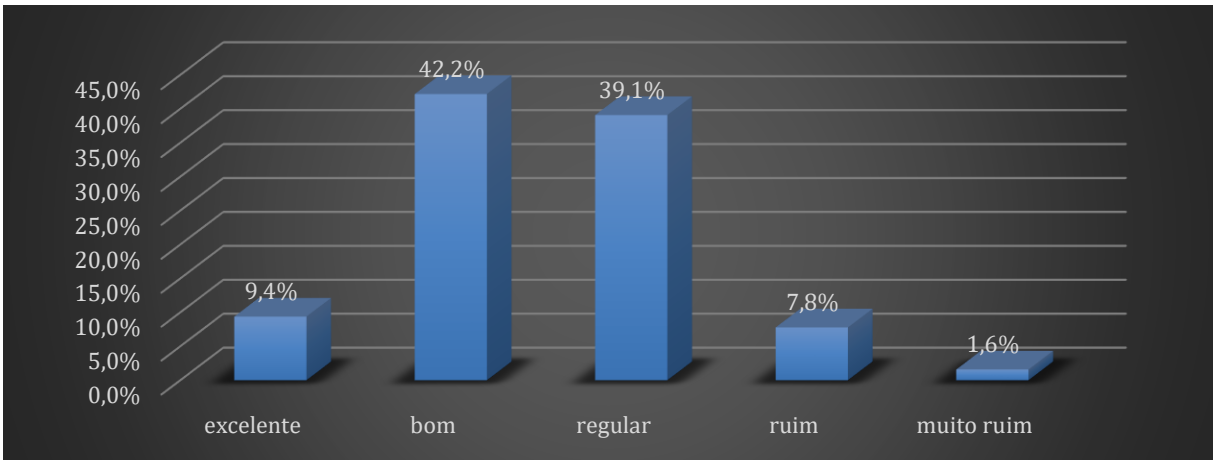


Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

A qualidade das ferramentas utilizadas é parte relevante para gerar resultados de trabalho eficazes. Este gráfico mostra como os servidores avaliam os equipamentos que são utilizados no seu dia-a-dia como a infraestrutura de internet, o funcionamento dos computadores, a estabilidade e qualidade dos sistemas operacionais, dentre outros. Nesse aspecto, 4,7% consideram a qualidade dos recursos excelentes, 28,1% avaliam como "bom", um pouco mais de 4 em cada dez, afirmaram ser regular, quase ¼ disseram ser ruim e 1,6% avaliam como muito ruim. Um dos requisitos essenciais para a implantação da integração vertical e horizontal dos processos são os dados, e estes são alimentados nos sistemas pelas pessoas, elas são responsáveis em realizar essa atividade básica de forma assertiva e correta. Para Brandenburger *et al*., 2020, para realizar a implantação de integração horizontal da informação com qualidade por meio de abastecimento, é essencial garantir a plausibilidade dos dados com qualidade, para alocar produtos, e usar esses dados como estratégia de negócio para atender pedido e vender aos clientes, finalmente, trabalhar na compilação dos dados gerados no histórico e utilizá-los novamente. Por isso, um trabalho bem realizado em relação aos dados, a estrutura e a qualidade dos equipamentos precisam ser adequadas, e os servidores treinados. Nesse contexto, a IFES apresenta apenas um pouco cerca de 1/3 dos entrevistados satisfeitos (avaliação "excelente" e "bom"), demonstrando uma necessidade de melhorias a começar por diagnóstico preciso da qualidade de sua infraestrutura.

4.3.5.2 Nível de comunicação via sistemas informacionais entre o Centro de Tecnologia da Informaçao e Comunicação (CTIC) e seu departamento para a resolução de problemas na instituição:

Gráfico 22 – TIC_Comun

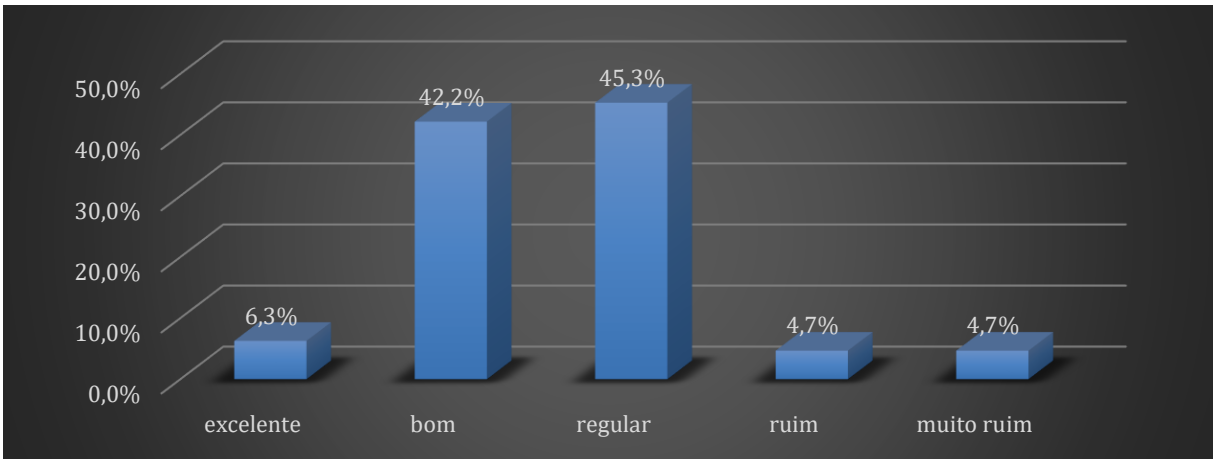


Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

Em relação à qualidade de comunicação entre servidos em geral e especialistas em TI, o resultado da pesquisa mostra que dos 64 entrevistados, 06 consideram ser “excelente”, 27 avaliam como boa, 25 afirmam ser “regular”, 05 alegam ser “ruim” e apenas 01 considera ser “muito ruim”. Um elemento chave da qualidade de comunicação é a coleta rápida de dados de várias fontes para capacitar a tomada de decisão rápida e ágil, o aproveitamento da conectivamente pode permitir a coleta de feedback em tempo real (blog do Juran, 2019). Nesse contexto, a qualidade de comunicação pode ocorrer quando a informação é clara, isto é, evitando a utilização de termos ou jargões utlizados entre especialistas. Uma comunicação objetiva sem utlização de longos textos, e a utlização de um canal eficiente, seja por e mail, telefone ou rede social através de uma infraestrutura de rede de internet com qualidade são conceitos importantes nesse contexto. O resultado do gráfico mostra um nível de maturidade relativamente alto em recomparação a outros itens avaliados nestea dimensão TIC, posto que mais da metadas dos entrevistados avaliam como “excelente” ou “bom”, 39,1% como regular e apenas menos de 1 em cada 10 (9,4%) consideram essa comunicação “ruim” ou “muito ruim”. Isso demonstra que qualidade de comunicação entre especialsitas entre CTIC e servidores em geral é bastante satisfatório, tendo ainda margem para melhorias.

4.3.5.3 Sistemas de informações utilizados pelo corpo de servidores do TIC para realização dos trabalhos:

Gráfico 23 – TIC_Sist



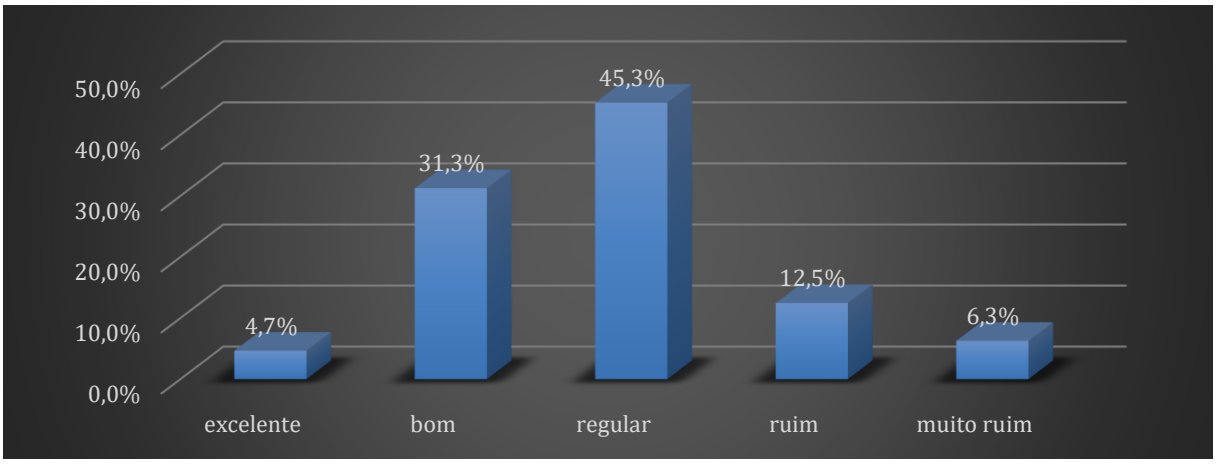
Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

Importar diferenciar Tecnologia da Informação (TI) e de Sistema de Informação (SI), o primeiro refere-se a uma ferramenta baseada em computação na qual as pessoas usam para trabalhar com informações e como suporte de organização para necessidade de processamento de informação,

já o segundo, coleta, processa, armazena, analisa e dissemina informações com um propósito específico (RAINER *et al*., 2020). Sendo assim, pode-se afirmar que sistema de informação é mais específico e está contido dentro do espectro mais amplo da Tecnologia da Informação. Nesse contexto, os sistemas de informações utilizados pelo corpo de servidores do CTIC mostram que 1,6% consideram muito ruim, 4,7% compreendem que os sistemas são ruins, 45,3% avaliam como regular, 42,2% afirmam ser bom e 6,3% avaliam como excelente. A abordagem do sistema de informação a ser utilizado requer um entendimento do fator crítico do negócio bem como do fluxo de trabalho. É necessário o fácil uso da plataforma para que o transporte das informações ocorra de maneira apropriada aos interessados (JIANG *et al.*, 2018). Nesse diapasão, neste quase 50% dos entrevistados (bom e excelente) avaliam como positiva e compatíveis com as atividades inerentes ao negócio institucional no sentido de que as informações são armazenadas de forma segura e chegam de forma apropriada aos destinatários. A avaliação restante (regular, ruim ou muito ruim) mostra que muito pode ser melhorado para se atingir um nível de maturidade mais elevado ao adotar sistemas de informação mais fáceis, seguros e funcionais.

4.3.5.4. De que forma o setor de TI apresenta soluções embarcadas da indústria 4.0?

Gráfico 24 – TIC_Soluc



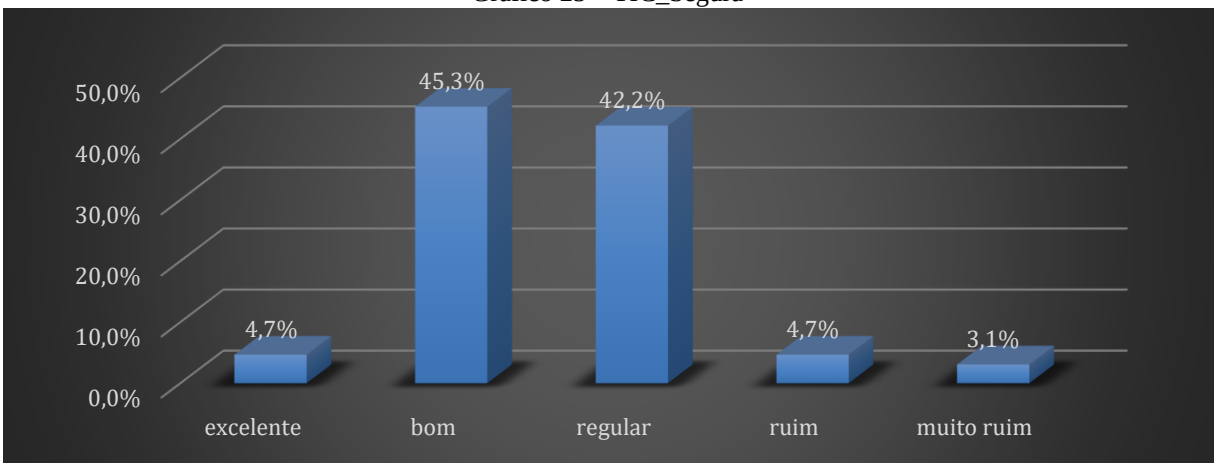
Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

Este resultado mostra como o setor técnico de TI resolve problemas utilizando-se de tecnologias advinda da I.4.0. Nesse contexto, 4,7% consideram a apresentação de soluções como excelente, 31,3% afirma ser “bom”, 45,3% avaliam como regular, 12,5% afirmam ser “ruim”, e 6,3% dizem ser “muito ruim”. Para Luftman *et al.* (2017), a maioria dos modelos de alinhamento estratégico entre o negócio de uma organização e sua TI consiste nos conceitos trazidos da literatura de fonte seminal de Henderson e VenKatraman (1993) ao elencar quatro elementos a serem considerados: a) estratégia de negócio, b)

estratégia de TI, c) infraestrutura organizacional e d) infraestrutura em TI. O negócio de uma organização está diretamente ligado à sua missão. No caso prático do objeto desta pesquisa, a IFES possui como negócio a produção de conhecimento e educação dos cidadãos na região na qual ela está inserida. Nesta perspectiva, o resultado da pesquisa mostra que as soluções embarcadas da I.4.0 são adequadas para mais de 1/3 dos entrevistados que avaliam como "excelente e bom"; quase 1/5 consideram ruim ou muito ruim. Isso demonstra um nível de maturidade regular quando a este item, não sendo, portanto, nem muito bom a nível de excelência, mas também não é a pior avaliação entre os 5 itens avaliados na dimensão TIC. Este diagnóstico demonstra que há espaços para adoção de novas tecnologias e formas de gestão que sejam condizentes com o negócio da IFES.

4.3.5.5 Segurança em TI dos sistemas informacionais:

Gráfico 25 – TIC_Segura



Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

Considerando a soma dos percentuais "excelente" e "bom", este item é o segundo mais bem avaliado da dimensão TIC, perdendo apenas para avaliação do item 4.3.5.2 (51,6%), posto que para metade dos entrevistados consideram positiva a segurança dos sistemas informacionais, ou seja, possuem confiança na gestão da cibesegurança na IFES. Os dados mostram que 4,7% avaliaram como excelente, 45,3% consideram boa, 42,2% disseram ser regular, 4,7% afirmaram ser ruim e 3,1% compreendem ser muito ruim. A cibersegurança pode ser entendida como a proteção contra roubo ou dano ao hardware de TI, software e os dados armazenados nos sistemas (HUXTABLEA AND D. & SCHAEFERA, 2016). É cada vez mais um fator preocupação no mundo corporativo em função de ataque de hackers, mas também fonte de perigo para o cidadão comum tendo em vista que cada vez mais empresas possui muitos dados sobre o comportamento do consumidor.

O tema da cibersegurança é tão relevante na era da I.4.0, onde quem possui os dados, possui o poder. Cabe trazer aqui alguns conceitos trazidos por Lezzi *et al*., 2018: a) é a habilitada de para proteger e defender o ciberespaço de ciber-ataques; b) significa a preservação de confidencialidade, integridade e disponibilidade das informações; c) todas as atividades necessárias para proteger o ciberespaço, seus usuários e pessoas afetadas por ameaças cibernéticas, d) proteção de informação abordando ativos para informações processadas, armazenadas e transportadas pelos sistemas de informação de trabalho em rede; e) prevenção de danos, proteção e restauração de sistemas de comunicação eletrônicos em computadores, serviços de comunicação com fio, e comunicação eletrônica, incluindo informações nela contidas, para garantir sua disponibilidade, integridade, autenticidade, confidencialidade e não repúdio.

Nesse contexto, a avaliação geral de que os sistemas utilizados, os computadores, as conexões em rede são confiáveis para metade dos entrevistados, levando em consideração a somatória da avaliação "regular", mais de 90% avaliam que há proteção e segurança dos dados, e que, portanto, são confiáveis, autênticos, disponíveis, íntegros e confidenciais.

4.3.5.6 Avaliação geral da dimensão **TIC**

A TIC é um dos elementos mais explorados por autores criadores de modelo de maturidade, dos 12 modelos de maturidade e prontidão trazidos no referencial teórico, 09 abordaram sobre o tema como uma dimensão. A TIC permite que os dados são intercortados e integram, criem valor interno do domínio de comunicação, tendo uma tendência contínua de digitalização (SCHUMACKER *et al.*, 2018). Esta dimensão traz consigo a abordagem de diversas tecnologias como o big data, a inteligência artificial, a digitalização, armazenamento em nuvem, softwares que auxiliam na cibersegurança como antivírus e firewall, portais de publicação de conteúdos da IFES.

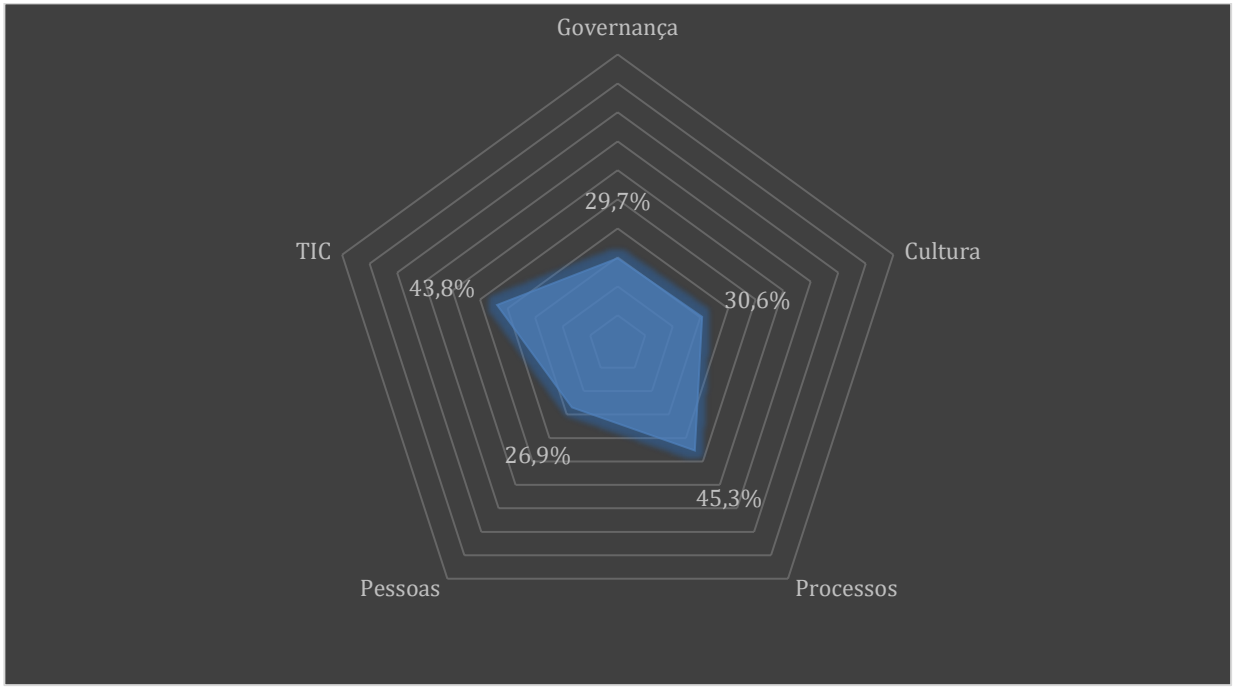
Três dos cincos itens avaliados nesta dimensão, tiveram o índice de avaliação positivo acima dos 90% pelos servidores, fazendo com que esta dimensão seja a mais bem avaliada das cinco pesquisadas. Dentre os cinco itens, a de melhor avaliação de todas está relacionada aos sistemas de informações utilizados pelo corpo de servidores do TIC para realização dos trabalhos.

Quanto ao restante dos itens, de forma decrescente de melhor ao pior item avaliado: segurança em TI dos sistemas informacionais, nível de comunicação via sistemas informacionais entre o CTIC e seu departamento para a resolução de problemas na instituição, a forma como setor de TI apresenta soluções embarcadas da indústria 4.0 na IFES, o nível de qualidade estrutura e a qualidade dos equipamentos para a realização dos trabalhos na instituição. A avaliação geral desta dimensão: excelente 5,96%, bom 37,82%, regular 42,82%, ruim 10,62% e muito ruim 2,84%, o que faz a dimensão TIC ser a segunda mais bem avaliada, ficando apenas atrás da dimensão Processos.

4.4 Avaliação geral de maturidade da IFES

4.4.2 Avaliação de maturidade considerando a somatória das avaliações “excelente” e “bom”:

Gráfico 26: Avaliação de maturidade da I.4.0 na IFES



Fonte: Dados da Pesquisa (2021)

No aspecto geral, a IFES apresentou o grau de maturidade relacionada as cinco dimensões no gráfico acima. O mesmo possui cinco níveis, cada nível representa 20%, possuindo, portanto, o seguinte escalonamento da base interna à externa: 20%, 40%, 60, %, 80%, 100%. As dimensões avaliadas foram Governança, Cultura, Processos, Pessoas e TIC nessa disposição sequencial. Para cada dimensão, cinco questões relacionadas a um item específico vinculada à dimensão foram realizadas perante servidores técnico-administrativos e docentes da instituição. Levando em consideração que cada questão possuí 5 opções de avaliação (excelente, bom, regular, ruim, muito ruim), utilizou-se nesse primeiro aspecto, da somatória dos índices percentual dos resultados “excelente e bom” para encontrar o nível de percepção da maturidade da I.4.0 na IFES.

Considerando que a avaliação de cada dimensão é calculada pela média de avaliação de seus respetivos itens, temos como consequência os seguintes resultados do mais bem avaliado ao de pior avaliação: Processos (45,3%), TIC (43,8%), Cultura (30,6%), Governança (29,7%) e Pessoas (26,9%).

Traçando um paralelo com o modelo adota do CMMI e o percentual de maturidade trazidos pelo gráfico radar, os dados podem ser representados da seguinte forma:

Tabela 05: Correlação CMMI x Avaliação Radar

Nível	**Avaliação de maturidade**	**Características**	**Comportamento**
5- Otimizado	80-100%	Todos engajados na melhoria contínua e refinamento do processo. Comportamento proativo	Continuamente Melhorado
4- Gerenciado	60-80%	Indicadores Consistentes Metas e planos baseados em dados. Processos integrados e alinhados	Previsível e Controlado
3 – Estruturado/Definido	40-60%	Procedimentos Padronizados Alto grau de Controle Início do uso de Indicadores	Padronizado e Consistente
2- Organizado	20-40%	Processos Principais Definidos Compromissos recursos balanceados	Disciplinado
1- Inicial/Informal	0-20%	Conceito de Processo Ausente comportamento reativo	Indefinido e Imprevisível

Fonte: Adaptação do modelo CMMI (Rubel *et al* 2018)

Para a avaliação da maturidade foi realizado o seguinte cálculo: primeiro, somou-se as avaliações “excelente” e “bom” de cada um dos 5 itens avaliados por dimensão; depois, tirou-se a média de avaliação dos cinco itens para se chegar ao valor de avaliação de maturidade da respectiva dimensão. Nesse contexto, avaliação de maturidade e prontidão da IFES pode ser assim definido:

Tabela 06: Avaliação de maturidade pelo método CMMI

Dimensão	**Avaliação de maturidade**	**Nível**	**Características**	**Comportamento**
Governança	29,7%	2-Organizado	Processos Principais Compromssos definidos Recursos balanceados	Disciplinado
Cultura	30,6%	2-Organizado	Processos Principais Compromssos definidos Recursos balanceados	Disciplinado
Processos	45,3%	3-Estruturado/Definido	Procedimentos Padronizados Alto grau de Controle Início do uso de Indicadores	Padronizado e Consistente
Pessoas	26,9%	2-Organizado	Processos Principais Definidos Compromissos recursos balanceados	Disciplinado
TIC	43,8%	3-Estruturado/Definido	Procedimentos Padronizados Alto grau de Controle Início do uso de Indicadores	Padronizado e Consistente

Fonte: Adaptação do modelo CMMI (Rubel *et al* 2018)

A dimensão “Processos” possui o maior nível de maturidade na IFES, isso em função de aspectos relacionados a nível de digitalização, nível de acesso e facilidade de acesso às informações via portais institucionais terem sido itens mais bem avaliados. O grau de interoperabilidade de compartilhamento de processos entre departamentos e o nível de descentralização decisória para maior agilidade dos processos foram outros aspectos relevantes para uma boa avaliação. Posto isto, ao traçar um paralelo com a avaliação CMMI, a dimensão processos é avaliada como estruturado e definido (nível III), ou seja, existe padronização de dados, controle dos processos adequado, e o uso de indicadores passar a ser uma prática.

Com relação à dimensão TIC, segunda melhor avaliação, conforme dados gerais da pesquisa demonstrados no item 4.3, aspectos relacionados à cibersegurança e à facilidade de comunicação entre o CTIC e os departamentos da IFES para resolução de problemas relacionados à TI, foram itens que apresentaram o maior grau de maturidade. Isso mostra que os servidores possuem uma percepção de segurança relativamente alta quanto às informações laborais contidas nos sistemas informacionais, bem como uma percepção de segurança cibernética na execução de trabalhos online. O nível de comunicação entre CTIC e os servidores que precisam de seus serviços, corrobora com a tese de que não há muitas dificuldades técnicas para resolução de seus problemas relacionados à TIC. A avaliação da dimensão TIC possui entre 40 e 60% em nível de maturidade demonstrado no gráfico radar, correspondente à avaliação estruturado/definido (nível III) no método CMMI. Sendo assim, características como padronização alta e utilização de indicadores já é uma prática adotada nessa dimensão.

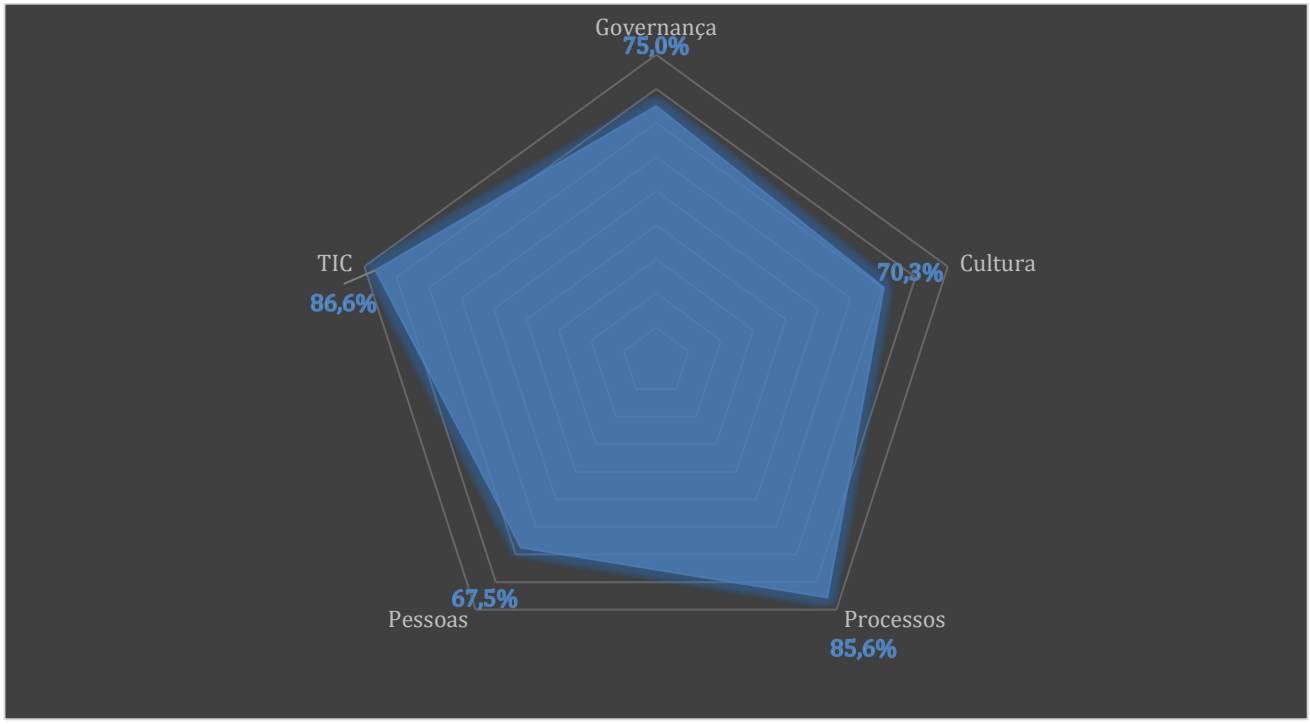
As duas primeiras dimensões esposadas foram as únicas que obtiveram avaliação geral da somatória “excelente” e “bom” superiores a 40% da avaliação geral, significando que aspectos relacionados à TI e Processos são os que apresentam maior de nível de maturidade da I.4.0, sendo por isso mesmo, as duas únicas das cinco dimensões a atingir o terceiro nível (estruturado/definido) de cinco possíveis no modelo CMMI.

Em terceiro lugar, e com 10 pontos percentuais a menos, encontra-se o a dimensão Cultura, onde na média geral, apenas 3 em cada 10, avaliaram como “excelente” ou “bom”. As outras duas dimensões possuem nível de maturidade próxima a esta; Governança consta como 29,7% de ótimo e bom, e a dimensão “Pessoas” com apenas 26,9% de ótimo e bom, representa a pior avaliação das cinco. Nesse contexto, da possibilidade de avaliação de nível 01 (inicial/informal) ao 05 (otimizado) no modelo do CMMI, estas dimensões alcançaram apenas o nível II (organizado), posto que possuem avaliação dentro do intervalo 20% - 40% de avaliação.

Nesse contexto, a avaliação destas três dimensões pelo método CMMI demonstra que os processos são definidos, há o compromisso de os recursos serem balanceados, mas não há ainda a utilização alta de procedimentos estruturados nem o uso de indicadores para controle e monitoramento. Aspectos como indicadores consistentes, metas e planos baseados em dados (nível 04 CMMI) e todos engajados pela melhoria continua (nível 05 CMMI) são avaliações ideais muito longe ainda serem alcançadas na presente avaliação.

4.4.2 Avaliação de maturidade considerando a somatória das avaliações “excelente”, “bom” e “regular”:

Gráfico 27: Avaliação de maturidade da I.4.0 na IFES II



Fonte: Dados da Pesquisa (2021)

Utilizando-se de um segundo critério, este gráfico representa a somatória os médias de avaliação das opções “excelente”, “bom” e “regular”. O resultado verificado foi do mais bem avaliado ao de pior avaliação: TIC (86,6%), Processos (85,6%), Governança (75%), Cultura (70,3%) e Pessoas (67,5%). Neste caso, percebe-se que houve uma inversão de perspectiva de maturidade entre as dimensões TIC e Processos, sendo àquele, agora, como o mais bem avaliado, e este ficando na segunda colocação. Isso mostra que a base de avaliação da opção “regular” para a dimensão TIC foi maior percentualmente (42,82%) à avaliação “regular” da dimensão” Processos (40,64%), tornando a diferença de avaliação de maturidade da dimensão TIC um ponto percentual melhor em comparação à avaliação da dimensão Processos.

Em comparação ao gráfico anterior, houve alterações com relação às outras dimensões avaliadas, Governança sai da posição da quarta colocação em nível de maturidade, e assume a terceira posição, antes lugar da dimensão Cultura. Isso ocorre porque a base de avaliação de maturidade na opção regular da dimensão Governança (45,3%) é superior à avaliação tida como "regular" da dimensão Cultura (39,76%), aumentando assim a base de avaliação "excelente-bom-regular" da dimensão Governança. Neste caso, a avaliação da dimensão Governança é superior à da Cultura em 4,7%. Isso pode ser considerado uma inversão significativa, vez que levando em consideração somente a base de avaliação "excelente-bom", a dimensão Cultura estava a 0,9% à frente da dimensão Governança, e agora encontra-se 4,7% atrás, caindo para a penúltima colocação de grau de maturidade entre as cinco dimensões avaliadas.

Percebe-se que a dimensão "Pessoas" apresenta a pior avaliação de nível de maturidade nos dois cenários apresentados. Na avaliação geral tendo o primeiro cenário, a mesma possui 26,9%, ficando 2,8% atrás da penúltima colocada (Governança). No segundo cenário, a mesma possui avaliação de 67,5%, repetindo a distância percentual em 2,8% da penúltima colocada (Cultura). A avaliação geral da opção "excelente" da dimensão Pessoas (1,28%) só foi melhor do que a avaliação da Governança (0,94%). A avaliação "excelente" das outras dimensões nesse aspecto são: Cultura (3,12%), Processos (5,02%) e TIC (5,96%). Quanto a avaliação tida como "bom", a dimensão Pessoas é a de pior avaliação (25,62%) perante às outras dimensões: Cultura (27,5%), Governança (28,74%), TIC (37,82%) e Processos (40,3%). Quando analisada a somatória da avaliação geral das opções "ruim" e "muito ruim", a dimensão Pessoa é a de pior avaliação geral com 32,5%, perante 31,2% da Cultura, 25% da Governança, 14,14% de Processos e 14,1% da TIC.

Isso demonstra que o nível de maturidade mais baixo ou mais atrasado no ambiente da I.4.0 está relacionado a temas verificados nos itens relacionados à dimensão "Pessoas", como por exemplo, um baixo nível de satisfação dos servidores com a gestão da infraestrutura tecnológica na IFES. O nível de satisfação dos usuários externos frente utilização dos portais para recebimento de informações ou acompanhamento de processos é bastante limitado e comprometido, o nível de autonomia dos servidores na utilização das ferramentas tecnológicas e na proposição de melhorias é considerado ainda baixo, deixando de atender a um dos critérios da I.4.0 como a descentralização e desconcentração de decisões. O nível de aperfeiçoamento das pessoas por meio de cursos de capacitação em relação às mudanças tecnológicas em TIC advindas da I.4.0 é considerado inadequado ou pouco incentivado pelos gestores, e o próprio nível de conhecimento dos servidores acerca da I.4.0 é considerado bastante limitado.

Levando em consideração o parâmetro referente ao que consta na tabela 05 – “Correlação CMMI x Avaliação Radar, realizamos a avaliação em um segundo cenário, agora somando-se as avaliações “excelente”, “bom” e “regular” de cada item, por conseguinte, tirou-se a média de avaliação dos cinco itens para alcançar a avaliação de cada respectiva dimensão. Os resultados foram o seguinte:

Tabela 07: Avaliação de maturidade pelo método CMMI - II

Dimensão	**Avaliação de maturidade**	**Nível**	**Características**	**Comportamento**
Governança	75%	4-Gerenciado	Processos Principais Compromissos definidos recursos balanceados	Previsível e Controlado
Cultura	70,3%	4-Gerenciado	Processos Principais Compromissos definidos recursos balanceados	Previsível e Controlado
Processos	85,6%	5-Otimizado	Procedimentos Padronizados Alto grau de Controle Início do uso de Indicadores	Continuamente Melhorado
Pessoas	67,5%	4-Gerenciado	Processos Principais Compromissos definidos recursos balanceados	Previsível e Controlado
TIC	86,6%	5-Otimizado	Procedimentos Padronizados Alto grau de Controle Início do uso de Indicadores	Continuamente Melhorado

Fonte: Adaptação do modelo CMMI (Rubel *et al* 2018)

Nesse novo contexto, as dimensões TIC e Processos passam a atender ao nível mais elevado no método CMMI, sendo o comportamento previsível e melhorado. As outras três dimensões (Governança, Cultura e Pessoas) atingem todos acima de 60%, portanto, o segundo melhor nível do método CMMI, significando que o processo é gerenciado e o comportamento é previsível e controlado.

Este segundo cenário serviu apenas para verificar como os resultados se mostrariam levando em consideração a avaliação “regular” adicionada ao cálculo. Dentro os dois cenários possível, mostra-se mais prudente determinar apenas as avaliações “excelente e bom” como parâmetro de avaliação mais adequado, posto que a avaliação “regular” não representa necessariamente uma avaliação boa, já que pode ser considerada uma avaliação de vetor tanto regular para bom, como de regular para ruim, configurando-se uma avaliação muito subjetiva.

4.5 Avaliação de maturidade e prontidão da IFES frente à I.4.0 pelo método MEE

Uma vez identificado o nível de maturidade e prontidão da IFES demonstrado no gráfico radar, bem como a sua correlação com o método CMMI, foi possível avaliar a finalidade última da

pesquisa, ou seja, identificar em que parâmetro ou nível de adequação a IFES se encontra perante à I.4.0. A seguir, realizaremos uma metanálise dos dados, sendo possível verificar a confiabilidade e a validade dos dados. Isto é importante porque uma vez que os dados estão aderentes à pesquisa, é possível demonstrar a segurança e maior confiança dos dados para avaliação do gestor; para isto será foi utilizado o método da Modelagem das Equações Estruturais (MEE).

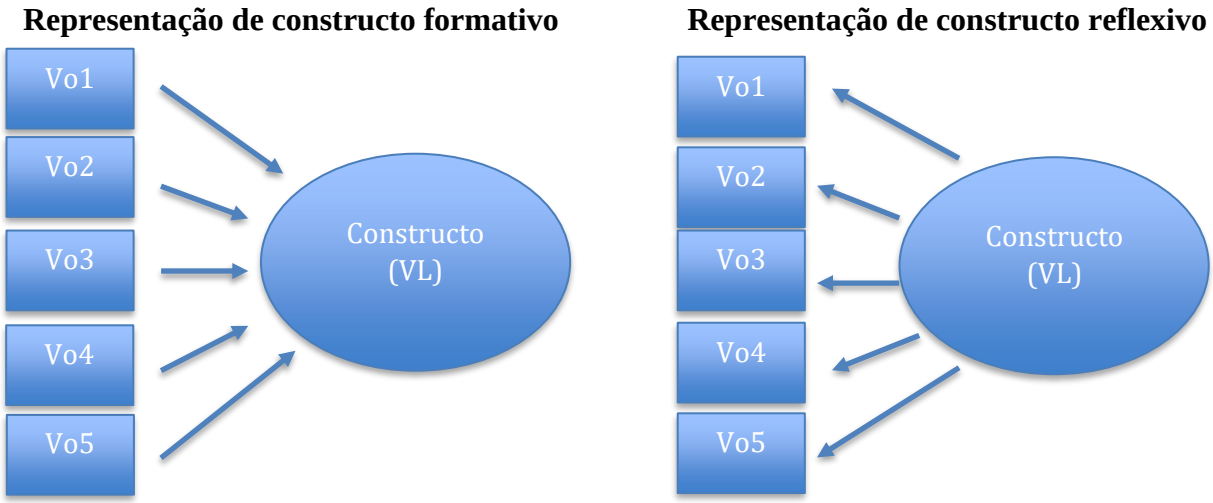
A Modelagem de Equações Estruturais (MEE) combina análise fatorial e de regressão. Prado (2006) afirma que o MEE com variáveis latentes pode ser testado em dois aspectos: modelo de mensuração e modelo estrutural. O primeiro trata da relação entre constructos e seus indicadores, levando em consideração os preceitos de Confiança Composta (CC), a Análise de Variância Extraída (AVE), e Validade Discriminante (VD). O segundo revela as relações entre os constructos, é aplicação do modelo refinado, posterior aos pressupostos de rigor em MEE. As duas análises serão realizadas nesta abordagem.

Este modelo de avaliação foi adotado porque nas ciências sociais e comportamentais, os dados muitas vezes não aderem a uma multivariada normal de distribuição, e, portanto, devem passar por uma avaliação mais adequada, sendo necessário adotar modelos mais complexos. Para encontrar o tamanho da amostra ideal (63), utilizou-se o software G-Power a partir dos seguintes da inserção dos seguintes parâmetros: tamanho do efeito (f^2) = 0,35; erro de probabilidade (α) = 0,05; Power (1-β erro probabilidade), = 0,95; número de fatores: 5. Devido ao software calcular testes t de Student entre os valores originais dos dados e aqueles obtidos pela técnica de reamostragem, para cada relação de correlação VO (variável observável) – VL (variáveis latentes) e para cada relação VL – VL, o G-Power apresenta os valores do teste t e não os p-valores. Por isso, deve-se interpretar que para os graus de liberdade elevados, valores acima de 1,96 correspondem a p-valores $\leq$ 0,05 (entre -1,96 e +1,96 corresponde à probabilidade de 95% e fora desse intervalo 5%, em uma distribuição normal) (RINGLE; DA SILVA; BIDO, 2014)

De posse da amostragem ideal trazido pelo G Power (63), adotou-se a amostragem de 64, vez que foi o número alcançado até o final do prazo dado aos entrevistados, um número a mais ao ideal 63 não trará prejuízos à análise, posto que traz uma maior segurança e confiabilidade para análise dos resultados. Os dados foram inseridos no software SmartPLS® para geração dos resultados pelo método MEE. Os parâmetros utilizados foram os seguintes: parâmetro de não centralidade (λ) = 22,05; Fator Crítico (FC) =2,37; numerador df = 5; denominador df=57, tamanho da amostra total = 63, no entanto até o prazo da pesquisa, houve 64 respostas, e as utilizamos, posto que 63 representa a amostra mínima para atingir o nível adequado de confiabilidade. Poder atual = 0,95, representando o grau de confiança

da pesquisa. Os modelos poderão ser formativos ou reflexivos, formativo ocorre quando as VO's formam a VL's, e reflexivo quando a VL's forma as VO's conforme destaque abaixo:

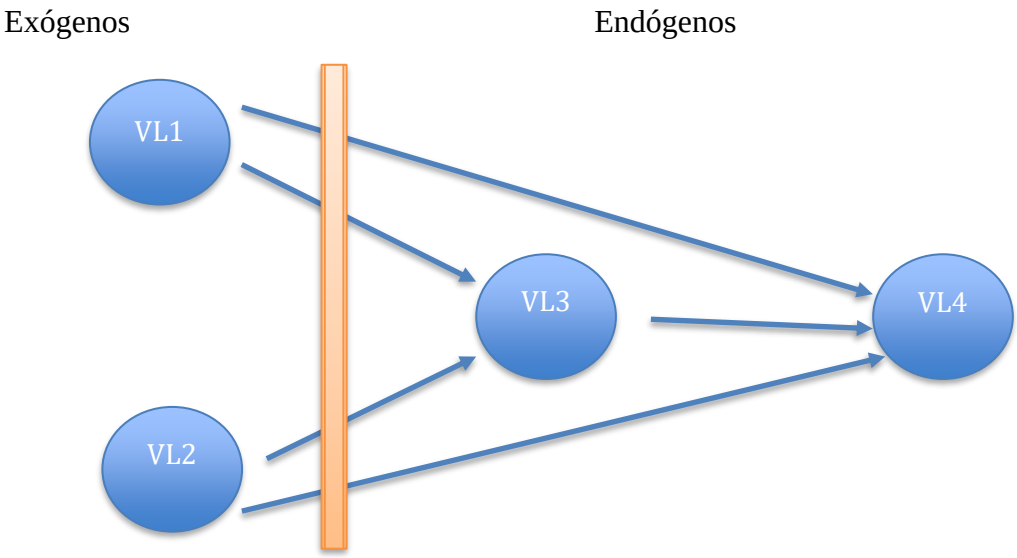
Figura 06: Representação dos modelos formativos x reflexivos



Fonte: Autoria própria (2021)

O modelo apresentado no presente trabalho é reflexivo, posto que as variáveis observáveis são formadas pelas variáveis latentes (constructos). Quanto aos constructos, os mesmos podem sofrer influência de outras VL's, a que chamamos de constructo endógeno ou podem ser exógenos, quando não sofrem influência, mas influenciam outros constructos conforme demonstrado a seguir:

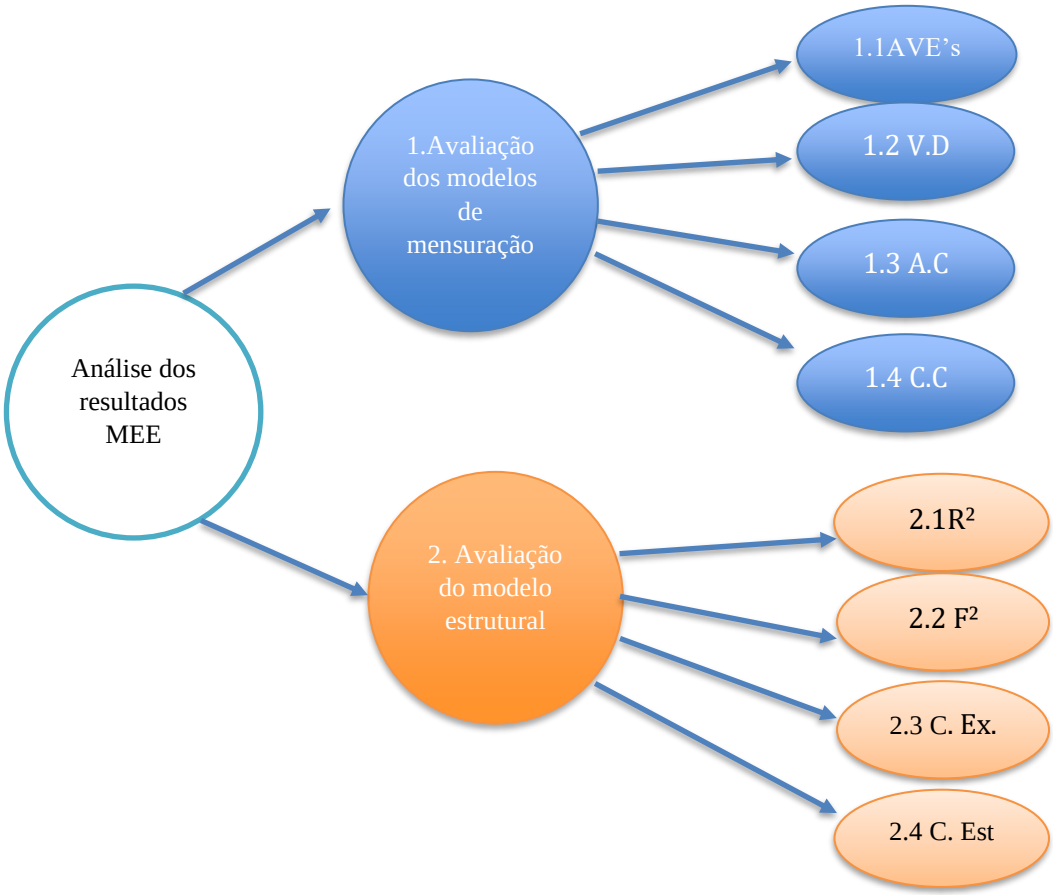
Figura 07: representação do modelo: exógeno x endógeno



Fonte: Autoria própria (2021)

O modelo da pesquisa apresenta tanto constructos endógenos como exógenos. Um dos mais importantes argumentos para utilização do MEE é o fato de poder aproveitar variáveis observáveis para estimar variáveis difíceis de medir, através de dois submodelos que podem ser explicados da seguinte forma:

Figura 08: Representação pelo método MEE



Fonte: Adaptação do modelo Ringle, Silva & Bido (2014)

Posto isto, para análise dos resultados gerados pelo SmartPLS®, seguiremos os seguintes passos: o primeiro é avaliar a porção da variância das variáveis endógenas, que é explicada pelo modelo estrutural. O critério a ser utilizado é a da determinação de Pearson (R^2), que servem para verificar a porção da variância das variáveis endógenas, é explicada pelo modelo estrutural. Pearson afirma que para a área de ciências sociais e comportamentais, R^2=2% deve ser classificado como efeito pequeno, R^2=13% como efeito médio e R^2=26% como efeito grande. O segundo passo é verificar a utilidade de cada constructo para ajuste do modelo. O critério utilizado é F^2, também um indicador de Cohen.

Segundo HAIR *et al.* (2014), os valores 0,02; 0,15; 0,35 são considerados pequenos, médio e de grande efeito respectivamente.

O terceiro passo é verificar a confiabilidade e a validade do constructo. Para isto, quatro critérios são utilizados. A Alpha de Cronbach (AC) para indicar o nível de consistência interna, cujo índice deve ser superior a 0,7 (Hair *et al*., 2014); O critério de rho_A para verificar o nível de confiabilidade, cujo índice deve ser superior a 0,7. O critério de ρ - rho de Dillon Goldstein, que representa o mesmo que confiabilidade composta, e é usada para avaliar se a amostra, de fato, está livre de vieses ou ainda se as respostas – em seu conjunto – são confiáveis. Valores de AC entre 0,60 e 0,70 para são considerados adequados em pesquisas exploratórias, enquanto que valores de 0,70 e 0,90 para CC são considerados satisfatórios (HAIR JR. *et al.*, 2014).

Tanto CC como AC servem para avaliar a validade convergente, ou seja, se a amostra está livre de vieses ou se as respostas em seu conjunto são confiáveis. No entanto, a CC é mais adequada para à técnica dos Mínimos Quadrados Parciais (*Partial Least Square Path Modeling* – PLS-PM), já que prioriza as variáveis de acordo com sua confiabilidade, enquanto o AC é mais sensível ao número de variáveis constante em cada constructo (RINGLE; SILVA; BIDO, 2014), a CC é mais recomendável para o presente trabalho.

A Variância Média Extraída (Average Variance Extracted - AVE), estabelecido por Fornell & Larcker (1981), é utilizado para avaliar a validade convergente. HAIR *et al*., 2005 & HENSELER *et al*. (2009ª) afirmam que a AVE deve ser superior a 0,50 para que o modelo seja positivo ou convergente. Para estabelecer a validade convergente, o pesquisador considera as cargas externas dos indicadores, e a Variância Média Extraída. A AVE é a porção dos dados nas variáveis (VO) que é explicada por cada um dos seus respectivos constructos, nesse contexto, refere-se ao conjunto de variáveis ou o quanto, em média, as variáveis se correlacionam positivamente com seus respectivos constructos (VL) (RINGLE, SILVA, & BIDO, 2014).

O quarto passo é verificar a Validade Discriminante (VD). Segundo Hair *et.al.*, (2014), VD é compreendida como um indicador de que os constructos ou variáveis latentes são independentes um dos outros. Para Chin (1998), é possível avaliar VD observando os valores das cargas cruzadas, que apresentam os indicadores com cargas fatoriais mais altas nas suas respectivas Variáveis Latentes – VL's (constructos) do que em outras, ou seja, os R^2 devem ser inferiores aos valores de AVE para que atendam aos critérios de VD.

O quinto passo é a análise das cargas cruzadas, onde segundo Chin (1998), os valores das cargas maiores nas VL's originais do que em outras, ou seja, os valores dos constructos (ou VL's) devem ser maiores do que os valores constantes nas Variáveis Observáveis (VO). O sexto e último passo é a

análise do coeficiente estrutural. Para uma avaliação o modelo estrutural, é necessária avaliação dos coeficientes de determinação de Pearson – R^2 (COHEN, 1998).

4.5.1 Resumo dos critérios de análise:

Tabela 08: Critérios de análise

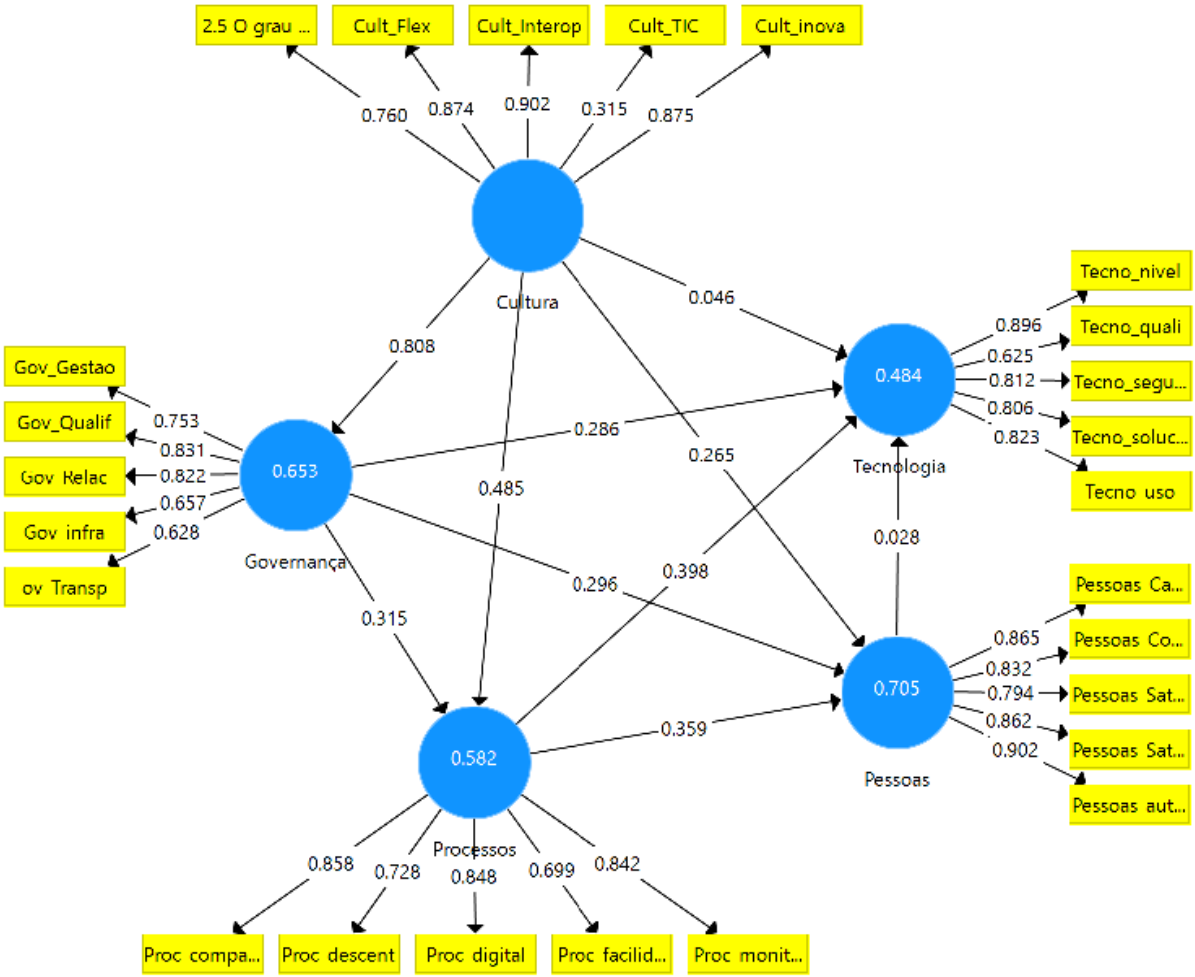
Indicador	Propósito	Critérios	Referências
AVE – Average Variance Extracted	Validade Convergente	AVE > 0.50	HENSELER *et al.* (2009)
Cargas Cruzadas	Validade discriminante	Valores das cargas maiores nas VL originais do que em outras	CHIN (1998)
Critério de Fornell e Larcker	Validade discriminante	Comparação entre as raízes quadradas dos valores das AVE de cada constructo com as correlações (de Pearson) entre os constructos. As raízes quadradas das AVE devem ser maiores que as correlações dos constructos	FORNELL e LARCKER (1981)
Alfa de Cronbach	Consistência	Alpha > 0,70	HAIR *et al.* (2014)
ρ - rho de Dillon Goldstein	Confiabilidade	Dillon > 0,70	
Teste *t* de Student	Avaliação das significâncias das correlações e regressões	t ≥ 1,96	HAIR *et al.* (2014)
Avaliação dos Coeficientes de Determinação de Pearson (R^2)	Avaliam a porção da variância das variáveis endógenas, que é explicada pelo modelo estrutural.	Para a área de ciências sociais e comportamentais, R^2=2% seja classificado como efeito pequeno, R^2=13% como efeito médio e R^2=26% como efeito grande.	COHEN (1988)
Tamanho do efeito (F^2) ou Indicador de Cohen	Avalia-se quanto cada constructo é "útil" para o ajuste do modelo	Valores de 0,02, 0,15 e 0,35 são considerados pequenos, médios e grandes.	HAIR *et al.* (2014)
Validade Preditiva (Q^2) ou indicador de Stone-Geisser	Avalia a acurácia do modelo ajustado	$Q^2 > 0$	HAIR *et al.* (2014)

Fonte: Elaborada pelos autores com base na literatura de Fornell & Larcker (1981), Cohen (1988), Chin (1988), Henseler *et al*. (2009) Hair et al (2014).

4.5.2 Primeira Análise

Ao analisar os dados pelo método das equações quadráticas por meio do software SmartPLS®, encontramos os seguintes dados:

Gráfico 28: Avaliação IFES via MEE



Fonte: Autoria própria gerado através do software SmartPLS® (2021)

Nesse caso em particular, os constructos avaliados são Cultura, Tecnologia, Pessoas, Processos e Governança. O constructo também é chamado de Valor Latente, e os indicadores (R^2) são respectivamente, excetuando Cultura, 0,484; 0705; 0,582; 0,653. Nesse contexto, o único constructo independente é a Cultura, visto que não sofre influência das outras VL's. O constructo Tecnologia sofre influência das variáveis latentes do mais forte ao mais fraco: Processos (39,8%), Governança (28,6%), Cultura (4,6%) e Pessoas (2,8%); nesse aspecto, o constructo Tecnologia é o constructo

endógeno ou dependente, àquele que sofre influência; já os outros são considerados constructos exógenos ou independentes.

O Constructo Pessoas (endógeno) cujo índice é 0,705 sofre influência das VL's (exógenos) do mais forte ao mais fraco: Processos (35,9%), Governança (29,6%) e Cultura (26,5%). O Constructo Processo de índice 0,582 sofre as seguintes influências dos VL's do mais forte ao mais fraco: Cultura (48,5%) e Governança (31,5%). Por fim o constructo Governança de índice 0,653 sofre influência somente da VL Cultura (80,8%).

4.5.2.1 Determinação de Pearson (R Quadrado) 1

Tabela 09: $R^2$1

Matriz		
	R Quadrado	R Quadrado ajustado
Governança	0.653	0.647
Pessoas	0.705	0.690
Processos	0.582	0.568
Tecnologia	0.484	0.448

Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

A análise da avaliação dos coeficientes de Determinação de Pearson (R^2) apresentou números acima de 0,26; são considerados de grande efeito, conforme Cohen (1998) no contexto das ciências comportamentais, no modelo de quadrado ajustado, a avaliação continua sendo de grande efeito. O constructo Cultura não aparece na avaliação por ser uma variável independente, portanto desprovida de R^2.

4.5.2.2 Indicador de Cohen (F Quadrado) 1

Tabela 10: F^2 1

Matriz					
	Cultura	Governança	Pessoas	Processos	Tecnologia
Cultura		1.878	0.069	0.195	0.001
Governança			0.095	0.083	0.046
Pessoas					0.000
Processos			0.182		0.109
Tecnologia					

Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

Neste aspecto o índice de avaliação "Governança" é considerado de grande efeito, dois índices da dimensão "Pessoas" são considerados de médio efeito e um índice de grande efeito. Um índice da dimensão "Processos" é considerado de pequeno efeito e outro de médio efeito. Na dimensão Tecnologia, dois índices são considerados de pequeno efeito e dois de médio efeito. Considerando critério de Cohen (1998), quando maior o nível de efeito, mais útil o constructo se revela para o modelo.

Henseler *et al.* (2014) recomendam realizar a análise do modelo em duas etapas: confiabilidade e validade do modelo de medida e mensuração do modelo estrutural. Àquele revela a diferença entre os indicadores (formativos ou reflexivos), este analisa se as pontuações das variáveis latentes são evidentes suficientemente quanto à confiabilidade e validade. A seguir, o presente modelo (reflexivo) analisado por meio do uso do SmartPLS®:

4.5.2.3 Confiabilidade e validade do constructo 1

Tabela 11: Confiabilidade e validade do constructo 1

Matriz

	Alfa de Cronbach (AC)	Rho_A	Confiabilidade Composta (CC)	Variância Média Extraída (AVE)
Cultura	0.813	0.880	0.875	0.604
Governança	0.793	0.805	0.859	0.552
Pessoas	0.905	0.913	0.929	0.725
Processos	0.855	0.857	0.897	0.637
Tecnologia	0.856	0.884	0.896	0.636

Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

Na presente avaliação do constructo, todos os índices do AC apresentados estão acima de 0,60, configurando resultados adequados e confiáveis. Na avaliação específica, fica demonstrado que os índices vão de 0,805 a 0,913, portanto índices superiores ao mínimo, indicando uma conversão à confiabilidade alta na avaliação. Quanto ao Rho_A e à Confiabilidade Composta (Dillon), estão com todos os índices superiores a 0,7; variando de 0.859 a 0.929 no aspecto da CC, e de 0,805 a 0,913 no aspecto do Rho_A, representando forte avaliação positiva do constructo nas cinco dimensões avaliadas.

Todos os dados acima variância média extraída (AVE) acima de 50%, o que traz a indicação da existência de validade convergente segundo critérios estabelecidos por HENSELER *et al*. (2009) e Hair *et al*., (2005), portanto AVE dos constructos estão coerentes. Para que o modelo convergente seja considerado satisfatório, Fornell & Larcker (1981) corroboram que o índice AVE deve ser superior a 0, 50. Tanto CC como AC servem para avaliar se a amostra está livre de vieses, ou ainda, se as respostas em seu conjunto são confiáveis.

4.5.2.4 Validade discriminante 1

Tabela 12: Validade discriminante 1

Matriz

	Cultura	Governança	Pessoas	Processos	Tecnologia
Cultura	**0.777**				
Governança	0.808	**0.743**			
Pessoas	0.700	0.764	**0.852**		
Processos	0.740	0.707	0.764	**0.798**	
Tecnologia	0.593	0.626	0.586	0.656	**0.798**

Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

Há duas formas de avaliar a validade discriminantes, pelo método de Fornell e Larcker (1981) que será analisado neste item, análise a nível das VL's; e pelo método da avaliação das cargas cruzadas (Chin, 1998), a ser analisado no item subsequente, que representa uma análise a nível dos itens (VO's). No primeiro método de análise, compare-se as raízes quadradas dos valores das AVE's de cada constructo com as correlações (R^2 de Pearson) entre os constructos (VL's). Neste caso, as raízes quadradas das AVE's devem ser maiores que as correlações entre os dos constructos. A validade discriminante á verificado a partir da análise das AVE's.

Os R^2 (valores fora da diagonal) devem ser inferiores aos valores de AVE's para que atendam aos critérios de VD segundo o teste de Fornell e Larcker (1981). Nessa perspectiva, as AVE's destacadas na diagonal possuem valores maiores do que as correlações entre as VL's (fora da diagonal), possuem, portanto, validade discriminante, com exceção de dois indicadores,

Quando os valores de R^2 maiores do que os de AVE's precisam ser calculados mediante o teste de Bagozzi e Phillips (1982). No presenta caso, o cruzamento entre Cultura x Governança apresentou R^2 de 0,808, acima de sua respectiva AVE de 0,777 e precisará ser recalculado. O mesmo ocorre no cruzamento Governança contra Pessoas cujo R^2 de 0,764 é maior do que seu respectivo AVE.

4.5.2.5 Cargas externas ou cruzadas 1

Tabela 13: Cargas externas 1

Matriz

	Cultura	Governança	Pessoas	Processos	Tecnologia
2.5 Grau de at.	0.760				
Cult_Flex	0.874				
Cult_Interop,	0.902				
Cult_Tic	0.315				
Cult_Inova	0.875				
Gov_Gestão		0.753			
Gov_Qualif		0.831			
Gov_Relac		0.822			
Gov_Infra		0.657			
Pessoas_Capac			0.865		
Pessoas_Conhe			0.832		

Pessoas_Conhe		0.794			
Pessoas_Satis		0.862			
Pessoas_aut		0.962			
Proc_compartilha			0.858		
Proc_descent			0.728		
Proc_digital			0.848		
Proc_facilidade			0.699		
Proc_monitora			0.842		
Tecno_nivel					0.826
Tecno_quali					0.625
Tecno_segurança					0.812
Tecno_solução					0.806
Tecno_uso					0.823
Ov_trasnp	0.628				

Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

A avaliação das cargas cruzadas representa a outra forma de avaliar a validade discriminante. Neste caso, os indicadores devem possuir cargas mais altas nas suas respectivas VL's do que em outras. Esta tabela demonstra a validade convergente e a validade discriminante no nível dos itens. Os índices das cargas cruzadas destacados acima possuem valores maiores tanto a nível de coluna bem como na sua respectiva linha. Todos também possuem cargas acima de 0,70 (com exceção 5 cargas), o que representa alto índice de consistência e confiabilidade (CC e AC). Todos as cargas fatoriais são significantes a 1%.

4.5.2.6 Coeficientes estruturais 1

Tabela 14: Coeficientes estruturais 1

Matriz					
	Cultura	Governança	Pessoas	Processos	Tecnologia
Cultura		0.808	0.265	0.485	0.046
Governança			0.296	0.315	0.286
Pessoas					0.028
Processos			0.359		0.398
Tecnologia					

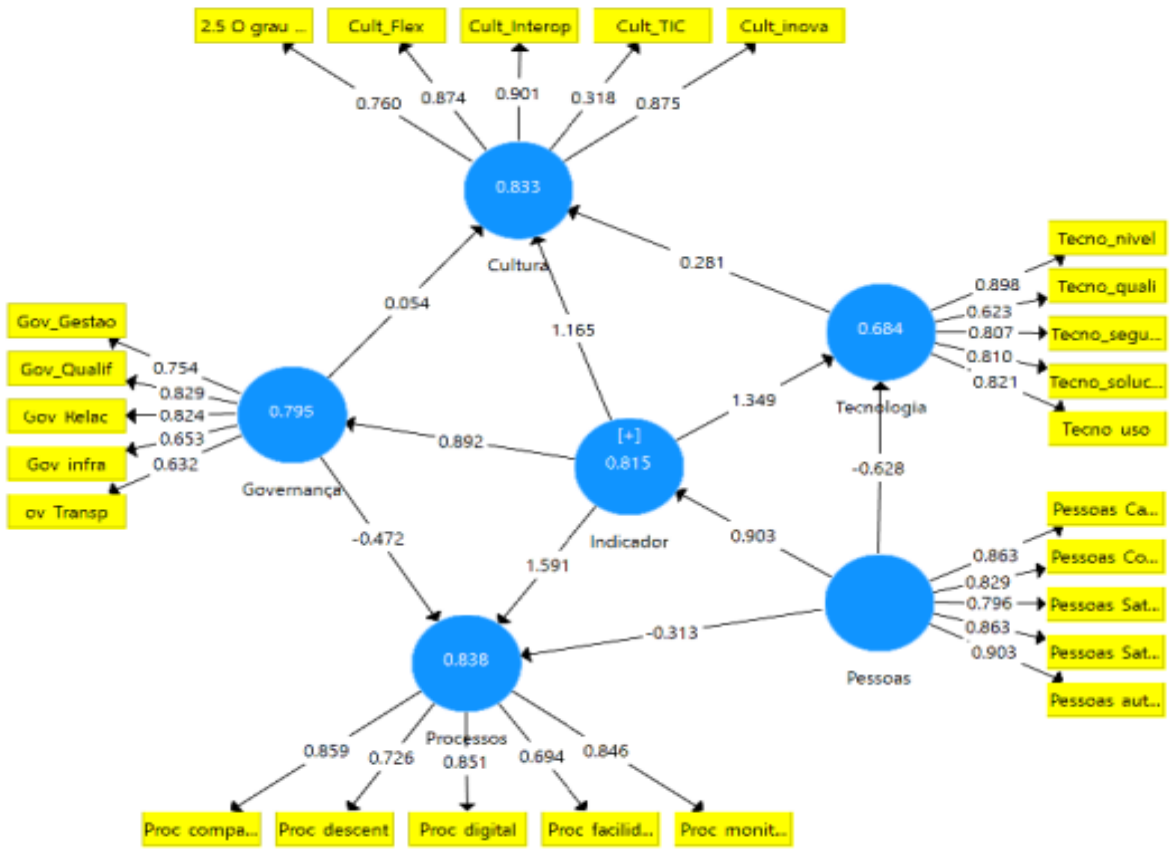
Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

Nesse contexto, os constructos Governança, Pessoas e Processos possuem índices superiores a 26%, sendo classificados, portanto, como de efeito grande. No constructo da Tecnologia, dois itens (0,398 e 0,286) são considerados de grande efeito, posto que superiores a 26%; e dois itens (0,046 e 0,028) são considerados de pequeno efeito, posto que superiores a 2% e inferiores a 13%.

4.5.3 Segunda Análise

Ao acrescentar uma variável de segundo ordem, é possível estabelecer a partir dos dados abaixo, uma avaliação da IFES da seguinte forma:

Gráfico 29: Avaliação IFES via MEE II



Fonte: Autoria própria através do algoritmo PLS gerado pelo SmartPLS® 3.0

Os constructos foram avaliados a partir da inserção de um novo constructo de segunda ordem, chamado de Indicador. Nesse novo cenário, o constructo Pessoas passa a ser o único independente ou exógeno. Nesse contexto, os valores latentes dos constructos do maior ao menor são: Processos (0,838), Cultura (0,833), Indicador (0,815) Governança (0,795), e Tecnologia (0,684). Os Constructos mais que mais sofrem influência são Pessoas e Cultura, seguidos de Tecnologia, Indicador e Governança.

O Constructo Processo (endógeno) cujo índice é 0,835 sofre influência das VL's do mais forte ao mais fraco: Indicador (159,10%), Pessoas (-31,30%) e Governança (-47,20%). O Constructo Cultura de índice 0,833 sofre as seguintes influências dos VL's do mais forte ao mais fraco: Indicar (116,5%) Tecnologia (28,10%) e Governança (5,4%). O constructo Tecnologia sofre influência das VL's

Indicador (134,9%) e Pessoas (-62,80%). O constructo Governança sofre influência da VL Indicador (89,20%) e o constructo Indicador sofre influência da VL Pessoas (90,3%).

4.5.3.1 Determinação de Person (R Quadrado) 2

Tabela 15: R^2 2

MATRIZ		
	R Quadrado	R Quadrado ajustado
Cultura	0.833	0.825
Governança	0.795	0.792
Indicador	0.815	0.812
Processos	0.838	0.830
Tecnologia	0.684	0.674

Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

De acordo de Determinação de Pearson (R^2), acima de 0,26 os índices análise da avaliação dos coeficientes são de grande efeito. Nesse caso específico, acrescentando-se uma variável de segunda ordem (constructo 0,815), todos os resultados R^2 e R^2 ajustados apresentam índices ainda maiores à avaliação anterior, significando, portanto, coeficientes de grande efeito.

4.5.3.2 F Quadrado 2

Tabela 16: F^2 2

MATRIZ						
	Cultura	Governança	Indicador	Pessoas	Processos	Tecnologia
Cultura						
Governança	0.003				0.270	
Indicador	1.002	3.875			1.359	1.065
Pessoas			4.405		0.107	0.231
Processos						
Tecnologia	0.173					

Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

Já na avaliação de F^2, que representa análise de Cohen (1998), ressalta-se que os valores 0,02; 0,15; 0,35 são considerados pequenos, médio e grandes respectivamente. Nessa perspectiva, a dimensão Cultura apresentou um índice (0,003) de pequeno efeito, um de médio efeito (0,173) e um de grande efeito (1,002). Quanto à dimensão Governança o índice de 3,875 representa valor de grande efeito. Com a nova variável (Indicador), o mesmo também possui índice de grande efeito. Processos apresenta dois índices (0,107 e 0,270) de médio efeito e um (1,359) de grande efeito. Por fim Tecnologia apresenta um índice (0,231) de médio efeito e um índice (1,065) de grande efeito.

4.5.2.3 Validade discriminante 2

Quadro 17: Validade Discriminante 2

MATRIZ						
	Cultura	Governança	Indicador	Pessoas	Processos	Tecnologia
Cultura	**0.777**					
Governança	0.808	**0.743**				
Indicador	0.897	0.892	**0.691**			
Pessoas	0.769	0.763	0.903	**0.851**		
Processos	0.737	0.707	0.887	0.762	**0.798**	
Tecnologia	0.595	0.626	0.782	0.589	0.655	**0.797**

Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

Considerando que as raízes quadradas das AVE's devem ser maiores que as correlações entre os dos constructos para que haja validade discriminante, utilizou-se novamente os R^2 (valores fora da diagonal) como parâmetro, pois estes devem ser inferiores aos valores de AVE's (valores na diagonal) (Fornell e Larcker 1981). Nessa perspectiva, as AVE's destacadas na diagonal possuem valores maiores do que todos os índices somente nas colunas Pessoas, Processos e Tecnologia. Na coluna Cultura, três possuem AVE's maiores que os R^2 (0,769; 0,737; 0,595) e na coluna Governança (0,707; 0,626).

Quando os valores de R^2 maiores do que os de AVE's, estes precisam ser calculados mediante o teste de Bagozzi e Phillips (1982). Neste caso em específico, os valores de 0,888 e 0,897 na coluna Cultura; os valores 0,892 e 0,763 na coluna governança, e todos os valores da coluna Indicador.

4.5.2.4 Confiabilidade e validade do constructo 2

Tabela 18: Confiabilidade e validade do constructo 2

MATRIZ				
	Alfa de Cronbach (AC)	Rho_A	Confiabilidade Composta (CC)	Variância Média Extraída (AVE)
Cultura	0.813	0.879	0.875	0.604
Governança	0.793	0.805	0.859	0.552
Indicador	0.952	0.958	0.957	0.478
Pessoas	0.905	0.914	0.929	0.725
Processos	0.855	0.859	0.897	0.637
Tecnologia	0.856	0.888	0.896	0.635

Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

Nesse novo cenário, ao analisar os dados comparativos, os índices de AC mantiveram-se estáveis em relação a cada dimensão. No aspecto da análise dos índices de Rho_A, o índice da dimensão Cultura caiu de 0,880 para 0,879; Governança manteve-se em 0,805; Pessoas, aumento de 0,913 para 0,914; Processo, aumento de 0,857 para 0,859; e índice da dimensão Tecnologia de 0,884

para 0,888. Com relação a CC, os índices relacionados à Cultura, Governança, Pessoas, Processos e Tecnologias mantiveram-se os mesmos. No que concerne aos índices de AVE, todas as dimensões permaneceram com valores estáveis, sem alterações, continuando como fatores coerentes de convergência, com exceção do índice destacado de 0,478, valor, portanto, inferior ao mínimo de 0,5.

4.6 Relação de avaliação da IFES entre CMMI e o MEE

Em ordem de classificação de acordo com os índices demonstrados nos gráficos radar, e que foram determinantes para classificação no CMMI do mais bem avaliado ao de pior avaliação as dimensões Processos - 0,453, TIC – 0,438, Cultura – 0,306, Governança – 0,297 e Pessoas – 0,269. Trazendo à baila a avaliação da IFES pelo método CMMI demonstrado no item 4.4.1, ressalta-se que as dimensões TIC e Processos alcançam o nível III, possuindo, portanto, um nível de organização estruturado e definido; isto representa características de procedimentos padronizados, um alto grau de uso de indicadores para monitoramento. Governança, Cultura e Pessoas alcançam o nível II no CMMI, onde os processos são definidos e a utilização de recursos são balanceados; já o comportamento dos servidores é minimamente disciplinado.

A seguir fizemos um paralelo entre o nível de maturidade avaliado no CMMI e a utilização do MEE para verificar a consistência desses dados.

Tabela 19: correlação avaliação CMMI e MEE

Dimensão	**Avaliação de maturidade**	**Nível**	**Características**	**Comportamento**	**Avaliação pelo método MEE**	
					Avaliação do modelo de mensuração	Avaliação do modelo estrutural
Governança	29,7%	2-Organizado	Processos Principais Definidos Compromissos recursos balanceados	Disciplinado	Dimensão endógena; AVE >0,50 VD = VL>VO (-1) AC >0,70 CC >0,70	R^2>0,26 F^2>0,35 C.E*: 3/5>0,7 C.Es.**>0,26
Cultura	30,6%	2-Organizado	Processos Principais Definidos Compromissos recursos balanceados	Disciplinado	Dimensão exógena; AVE >0,50 VD = VL>VO (-1) AC >0,70 CC >0,70	C.E: 4/5>0,7
Processos	45,3%	3-Estruturado/Definido	Procedimentos Padronizados Alto grau de Controle Início do uso de Indicadores	Padronizado e Consistente	Dimensão endógena; AVE >0,50 VD= VL>VO AC >0,70 CC >0,70	R^2>0,26 0,02 >F^2<0,15 (1) 0,15>F^2<0,35 (1) C.E.:4/5>0,7 C.Es. >0,26

Pessoas	26,9%	2- Organizado	Processos Principais Definidos Compromissos recursos balanceados	Disciplinado	Dimensão endógena; AVE >0,50 VD = VL>VO AC >0,70 CC >0,70	R^2>0,26 0,15< F^2<0,35 (2) F^2> 0,35 (1) C.E.:5/5>0,7 C.Es.>0,26
TIC	43,8%	3- Estruturado/Definido	Procedimentos Padronizados Alto grau de Controle Início do uso de Indicadores	Padronizado e Consistente	Dimensão endógena; AVE >0,50 VD = VL>VO AC >0,70 CC >0,70	R^2>0,26 0,15< F^2<0,35 (2) 0,02< F^2<0,15(2) C..E.:4/5>0,7 C.Es.>0,26 (2); 0,02>C.Es< 0,13 (2)

Fonte: Dados da Pesquisa (2020)
*Cargas Externas
** Coeficientes Estruturais

Duas importantes análises serão realizadas: a avalição da IFES como finalidade última da pesquisa, bem como a metanálise dos dados a fim de verificar a aderência, a convergência e a confiabilidade dos dados. Quanto a análise dos dados via MEE, é possível avaliar tanto o modelo de mensuração como o modelo estrutural. Para analisar o modelo de mensuração são analisados os seguintes indicadores: A variância média extraída (AVE), a Validade Discriminante (VD), o Alpha de Cronbach (AC) e a Confiabilidade Composta (CC). A avaliação ocorrerá de acordo com os parâmetros estabelecidos por HENSELER *et al.* (2009), CHIN (1998), FORNELL e LARCKER (1981) e HAIR et al. (2014) respectivamente conforme explicação da Tabela 08.

Para analisar o modelo estrutural, os seguintes indicadores serão considerados: R^2, F^2, Cargas Cruzadas (C. E) e Coeficientes Estruturais (C.Es.). A avaliação ocorrerá de acordo com os parâmetros definidos por COHEN (1988), HAIR *et al.* (2014), CHIN (1998) e COHEN (1998) respectivamente conforme explicações explanadas no item 4.5 bem como as definições verificáveis na Tabela 08.

Os quadrantes destacados em cinza, demonstram os indicadores que revelaram as maiores consistências dos dados, sendo possível traçar uma relação entre a avalição CMMI e a metanálise por meio do MEE. No primeiro aspecto, Processos e TIC são dimensões endógenas, ou seja, seus indicadores sofrem influência de outras dimensões; são também as dimensões mais bem avaliadas respectivamente no critério do CMMI (conforme indicadores destacados em cinza na tabela acima). As AVE's das suas dimensões possuem indicadores acima de 0,50, o representa que os dados são convergentes, ou seja, as VO's correlacionam-se positivamente com seus respectivos constructos (VL's). Estes mesmos VL's apresentaram indicadores maiores que seus respectivos VO's, o que indicam validade discriminante, ou seja, as VL's são independentes um dos outros; no que se refere

aos indicadores de AC e CC, ambas apresentam valores acima de 0,70, indicando que estão livres de vieses e as respostas em seu conjunto são confiáveis.

No que se refere à avaliação do modelo estrutural, Processos e TIC apresentaram R^2 acima de 0,26, indicado que os coeficientes de determinação de Person são de grande efeito. No aspecto de F^2, a dimensão Processos apresentou um indicador entre 0,02 e 0,15, e um indicador está entre 0,15 e 0,35, significa que um índice é de pequeno efeito e outro de médio efeito; segundo Cohen (1998) quanto maior o efeito, mais relevante é constructo para o modelo. Já na dimensão TIC, dois indicadores F^2 apresentaram indicadores entre 0,15 e 0,35; e dois indicadores apresentaram valores entre 0,02 e 0,15; isso significa que dois indicadores são de pequeno efeito e dois são de médio efeito, ou sejam, dois são pouco relevantes e dois são de média relevância para o constructo.

Quanto às Cargas Externas (C.E), quatro de cinco indicadores tanto na dimensão Processos como na TIC, apresentam indicadores acima de 0,70, demonstrando que 80% dos indicadores dos VO's apresentam número abaixo de suas respectivas VL's; isso significa que há Validade Discriminante (VD) segundo CHIN (1998). Quanto aos Coeficientes Estruturais (C.Es.), na dimensão Processos todos os índices são maiores de 0,26; na dimensão TIC, dois indicadores são acima de 0,26 e dois indicadores estão entre 0,02 e 0,13; esses dados mostram que todos os indicadores da dimensão Processos e 50% dos indicadores da dimensão TIC são de grande efeito, ou seja, todos os indicadores da dimensão Processos são de grande efeito para a construção do modelo, dois indicadores da dimensão TIC são de grande efeito e dois são de pequeno efeito para a construção do modelo.

Quanto às dimensões Cultura, Governança e Pessoas, os índices de avaliação são de 0,306; 0,297 e 0,269 respetivamente, todos alcançando apenas o nível II do CMMI, nesse nível os processos mais relevantes são definidos, os compromissos dos recursos são balanceados, e o comportamento dos colaboradores são disciplinados. Esta avaliação representa o segundo nível da escala do CMMI (20%-40%), mostrando que os níveis de maturidade dessas dimensões são inferiores às duas primeiras avaliadas. Quanto à metanálise dos dados, no aspecto da avaliação do modelo de mensuração, a dimensão Cultura é exógena, ou seja, a única das 5 dimensões avaliadas que não sofre influências externas; Governança e Pessoas são dimensões endógenas.

As AVE's dessas três dimensões possuem indicador acima de 0,50, indicando que os dados são convergentes. A dimensão Pessoas possui validade discriminante em todos os seus indicadores; no que refere às dimensões Governança e Cultura, a validade também é discriminante com exceção de um indicador para cada dimensão; isso significa que um indicador VO apresentou valor acima de sua respectiva VL, e por isso, passível de nova avaliação. Quanto aos indicadores de AC e CC das três

dimensões possuem indicadores acima de 0,70, demonstrando que estão livres de vieses e as respostas em seu conjunto são confiáveis.

No que se refere à avaliação do modelo estrutural, Cultura não possui R^2, F^2 e Coeficientes Estruturais (C. Es.) por se tratar de uma dimensão exógena, por isso não sofre influência de outras dimensões. Nas dimensões Governança e Pessoas R^2 acima de 0,26, indicado que os coeficientes de determinação de Person são de grande efeito, logo de grande relevância para o modelo estrutural. No aspecto de F^2, a dimensão Governança apresentou índice superior a 0,35, indicado segundo Cohen, grande relevância para o modelo. Já na dimensão Pessoas, o F^2 apresentou dois indicadores estão entre 0,15 e 0,35; e um indicador está acima de 0,35; demonstrando médio e grande efeito respectivamente para a construção do modelo.

Quanto às Cargas Externas (C.E), três de cinco indicadores da dimensão Governança bem como todos os índices da dimensão Pessoas apresentam indicadores acima de 0,70, demonstrando que 100% dos indicadores dos VO's da dimensão Pessoas e 66% dos indicadores da dimensão Governança apresentam número abaixo de suas respectivas VL's; isso significa forte Validade Discriminante (VD). Quanto aos Coeficientes Estruturais (C.Es.), todos os índices das dimensões Pessoas e Governança são maiores de 0,26; isso representa impacto de grande efeito, e como consequência revelam-se de grande relevância para a construção do modelo. Pelas características apresentadas, é possível aplicar uma correlação entre as dimensões mais bem avaliadas com o maior nível de validade, confiabilidade, convergência, aderência e independência dos dados apresentados.

No âmbito da modelo análise de mensuração do MEE, as dimensões Processos e TIC são as mais bem avaliadas quanto ao nível de maturidade (nível III - CMMI) ao mesmo tempo que são as únicas em que possuem todos os índices de AVE estão acima de 0,50 (Henseler *et al.*, 2009); os constructos são maiores que suas respectivas variáveis observáveis (Chin, 1998); os índices de AC e CC superiores a 0,70 (Hair *et al.*, 2014). Esses dados demonstram convergência, validade discriminante, e independência dos dados de eventuais vieses respectivamente.

Já as dimensões Cultura, Governança e Pessoas (nível II - CMMI) indicam pequenas inconsistências na validade e confiabilidade dos dados. Uma variável de VO em cada dimensão Cultura e Governança são maiores que seus respectivos constructos, configurando uma inconsistência na validade discriminante, mas que não é capaz de macular a avaliação geral dos dados. AC e CC das três dimensões apresentaram indicadores acima de 0,70, ou seja, mostrando independência dos dados de eventuais vieses.

No âmbito da avaliação do modelo estrutural, todos os índices de R^2 de Person de quatro das cinco dimensões estão acima de 0,26; indicando grande efeito na avaliação da porção da variância das

variáveis endógenas. A dimensão que não possui esse indicador é a Cultura por se tratar do único constructo exógeno. Na avaliação do F^2 de Cohen, Governança é única dimensão onde todos os índices são superiores a 0,35, configurando grande utilidade das variáveis para o ajuste do modelo; a dimensão Pessoas possui duas variáveis de médio efeito e um de grande efeito, a dimensão TIC possui duas variáveis de pequeno efeito e duas de médio efeito; a dimensão Processos possui uma variável de pequeno efeito e outro de médio efeito.

Posto isto, no aspecto do F^2, as variáveis que mais contribuíram para a construção do modelo foram as da dimensão Governança, Pessoas, TIC e Processos respetivamente. As duas dimensões mais bem avaliadas (Processos e TIC) foram as últimas na avaliação da metanálise dos dados de F^2 de Cohen. A segunda dimensão de pior avaliação, Governança, foi a mais bem avaliada na análise de F^2. Cultura não possui esta avaliação por ser uma dimensão exógena.

Na avaliação das Cargas Externas (C.E), Pessoas possui 100% das suas variáveis com indicadores acima de 0,70; TIC, Processos e Cultura possuem 80% das suas variáveis com indicadores C.E acima de 0,70; Governança e Cultura possuem 66% das suas variáveis com seus indicadores de C.E acima de 0,70; ressalta-se que quando só valores são acima de 0,70, há validade discriminante e os dados são consistentes. Nesse contexto, a dimensão Pessoas, de pior avaliação do CMMI (26,9% - nível II) possui os dados mais consistentes, seguidos de Processos (45,3% - nível III), TIC (43,8% - nível III) e Cultura (30,6% - nível II) e Governança (29,7% - nível II).

Na avaliação dos Coeficientes Estruturais (C. Es.), cultura não a possui por ser um constructo exógeno; Governança, Processos e Pessoas possuem indicadores acima de 0,26, portanto são classificados de grande efeito para a construção do modelo (Cohen ,1998). Quanto à dimensão TIC, dois indicadores são de grande efeito e dois são de pequeno efeito. Este resultado mostra que a dimensão de melhor avaliação no CMMI (Processos – Nível III, 45,6%) possui dados de grande efeito e a dimensão de segunda melhor avaliação (TIC – Nível III, 43,8%) é a única que possui indicadores de pequeno efeito para a construção do modelo.

Posto isto, na avaliação de modelo de mensuração, do maior ao menor nível de convergência, validade discriminante, consistência e confiabilidade dos dados estão as dimensões Processos (1º no CMMI), TIC (2º CMMI), Cultura (3º CMMI), Governança (4º CMMI) e Pessoas (5º CMMI). Já na avaliação do modelo estrutural, do melhor ao menor nível de variância das variáveis, a utilidade dos índices ao constructo do modelo e a validade discriminante estão as dimensões Pessoas (5º CMMI), Governança (4º CMMI), TIC (2º CMMI) e Processos (1º CMMI).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos pressupostos, conceitos e princípios trazidos da literatura acerca da Industria 4.0, foi possível adequar as dimensões e itens para avaliação de maturidade desta IFES. A partir de diversos modelos de maturidade e prontidão analisados, foi possível criar um modelo específico por meio de uma estruturação trazida da indústria da transformação, tornando possível avaliar uma instituição de ensino superior. O modelo de Rubel *et al.* (2018), *Capability Maturity Model Integration* junto com o método da escala *likert* foram utilizados como base estrutural de avaliação em cinco níveis. A partir de vinte e cinco itens espalhados igualmente por cinco dimensões da organização foi possível avaliar com certo grau de assertividade o grau de maturidade da IFES perante à I.4.0.

Em um primeiro momento, avaliou-se o grau de maturidade da I.4.0 IFES de forma horizontal, por meio uma visão geral das cinco dimensões demonstradas por meio do gráfico radar, onde foi possível concluir do menor ao maior de maturidade grau respectivamente as dimensões Pessoas, Governança, Cultura, Processos e TIC. Foi possível verificar que a dimensão mais avançada no ambiente da I.4.0 é àquela que está mais ligada diretamente às tecnologias desenvolvidas como a digitalização e a interoperabilidade no aspecto da Tecnologia da Informação, o que pode ser explicado por uma imposição de novos métodos e procedimentos adotado por meio do governo federal, por meio do Ministério da Economia, que por sua vez, pode ser explicado por uma imposição de novas práticas concorrentes dos países mais avançados em maturidade da I.4.0.

Em segundo lugar, analisou-se o nível de maturidade da IFES por meio do modelo CMMI. Nesse contexto, ao transferir os dados da avaliação destacados no gráfico radar para o método CMMI, verificou-se que as dimensões TIC e Processos atingiram o nível III (estruturado/definido), significando que características como padronização alta e utilização de indicadores são conceitos praticados nestas dimensões, os servidores possuem um comportamento padronizado e consistente nestes aspectos. Quanto as dimensões Pessoas, Cultura e Governança, são dimensões que alcançaram o nível II do modelo CMMI, e que, portanto, os processos principais são definidos, compromissos recursos balanceados, e comportamento dos colaboradores são disciplinados. Características dos níveis ideais (IV ou V) como indicadores consistentes, metas e planos baseados em dados (nível 04 CMMI) e todos engajados pela melhoria continua (nível 05 CMMI) são parâmetros ideais ainda muito longe da realidade da IFES.

Utilizou-se por fim o MEE – Método das Equações Estruturadas, com o objetivo de solucionar problemas práticos de testagem de modelos complexos, com múltiplas variáveis simultâneas e traços latentes, o método representa uma forma de realizar uma metanálise dos dados, afim de verificar a aderência e a confiabilidade da pesquisa. Com este método, foi possível estimar uma série de regressões

múltiplas interdependentes simultaneamente pela especificação de um modelo estrutural. Tornou-se adequado, portanto, posto que a análise foi realizada em cima da pesquisa realizada pelo questionário *survey*, onde se identificou a avaliação dos técnicos-administrativos e docentes nas diversas dimensões estruturadas no modelo, trata-se, portanto, de um meio de analisar uma complexidade de dados e variáveis.

Houve algumas limitações quanto ao processo de pesquisa tais como: a) pandemia do Coronavirus (COVID-19) fez com que o plano de pesquisa fosse alterado do meio presencial para o virtual, fazendo eventuais informações complementares qualitativas deixassem de ser obtidas b) eventualmente alguns servidores não ligados à TI podem ter encontrado dificuldade para responder indagações técnicas relacionadas à tecnologia e à indústria 4.0. Uma das formas de mitigar essa problemática foi justamente a adoção do método MEE como meio de verificar eventuais vieses ou inconsistências na pesquisa.

Nesse contexto, o método MEE aplicado demonstrou independência e grande confiabilidade dos dados da pesquisa. De acordo com os coeficientes de Determinação de Person (R^2), há grande variação na porção da variância das variáveis endógenas, já na análise de indicador F^2 de Cohen (1998), os índices verificados das dimensões sofreram variações de pequeno a de grande efeito. Quanto à confiabilidade e validade do constructo apresentado, na avaliação do AVE, todos os dados apresentaram valores acima a existência de validade convergente e coerentes (HAIR *et al*., (2005); HENSELER *et al*. (2009); no aspecto da validação de constructo ou fiabilidade composta estabelecida por Chin (1998), todos os índices apresentados forte avaliação positiva do constructo nas cinco dimensões avaliadas.

No que se refere às avaliações de FC e AC, todos apresentaram valores com resultados adequados e confiáveis, significando que a amostra está livre de vieses; e em relação à avaliação de ρ - rho de Dillon Goldstein, todos os índices apresentaram resultados com uma conversão à confiabilidade alta na avaliação. Por fim quando se adicionou um novo constructo junto às cinco dimensões, os índices de R^2, F^2, de confiabilidade, de Confiabilidade Composta e Alpha de Cronbach apresentaram resultados ainda mais estáveis e confiáveis, demonstração pouca variação para cima. Pela importância crescente do fenômeno das variáveis latentes no contexto do mercado, como a percepção dos clientes, o seu comportamento e atitudes, torna-se clara a proeminente utilização do PLS-SEM (COSTIGLIOLA 2009).

Foi verificado uma correlação direta entre as dimensões mais bem avaliadas (Processos e TIC) demonstrados nos gráficos, no nível de maturidade via método CMMI e maior convergência, validade discriminante, e independência dos dados de eventuais vieses no aspecto da avaliação do modelo de

mensuração (primeira análise MEE). No aspecto da segunda análise do MEE, avaliação do modelo estrutural, já não houve correlação direta entre as dimensões mais bem avaliadas e maiores índices de grande efeito à construção do respectivo modelo, ao aumento da consistência e confiabilidade dos dados, visto que neste aspecto, as dimensões mais bem avaliadas foram Pessoas e Governança.

Por fim, foi possível avaliar ainda que a estrutura da pesquisa avaliada pelo método MEE demonstrou números que indicaram confiabilidade, convergência e coerência da pesquisa. Como resultado último da avaliação, ficou demonstrado que a IFES possui um baixo grau de maturidade e prontidão perante à I.4.0, visto que a dimensão de melhor avaliação, levando em consideração a somatória dos fatores "excelente e bom" não chegou ao percentual de 50% (TIC). As outras dimensões apresentaram índices ainda muito inferiores àqueles em que se poderiam avaliar como alto grau de maturidade, coloca-se em destaque as dimensões "Pessoas" e "Governança" como os fatores mais críticos, e que, portanto, requererão mais atenção em investimentos e melhoria de gestão.

6. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial - ABDI. Disponível em https://www.abdi.com.br/ Acesso em junho/2020

Acórdão 1943/2018. Disponível em http://www.tcu.gov.br/Consultas/Juris/Docs/CONSES/TCU_ATA_0_N_2018_32.pdf Acesso em outubro/2020

AKDIL, Kartal Yagiz; USTUNDAG, Alp; CEVIKCAN, Emre. Maturity and readiness model for industry 4.0 strategy. In: **Industry 4.0: Managing the digital transformation**. Springer, Cham, 2018. p. 61-94.

AKPAKWU, Godfrey Anuga et al. A survey on 5G networks for the Internet of Things: Communication technologies and challenges. **IEEE access**, v. 6, p. 3619-3647, 2019.

ALTUNOK, Taner; CAKMAK, Tanyel. A technology readiness levels (TRLs) calculator software for systems engineering and technology management tool. **Advances in Engineering Software**, v. 41, n. 5, p. 769-778, 2010.

ANATEL- Agência Nacional de Telecomunicações. Brasil, 2020. DOI: https://www.anatel.gov.br/institucional/component/content/article/171-manchete/2491-anatel-aprova-consulta-publica-para-licitar-faixas-de-frequencias-para-o-5g. Acesso em março 2020

ANTONIO, Daniel Soares et al. A INDÚSTRIA 4.0 E SEUS IMPACTOS NA SOCIEDADE. **Revista Pesquisa e Ação**, v. 4, n. 3, 2018.

ARMSTRONG, Elia. Integrity, transparency and accountability in public administration: Recent trends, regional and international developments and emerging issues. **United Nations, Department of Economic and Social Affairs**, p. 1-10, 2005.

ARMBRUST, Michael et al. A view of cloud computing. **Communications of the ACM**, v. 53, n. 4, p. 50-58, 2010.

ASARE, P.; BROMAN D. CPS, Cyber Physical Systems. 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.cose.2017.04.005. Acesso em: Abril 2020.

ASSIS, Maria Cristina de. Metodologia do trabalho científico. São Paulo: Atlas, 2009.

AYUB, D.; SOUZA, D. L. da S. MARQUES, M.A.M. **Importância e aplicabilidade da abordagem multivariada na indústria 4.0**. ABEPRO, Brasil, 2017.

BAGHERI, B; YANG, S.H.A; KAO, J. L. Cyber-Physical Systems Architecture for Self-Aware Machines in Industry 4.0 Environment. **IFAC Conference** 38-3, 1622–1627, 2015.

BAGOZZI, Richard P.; PHILLIPS, Lynn W. Representing and Testing Organizational Theories: A Holistic Construal**. Administrative Science Quarterly**, v.27, p.459-489, 1982.

BAHATI, R.; GILL, H. Cyber-physical Systems. The Impact of Control Technology. 2011. Acessado em jan/2019.

BARATA, João; CUNHA, Paulo Rupino. Climbing the maturity ladder in industry 4.0: a framework for diagnosis and action that combines national and sectorial strategies. 2017.

BARSOM, E. Z.; GRAAFLAND, M.; SCHIJVEN, M.P. Systematic review on the effectiveness of augmented reality applications in medical training. **Surgical endoscopy**, v. 30, n. 10, p. 4174-4183, 2016.

BAR-ZEEV, Avi; LEWIS, John. **Automatic variable virtual focus for augmented reality displays**. U.S. Patent n. 9,292,973, 22 mar. 2016.

BASS, JM (2010). Um novo modelo de maturidade de TIC para instituições de ensino em países em desenvolvimento.

BAUERNHANSL, Thomas; TEN HOMPEL, Michael; VOGEL-HEUSER, Birgit (Ed.). **Industrie 4.0 in produktion, automatisierung und logistik: Anwendung-Technologien-Migration**. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014.

BBC NEWS, 2018. Disponível em < https://www.bbc.co.uk/news> Acesso em novembro/2020

BHARADWAJ, Anandhi *et al*. Digital business strategy: toward a next generation of insights. **MIS quarterly**, p. 471-482, 2013.

BECKER, Jörg; KNACKSTEDT, Ralf; PÖPPELBUß, Jens. Developing maturity models for IT management. **Business & Information Systems Engineering**, v. 1, n. 3, p. 213-222, 2009.

BEHRENDT, A.; MÜLLER, N.; ODENWÄLDER, P.; Schmitz, C.; Industry 4.0 Demystified—Lean's Next Level [Online]. [Accessed 12 June 2020] Available:, McKinsey & Company, 2017. https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/ our-insights/industry-4-0-demystified-leans-next-level.

BENIAS, Nikos; MARKOPOULOS, Angelos P. A review on the readiness level and cyber-security challenges in Industry 4.0. In: **2017 South Eastern European Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM)**. IEEE, 2017. p. 1-5.

BIBLIOTECA BRITÂNICA, 2020. DOI: https://academic-eb-britannica.ez2.periodicos.capes.gov.br/levels/collegiate/article/3D-printing/571533

BLOCHING, B., LEUTIGER, P., OLTMANNS, T., ROSSBACH, C., SCHLICK, T., REMANE, G., QUICK, P. AND SHAFRANYUK, O. (2015), "**Die digitale Transformation der Industrie. Was sie bedeutet. Wer gewinnt. Was jetzt zu tun ist**", Roland Berger Strategy Consultants and BDI, Munich, Berlin, February.

BMBF, Ministério Federal Alemão para Educação e Pesquisa. https://www.bmbf.de/de/zukunftsprojekt-industrie-4-0-848.html, acessado em 04/12/2020.

Blog do Juran. Quality 4.0: The future of quality? 2019. DOI: https://www.juran.com/blog/quality-4-0-the-future-of-quality/

BRADSKI, Gary R.; MILLER, Samuel A.; ABOVITZ, Rony. **Methods and systems for creating virtual and augmented reality**. U.S. Patent n. 10,203,762, 12 fev. 2019.

BRANDENBURGER, Jens et al. Quality4. 0 -Transparent product quality supervision in the age of Industry 4.0. **arXiv preprint arXiv:2011.06502**, 2020.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. Lei 12.527/2011- Lei de Acesso à Informação. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 2011.

BRENNEN, J. Scott; KREISS, Daniel. Digitalization. **The international encyclopedia of communication theory and philosophy**, p. 1-11, 2016.

BRESSER-PEREIRA, L. C. Reforma do Estado para a cidadania. Rio de Janeiro: FGV, 1998.

BRONSTEIN, Michelle Muniz; GOLDMAN, Fernando Luiz. O PROCESSO DECISÓRIO NAS ABORDAGENS MAIS AVANÇADAS DE PRODUÇÃO: UMA CRÍTICA AO ATUAL MODELO DO CONHECIMENTO GERENCIAL.

BURKE, Rick et al. The smart factory: Responsive, adaptive, connected manufacturing. **Deloitte Insights**, v. 31, n. 1, p. 1-10, 2017.

BUYYA, Rajkumar; RANJAN, Rajiv; CALHEIROS, Rodrigo N. Modeling and simulation of scalable Cloud computing environments and the CloudSim toolkit: Challenges and opportunities. In: **2009 international conference on high performance computing & simulation**. IEEE, 2009. p. 1-11.

BUYYA, Rajkumar et al. Cloud computing and emerging IT platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility. **Future Generation computer systems**, v. 25, n. 6, p. 599-616, 2009.

BYRNE, Barbara M. Structural equation modeling with AMOS: basic concepts, applications, and programming (multivariate applications series). **New York: Taylor & Francis Group**, v. 396, p. 7384, 2010.

CABINET Office, Government of Japan, (2016). **"Society 5.0"** (in Japanese) http://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html, Last access: August 2018

CANETTA, Luca; BARNI, Andrea; MONTINI, Elias. Development of a digitalization maturity model for the manufacturing sector. In: **2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)**. IEEE, 2018. p. 1-7.

CEI - International Electrotechnical Commission. Factory of the future: White Paper, Geneva ,2015.

CHENOY, Dilip; GHOSH, Shobha Mishra; SHUKLA, Shiv Kumar. Skill development for accelerating the manufacturing sector: the role of 'new-age'skills for 'Make in India'. **International Journal of Training Research**, v. 17, n. sup1, p. 112-130, 2019.

CHIN, Wynne W. et al. The partial least squares approach to structural equation modeling. **Modern methods for business research**, v. 295, n. 2, p. 295-336, 1998.

CHINA DAILY, 2015. Disponível em <http://global.chinadaily.com.cn/> Acessado em 08/12/2020

CHINADAILY.COM.CN, 2015. Top 10 Products China Manufactures Most in the World, 9/16/ 2015. Acessado em 08 de dezembro de 2020. DOI: http://www.chinadaily.com.cn/business/2015-09/ 16/content_21886983.htm.

COHEN, J. (1988). Statistical power analysis (2nd ed.). Hillsdale NJ: Erlbaum.

CONSEIL NATIONAL DE L'INDUSTRIE – CNI. The new face of industry in France: report. Paris: CNI, 2013.

CORDEIRO, G. A.; ORDONEZ, R. E. C.; FERRO, R.; NICOLELA, P. B.; STELLA, B. C. Etapas para implantação da indústria 4.0: uma visão sob aspectos estratégicos e operacionais. **ABEPRO**, Brasil, 2017.

CORALLO, Angelo; LAZOI, Mariangela; LEZZI, Marianna. Cybersecurity in the context of industry 4.0: A structured classification of critical assets and business impacts. **Computers in industry**, v. 114, p. 103165, 2020.

CORREIO BRASILIENSE, Brasil, 2019. Acessado em 30/01/2020 em <https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/tecnologia/2019/04/16/interna_tecnologia,749929/google-apresenta-casa-inteligente-com-assistente-de-voz-em-portugues.shtml>

COSTA, Frederico Lustosa da. Brasil: 200 anos de Estado; 200 anos de administração pública; 200 anos de reformas. **Revista de Administração Pública**, v. 42, n. 5, p. 829-874, 2008.

COSTIGLIOLA, Francesco. **Partial Least Square–Path Modeling: Metodologia, Software e Aplicação**. 2010. Tese de Doutorado.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. Relatório. Desafios para a indústria 4.0 no Brasil. Brasil, 2016. Acessado via <https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/d6/cb/d6cbfbba-4d7e-43a0-9784 86365061a366/desafios_para_industria_40_no_brasil.pdf>

CRESWELL, J.W. (2010). Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches (3'd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.

CRESWELL. J.W.; CRESWELL, DAVID J. (2018). Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches (1º ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.

CRUZ, P. L. da; WATANUKI, H. M.; MORAES, R. de O. **Uma proposta para avaliação do nível de preparo da indústria nacional à luz do paradigma 4.0**. ABEPRO, Brasil, 2017.

CURTIS, Bill; HEFLEY, William E.; MILLER, Sally. **Overview of the People Capability Maturity Model**. CARNEGIE-MELLON UNIV PITTSBURGH PA SOFTWARE ENGINEERING INST, 1995. Acess 10/07/2019 em http://www.sei.cmu.edu/pub/documents/95.reports/pdf/mm001.95.pdf.

DEFENSE RESEARCH AND DEVELOPMENT CANADA. A Technology Maturity Measurement System for the Department of National Defense: The TML System. DRDC Atlantic CR 2005-279, 2006.

DE CAROLIS, Anna et al. Maturity models and tools for enabling smart manufacturing systems: comparison and reflections for future developments. In: **Ifip international conference on product lifecycle management**. Springer, Cham, 2017. p. 23-35.

DEFENSE RESEARCH AND DEVELOPMENT CANADA. **A Technology Maturity Measurement System for the Department of National Defense: The TML System**. DRDC Atlantic CR 2005-279, 2006.

DOMBROWSKI, Uwe; RICHTER, Thomas; KRENKEL, Philipp. Interdependencies of Industrie 4.0 & lean production systems: A use cases analysis. **Procedia Manufacturing**, v. 11, p. 1061-1068, 2017.

DOUCEK, Petr *et al*. (Ed.). **Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems: 13th IFIP WG 8.9 International Conference, CONFENIS 2019, Prague, Czech Republic, December 16–17, 2019, Proceedings**. Springer Nature, 2019.

DUARTE, Duarte, MARTINS, Paula Ventura. **Journal of Spatial and Organizational Dynamics,** 2013, vol. 1, issue 1, 25-45.

DOS SANTOS, Kássio Cabral Pereira et al. Product lifecycle management maturity models in industry 4.0. In: **IFIP International Conference on Product Lifecycle Management**. Springer, Cham, 2018. p. 659-669

EMMANUEL, I. O. Understanding Organisational Culture and Organisational Performance: Are They Two Sides of the Same Coin? **Journal Manajemen.** 2017; 1 (9). Retrieved From http//dx.doi.org/10.5296/jmr. 10261.

EROL, Selim et al. Tangible Industry 4.0: a scenario-based approach to learning for the future of production. **Procedia CiRp**, v. 54, p. 13-18, 2016.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, DEPARTAMENTO DE DEFESA (2002). **Capability Maturity Model® Integration (CMMISM**), version 1.1. - Improving processes for better products. cmmi product team. EUA.

FEENEY, Allison Barnard; FRECHETTE, Simon P.; SRINIVASAN, Vijay. A portrait of an ISO STEP tolerancing standard as an enabler of smart manufacturing systems. **Journal of Computing and Information Science in Engineering**, v. 15, n. 2, 2015.

FEDERATION, Keidanren—Japan Business. Toward realization of the New Economy and Society—Reform of the Economy and Society by the Deepening of "Society 5.0". 2016.

FLATT, H. S; SCHIERIEGEL, J; JASPENEITE, H; TRSEK, H; ADAMCZYK. Analyses of the cyber-secutiry of industry 4.0 technologies based on RAMI 4.0 and identification of requirements. IEEE **International Conference on Emerging Tecnhnologies and Factory Automation** (2016)

FMI – International Monetary Fund. World Economic Outlook. Whashington, D.C., EUA, 2020.

FONSECA, J. J. S. Metodologia da pesquisa científica. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

FORNELL, Claes; LARCKER, David F. Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. **Journal of marketing research,** v. 18, n. 1, p. 39-50, 1981.

FRANK, Alejandro Germán et al. The effect of innovation activities on innovation outputs in the Brazilian industry: Market-orientation vs. technology-acquisition strategies. **Research Policy**, v. 45, n. 3, p. 577-592, 2016.

FRIAS, Zoraida; MARTÍNEZ, Jorge Pérez. 5G networks: Will technology and policy collide?. **Telecommunications policy**, v. 42, n. 8, p. 612-621, 2018.

GAJDZIK, Bożena; GRABOWSKA, Sandra; SANIUK, Sebastian. A Theoretical Framework for Industry 4.0 and Its Implementation with Selected Practical Schedules. **Energies**, v. 14, n. 4, p. 940, 2021.

GAMARRA, C. J. Micro, Pequenas e Médias empresas a caminho da manufatura avançada: uma proposta de roteiro. **ABEPRO**, Brasil, 2017.

GANZARAIN, J.; ERRASTI, N. Three Stage Maturity Model in SME's towards Industry 4.0. **Journal of Industrial Engineering and Management**. Espanha, 2016. http://dx.doi.org/10.3926/jiem.2073

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 5ª edição. São Paulo: Atlas, 2006.

GERHARDT, T. E. SILVEIRA, D. T. **Organização Métodos de pesquisa**. Coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GONÇALVES, José Ernesto Lima. Processo, que processo?. RAE **Revista de Administração de Empresas**. v. 40, n. 4, p. 8-19, out./dez. 2000.

GOTTSCHALK, Petter. Maturity levels for interoperability in digital government. **Government information quarterly**, v. 26, n. 1, p. 75-81, 2009.

GOWIN, D.B.; NOVAK, J.D. **Learning how to Learn**. Cambridge University Press, 1984.

GOWIN, D.B. (1981). Educating. Ithaca, NY, Cornell University Press.

GREEN, Russell A. Can "Make in India" Make Jobs? The Challenges of Manufacturing Growth and High-Quality Job Creation in India. 2014.

GU, Y., 2017. Editor: Este 6 "Cartão de Visita Chinês" choca o mundo! Notícias XinHua.https://news.xinhuanet.com/politics/2017-02/04/c_1120409513.htm&prev=pesquisa (4 de fevereiro).

HAIR JR, J.F., ANDERSON, R.E., TATHAM, R.L., & BLACK, W.C. **Análise multivariada de dados (5a. ed.). Porto Alegre: Bookman. 2005.**

Hair, J.F., Hult, G.T.M., Ringle, C.M. and Sarstedt, M. (2014), A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling, Sage, Thousand Oaks, CA.

HAIR JR, Joseph F. et al. **A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)**. Sage publications, 2016.

HARARI, Y. N. **HomoDeus: uma breve história do amanhã**. Tradução Paulo Geiger, 1ª Edição. Companhia das Letras, São Paulo, Brasil, 2016.

HAYES, J. The theory and practice of change management. Palgrave. Reino Unido, 2018.

HENDERSON, J. C.; VENKATRAMAN, H. Strategic alignment: Leveraging information technology for transforming organizations. **IBM systems journal**, v. 32, n. 1, p. 472-484, 1993.

HENG, Stefan. Industry 4.0: upgrading of Germany's industrial capabilities on the horizon. **Available at SSRN 2656608**, 2014.

HENSELER, Jörg; RINGLE, Christian M.; SINKOVICS, Rudolf R. The use of partial least squares path modeling in international marketing. In: **New challenges to international marketing**. Emerald Group Publishing Limited, 2009.

HENSELER, Jörg; RINGLE, Christian M.; SINKOVICS, Rudolf R. The use of partial least squares path modeling in international marketing. In: **New challenges to international marketing**. Emerald Group Publishing Limited, 2009. HENSELER, Jörg et al. Common beliefs and reality about PLS: Comments on Rönkkö and Evermann (2013). **Organizational research methods**, v. 17, n. 2, p. 182-209, 2014.

HERMANN, C., SCHMIDT, D., KURLE, S., & THIEDE, S. (2014). Sustainability in Manufacturing and Factories of the Future. **International Journal of precision engineering and manufacturing-green technology**, 1, 283-292. https:/doi.org/10.1007/s40684-014-0034-z

HERMANN, Mario et al. Design principles for industry 4.0 scenarios: **A literature review**. Dortmund, Germany: Technische Universität Dortmund, 2015.

HERRERO, María Teresa Carrancho. El concepto de obra plástica y la impresión en 3D. In: **Propiedad intelectual en el siglo XXI: nuevos continentes y su incidencia en el derecho de autor**. Reus, 2014. p. 41-79.

HILLARY ODIAKAOSE. Organisational Culture and Dynamics. **International Journal of Scientific Research and Management (IJSRM**). Volume. 06. Issue. 01, EM, 2018; 31-39.. Website: www.ijsrm.in ISSN. Index Copernicus value.

HOZDIĆ E. Smart factory for Industry 4.0: a review. **Int J Mod Manuf Technol**. 2015;2(1):2067–3604.

HUANG, Ming-Hui; RUST, Roland T. Artificial intelligence in service. **Journal of Service Research**, v. 21, n. 2, p. 155-172, 2018.

HUXTABLE, James; SCHAEFER, Dirk. On Servitization of the Manufacturing Industry in the UK. **Procedia CIRP**, v. 52, n. 1, p. 46-51, 2016.

IANNACCI, Jacopo. Internet of things (IoT); internet of everything (IoE); tactile internet; 5G–A (not so evanescent) unifying vision empowered by EH-MEMS (energy harvesting MEMS) and RF-MEMS (radio frequency MEMS). **Sensors and actuators a: physical**, v. 272, p. 187-198, 2018.

IBCG – Instituto Brasileiro de Governança Corporativa. DOI: https://www.ibgc.org.br/conhecimento/governanca-corporativa. Acessado em 03/01/2021

ICO – Plano de inovação. Departamento de Digital, Cultura, Mídia e Esporte do Reino Unido (2017). Link: https://www.gov.uk/government/publications/ico-innovation-plan. Acessado em 28/11/2020.

IEDI - Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial. Carta. Princípios de um plano para a Indústria no Brasil. Brasil, 2018. Acessado em 09/01/2019 < http://governance40.com/wp-content/uploads/2018/11/Carta-IEDI-n-862 Princi%CC%81pios-de-um-Plano-para-a-Indu%CC%81stria-40-no-Brasil.pdf>

INDIA SKILLS. (2018). INDIASKILLS 2018, The Country's biggest skill competition, concludes. Press release. Retrieved from http://pib.nic.in/newsite/PrintRelease.aspx?relid=184009

INNOVATE UK. (2016). **Delivery plan: financial year 2016/17: report.** London: Innovate UK.

INTERNET OF THINGS GLOBAL STANDARDS INITIATIVE – ITU. – IoT-GSI. 2015. Disponível em: Acesso em: 31 dez. 2020.

ISA, North Carolina 2016. “The 62443 Series of Standards,” ISA

ISABEL ESPIN ALBA (coord.), **Colección de Propiedad Intelectual**, C. ROGEL VIDE, (Dir.), Fundación Aisge, Reus, Aseda, Madrid (2014), pp. 43-45

IIC - Industrial Internet Consortium (2017). Disponível em <http://www.iiconsortium.org/about-us.htm>. Acesso em 10/12/2020.

IVANOV, Dmitry; SOKOLOV, Boris; IVANOVA, Marina. Schedule coordination in cyber-physical supply networks Industry 4.0. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49, n. 12, p. 839-844, 2016.

JACOB, F. ROBERT; CHASE, RICHARD B. **Administração da Produção e de Operações – O Essencial**. Editora Bookman, 2000, pp 20.

Jansen, C. Stabilizing the industrial system: managed security services’ contribution to cyber-peace, IFAC-PapersOnLine 50 (1) (2017) 5155–5160JIANG, Shan et al. Blochie: a blockchain-based platform for healthcare information exchange. In: 2018

ieee international conference on smart computing (smartcomp). IEEE, 2018. p. 49-56.

KAGERMANN, Henning; WAHLSTER, Wolfgang; HELBIG, Johannes. Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. **Final report of the Industrie**, v. 4, n. 0, 2013.

KAGERMANN, Henning. Change through digitization—Value creation in the age of Industry 4.0. In: **Management of permanent change**. Springer Gabler, Wiesbaden, 2015. p. 23-45.

KAPPES, M. **Netzwerk-und Datensicherheit: Eine praktische Einführung**, 2nd ed. Wiesbaden: Springer-Vieweg, 2013. doi: 10.1007/978-3-8348-8612-5.

KARNOUSKOS, Stamatis; COLOMBO, Armando W.; BANGEMANN, Thomas. Trends and challenges for cloud-based industrial cyber-physical systems. In: **Industrial cloud-based cyber-physical systems**. Springer, Cham, 2014. p. 231-240.

KEIDANREN (JAPAN BUSINESS FEDERATION). (2016). Toward realization of the new economy and society. Reform of the economy and society by the deepening of “Society 5.0”. http://www.keidanren.or.jp/en/policy/2016/029_outline.pdf

KERSTEN, Wolfgang; BLECKER, Thorsten; RINGLE, Christian M. **Innovations and Strategies for Logistics and Supply Chains: Technologies, Business Models and Risk Management**. Berlin: epubli GmbH, 2015.

KISSLER, LEO; FRANCISCO, G. HEIDEMANN. Governança publica: novo modelo regulatório para as relações entre Estado, mercado e sociedade. **Rev. Adm. Pública** vol.40 no.3 Rio de Janeiro May/June 2006.

KRCMAR, H. **Einführung in das Informationsmanagement**, 2nd ed. Berlin, Heidelberg: Gabler, 2015. doi: 10.1007/978-3-662-44329-3.

KRIEGMAN, Sam et al. A scalable pipeline for designing reconfigurable organisms. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 117, n. 4, p. 1853-1859, 2020.

KOBARA, Kazukuni. Cyber physical security for industrial control systems and IoT. **IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems**, v. 99, n. 4, p. 787-795, 2016.

KUO, Chu-Chi; SHYU, Joseph Z.; DING, Kun. Industrial revitalization via industry 4.0–a comparative policy analysis among China, Germany and the USA. **Global transitions**, v. 1, p. 3-14, 2019.

KULPA, M., & A., K. (2008). **Interpretando o CMMI: uma abordagem de melhoria de processo** (Segunda ed.): Publicações Auerbach.

LA NOUVELLE FRANCE INDUSTRIELLE, 2016. Disponível em https://www.gouvernement.fr/action/la-nouvelle-france-industrielle. Acesso em dez/2020

LAUDON, K., & LAUDON, J. (2007). **Sistemas de Informação de Gestão: Gerenciando a Empresa Digital(10 ed.**). New Jersey: Person Prentice Hall

LANDHERR, M; SCHNEIDER, U; BAUERNHANSL, T. The Application Centre Industrie 4.0 - Industry-driven manufacturing, research and development, **49th CIRP Conference on Manufacturing Systems (CIRP-CMS 2016)**, Procedia CIRP 57; 26 – 31.

LEE, E. A., 2008: Cyber Physical Systems: Design Challenges. **11th IEEE Symposi-um on Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC**), 363 – 369.

LEE J., JIN C., BAGHERI B., 2017. Cyber physical systems for predictive production systems. **Production Engineering** April 2017, 11(2), 155–165.

LEYH, C., BLEY, K., SCHÄFFER, T., & FORSTENHÄUSLER, S. SIMMI 4.0-a maturity model for classifying the enterprise-wide it and software landscape focusing on Industry 4.0**. In 2016 federated conference on computer science and information systems (FEDCSIS)** (pp. 1297-1302). IEEE, 2016.

LEZZI, Marianna; LAZOI, Mariangela; CORALLO, Angelo. Cybersecurity for Industry 4.0 in the current literature: A reference framework. **Computers in Industry**, v. 103, p. 97-110, 2018.

LI B, HOU B, YU W, LU X, YANG C. Applications of artificial intelligence in intelligent manufacturing: **A review. Front Inform Tech** El 2017;18(1):86–96.

LI, C. H., & LAU, H. K. A Critical Review of Maturity Models in Information Technology and Human Landscapes on Industry 4.0. **2019 IEEE Industry Applications Annual Meeting Baltimore**, MD, USA, 2019.

LIN, D., LEE, C. K. M., LAU, H., & YANG, Y. Strategic response to Industry 4.0: an empirical investigation on the Chinese automotive industry. **Industrial Management & Data Systems**. 2018.

LI, LING. China's manufacturing locus in 2025: with a comparasion of "Made in China 2025" and "Industry 4.0". **Journal Technology Forecasting & Social Change**. Editora Elsevier, 2017. Acessado em 08/12/2020.

LI, Xiaomin et al. A review of industrial wireless networks in the context of industry 4.0. **Wireless networks**, v. 23, n. 1, p. 23-41, 2017.

LIAO, Yongxin et al. The impact of the fourth industrial revolution: a cross-country/region comparison. **Production**, v. 28, 2018.

LIEGL, Philipp. The strategic impact of service oriented architectures. In: **14th Annual IEEE International Conference and Workshops on the Engineering of Computer-Based Systems (ECBS'07)**. IEEE, 2007. p. 475-484.

LÖFFLER, Elke. *Governance:* Die neue Generation von Staats- und Verwaltungs- modern-isierung. Verwaltung + Management, v. 7, n. 4, p. 212-215, 2001.

LOPES, J. **O fazer do trabalho científico em ciências sociais aplicadas**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, Brasil, 2006.

LU, Huimin et al. Brain intelligence: go beyond artificial intelligence**. Mobile Networks and Applications**, v. 23, n. 2, p. 368-375, 2018.

LUBIS, Fitri Rahmadani; HANUM, Farida. Organizational Culture. In: **2nd Yogyakarta International Conference on Educational Management/Administration and Pedagogy (YICEMAP 2019)**. Atlantis Press, 2020. p. 88-91.

LUFTMAN, J.; LYYTINEN, K.; ZVI, T. Enhancing the measurement of information technology (IT) business alignment and its influence on company performance**. Journal of Information Technology**, London, v. 32, n. 1, p. 26-46, mar. 2017.

LUTTEROTH, C., LUXTON-REILLY, A., DOBBIE, G., & HAMER, J. (2007). Um modelo de maturidade para computação educação. Artigo apresentado nos Anais da nona conferência da Australásia sobreEducação em computação - Volume 66, Ballarat, Victoria, Austrália

MACDONALD, ERIC; WICKER, RYAN. Multiprocess 3D printing for increasing component functionality**. Science**, v. 353, n. 6307, 2016.

MACDUGALL, W. INDUSTRIE 4.0. Smart Manufacturing for the Future, Germany Trade & Invest. 2014.

MAGALHÃES, R. Diretora do Setor Automotivo e de Transportes da Schneider Electric para a América Latina. Entrevista realizada ao blog ideia circular com o tema: Industria e economia circular. Brasil, 2019. Acesso em março/2020. URL: https://www.ideiacircular.com/industria-4-0-e-economia-circular/

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. Fundamentos de metodologia cientifica. 7. reimpr. **São Paulo: Atlas**, 2009.

MCTIC – Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2019. <https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/salaImprensa/noticias/arquivos/2019/04/Industria_40_e_prioridade_do_governo.html>

MAIER, A.M.; MOULTRIE, J; CLARKSON, P.J. Assessing organizational capabilities: Reviewing and guiding the development of maturity grids, **IEEE Trans. Eng. Manag**. 59 (2012) 138–159. doi:10.1109/TEM.2010.2077289.

MANYIKA, J. Technology, Jobs, and the Future of Work. McKinsey & Company, McKinsey Global Institute. Briefing Note, Available at: https://www.mckinsey.com/global-themes/employment-and-growth/technology-jobs-and-the-future-ofwork, (2017), Acessado em 29/11/2020

MARRAS, Jean Pierre. Administração de recursos humanos. **Saraiva Educação SA**, 2017.

MASONI, R., FERRISE, F., BORDEGONI, M., GATTULLO, M., UVA, A. E., FIORENTINO, M., CARRABBA, E. AND DI DONATO, M. (2017), "Supporting Remote Maintenance in Industry 4.0 through Augmented Reality", **Procedia Manufacturing**, Vol.11, pp. 1296-1302.

MATZLER, K., BAILOM, F., VON DEN EICHEN, S.F. AND ANSCHOBER, M. (2016**), Digital Disruption**. Wie Sie Ihr Unternehmen auf das digitale Zeitalter vorbereiten, Vahlen, München.

METHAVITAKUL, S; SANTITEERAKUl, S. Analysis of key dimension and sub-dimension for Supply Chian of Industry to fourth Industry Performance Measurement**. International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics**. Tailândia ,2018.

METTLER, T; ROHNER, P. Situational maturity models as instrumental artifacts for organizational design, Proc. **4th Int. Conf. Des. Sci. Res. Inf. Syst. Technol. - DESRIS**T '09. Artic. No. 22. (2009) 1–9. doi:10.1145/1555619.1555649.

MEYER, Uli. The emergence of an envisioned future. Sensemaking in the case of "Industrie 4.0" in Germany. **Futures**, v. 109, p. 130-141, 2019.

MIGUEL, P.A.C. (org**). Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. São Paulo: Campus, 2010.

MOSLEY, HUGH & MAYER, ANTJE. **Benchmarking National Labour Market Performance: a Radar Chart Approach**. Berlin, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung Discussion Paper March 1999 ISSN Nr. 1011-9523, Maio, 1999.

MUHAMMAD, M. Hasan, H.; FIAH, F. M.; Nor, A. M. (2014). Effective communication systems for Malaysian logistics industry. **Procedia -Social and Behavioral Sciences**, v. 130, p. 204–215.

NAKATA, C., WEIDNER, K., 2012. Enhancing new product adoption at the base of the pyramid: a contextualized model. **Journal Prod. Innovat. Manag**. 29, 21–32. https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2011.00876.x.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. Technology Readiness Levels Demystified. 2010. Disponível em <http://www.nasa.gov.topics/aeronautics/feature/trl_demystified.html>. Acessado em 09/07/2019.

NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL. (2016). **National Network For Manufacturing Innovation Program – Strategic Plan.** Disponível em: <https://www.manufacturingusa.com/sites/all/assets/content/2015-NNMI-Strategic-Plan.pdf>. Acesso em 10/12/2020.

NETSCANDIGITAL, 2019. https://netscandigital.com/blog/o-que-a-digitalizacao-de-documentos-e-a-industria-4-0-tem-em-comum/

NEUHAUSER, C. (2004). Um modelo de maturidade: fornece um caminho para o design de cursos online.The Journal of Interactive Online Learning

NEVES, Jorge Alexandre Barbosa. Modelo de equações estruturais: uma introdução aplicada. 2018.

NIKKHOU S, TAGHIZADEH K, HAJIYAKHCHALI S (2016) Designing a portfolio management maturity model (Elena**). Procedia-Social and Behavioral** Sci 226:318–325

NIST. Glossary of Key Information Security Terms, NISTIR 7298r, 2nd ed., Richard Kissel. Ghaithersburg, 2013

NOURA, Mahda; ATIQUZZAMAN, Mohammed; GAEDKE, Martin. Interoperability in internet of things: Taxonomies and open challenges. **Mobile Networks and Applications**, v. 24, n. 3, p. 796-809, 2019.

NOUVELLE FRANCE INDUSTRIELLE – NFI. (2016). New Industrial France: building France ‘s industrial future: report. Paris: NFI.

NOVAK, J.D. (1981). Uma teoria de educação. São Paulo, Pioneira. Tradução de M.A. Moreira do original A theory of education. Ithaca, NY, Cornell University Press, 1977

NOVO, B. N. Processo administrativo. **Revista Jus Navigandi**, ISSN 1518-4862, Teresina, ano 24, n. 5730, 10 mar. 2019. Disponível em: https://jus.com.br/artigos/70086. Acesso em: 9 jan. 2021.

ODWAŻNY, F., WOJTKOWIAK, D., CYPLIK, P., & ADAMCZAK, M. Concept for measuring organizational maturity supporting sustainable development goals. **LogForum**, 15(2), 2019.

OETTINGER G., **Europe’s future is digital**, (2015).Disponível em: “ec.europa.eu/commission/2014-2019/oettinger/announcements/speechhannover- messe-europes-future-digital_en”. Acesso em janeiro/2021

OESTERREICH, T. D., AND TEUTEBERG, F. 2016. “Understanding the implications of digitization and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry**,” Computers in Industry** (83), pp. 121–139.

OLÁH, J.; KARMAZIN, G.; PETŐ,K.; POPP, J.(2018). Information technology developments of logistics service providers in Hungary. **International Journal of Logistics Research and Applications**. 21, n. 3, p. 332–344.

OLIVEIRA, L. C.; PEREIRA, A. T. C. Mudanças Metodológicas Decorrentes da Implantação Recente de BIM em Escritórios de Arquitetura. In: **XV SIGRADI - Congress de la Sociedad Iberoamericana**

de Gráfica Digital, 2011, Santa Fé - Argentina. SIGRADI 2011 – Cultura Aumentada, vol. XV, p. 134-137, 2011.

ORNSTEIN, R. Gráfico RADAR: uma forma alternativa de medir o desempenho econômico-financeiro. Porto Alegre, **Revista do CRCRS**, 1989 [18]2:8.

OWINO O. Joseph dan Francis Kibera. Organizational Culture and Performance: Evidence From Microfinance Institutions in Kenya. **Department of Business Administration**, University of Nairobi, 2019.

PARVIAINEN, Päivi et al. Tackling the digitalization challenge: how to benefit from digitalization in practice. **International journal of information systems and project management,** v. 5, n. 1, p. 63-77, 2017.

PERREY, J.; SPILLECKE, D.; UMBLIJS, A. Smart analytics: How marketing drives short-term and long-term growth. **McKinsey Quarterly**, p. 00425-3, 2013.

PETERS, B. G. Os dois futuros do ato de governar: processos de descentralização e recentralização no ato de governar. **Revista do Serviço Público**, v. 59, n. 3, p. 289- 307, 2008.

PFOHL, Hans-Christian; YAHSI, Burak; KURNAZ, Tamer. The impact of Industry 4.0 on the Supply Chain. In: **Innovations and Strategies for Logistics and Supply Chains: Technologies, Business Models and Risk Management. Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL), Vol. 20**. Berlin: epubli GmbH, 2015. p. 31-58.

PETRIE, M., GARCÍA, V., & GIRALDO, G. (2009, 2 a 5 de junho). Modelo de Registro y Acreditación deInstituciones de Educación Superior basado en el modelo CMMI. Trabalho apresentado no sétimoConferência LACCEI da América Latina e Caribe para Engenharia e Tecnologia (LACCEI'2009), San Cristóbal, Venezuela.

PILATI, Ronaldo; LAROS, Jacob Arie. Modelos de equações estruturais em psicologia: conceitos e aplicações. **Psicologia: teoria e pesquisa**, v. 23, n. 2, p. 205-216, 2007.

PIKE, J., 2014. **AT&T, CISCO, GE, IBM and INTEL Form Industrial Internet Consortium to Improve Integration of the Physical and Digital Worlds**. Retrieved on February 3rd 2017 from http://www.iiconsortium.org/press-room/03-27-14.htm.

PÖPPELBUß J. & RÖGLINGER M. (2011) What makes a useful maturity model? A framework of general design principles for maturity models and its demonstration in business process management. **ECIS Proceedings [Internet]**. [available at: http://aisel.aisnet.org/ecis2011/28, acessado em 02/12/2020].

PORTAL DA IFES – Universidade Federal do Amazonas (2020). DOI: https://www.ufam.edu.br/sobre.html#:~:text=Missão,para%20o%20desenvolvimento%20da%20Amazônia.

PORTAL G1, Globo. «Impressora 3D cria e dá forma a objetos». G1. 8 de maio de 2007. Consultado em 15 de janeiro de 2020.

PORTER, M.E. AND HEPPELMANN, J.E. (2015), “How smart, connected products are transforming companies”, **Harvard Business Review**, Vol. 93 No. 10, pp. 96-114.

PRADO, Paulo Henrique Muller. Os modelos de equações estruturais em Marketing. **Pesquisa quantitativa em administração**, p. 129-153, 2006.

PUCHAN, J., ZEIFANG, A., & Leu, J. D. Industry 4.0 in practice-identification of industry 4.0 success patterns. In 2018 **IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM**) (pp. 1091-1095). IEEE ,2018.

QIN, Jian; LIU, Ying; GROSVENOR, Roger. A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond. **Procedia cirp**, v. 52, p. 173-178, 2016.

QUINN, James Brian. **Intelligent Enterprise: A Knowledge and Service Based Paradigm for Industr**. Simon and Schuster, 1992.

RAUCH, Erwin et al. Transfer of industry 4.0 to small and medium sized enterprises. **Transdisciplinary Engineering Methods for Social Innovation of Industry**, v. 4, p. 63-71, 2018.

RINGLE, C. M.; DA SILVA, D.; BIDO, D. S. Modelagem de equações estruturais com utilização do SmartPLS. **Revista Brasileira de Marketing**, v. 13, n. 2, p. 56-73, 2014.

RAINER, R. Kelly et al. **Introduction to information systems**. John Wiley & Sons, 2020.

RAJNAI, Z., & KOCSIS, I. Assessing industry 4.0 readiness of enterprises**. In 2018 IEEE 16th World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI)** (pp. 000225-000230). IEEE, 2018.

RAMASWAMY, Rohit. **Design and management of service processes**. Reading: Addison Wesley, 1996.

REEVES, C.P.; TUCK, R. H., **“Additive manufacturing for mass customization,” in Mass Customization: Engineering and Managing Global Operations**, F. S. Fogliatto, G. J. C. da Silveira, Eds. (Springer, 2011), pp. 275–289.

REISCHAUER, G. Industry 4.0 as policy-driven discourse to institutionalize innovation systems in manufacturing. **Technological Forecasting and Social Change**, 132, 26-33 ,2018.

RICH, S. Big data is a ‘new natural resource’. **Retrieved**, v. 17, p. 2016, 2012.Acessado em junho 2020.

RINGLE, Christian M.; DA SILVA, Dirceu; DE SOUZA BIDO, Diógenes. Modelagem de equações estruturais com utilização do SmartPLS. **Revista Brasileira de Marketing**, v. 13, n. 2, p. 56-73, 2014.

ROBOTICS BUSINESS (2018), Revista Britannica. Link: https://www.roboticsbusinessreview.com/regional/infographic-industry-4-0-uk-revolution. Acessado em 28/11/2020.

RÜBEL, Sarah et al. A maturity model for business model management in Industry 4.0. In: **Multikonferenz Wirtschaftsinformatik**. 2018.

RÜßMANN, Michael et al. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. **Boston Consulting Group**, v. 9, n. 1, p. 54-89, 2015.

SANTIAGO, S. Breval. Medição da interoperabilidade logística com uso do modelo de equações estruturais, Tese de Doutorado, UFSC, 2017.

SANTOS, K.C.P; De Freitas Rocha, Loures E.ª; Junior, O.Cª; Santos, E.A.Pª. Product lifecycle management maturity models in industry 4.0. IFIP Advances in Information and Communication Technology. Volume 540, 2018, Pages 659-669. **15th IFIP WG 5.1 International Conference on Product Lifecycle Management, PLM 2018**; Turin; Italy; 2 July 2018 through 4 July 2018; Code 221909

SITE OFICIAL DO SOFTWARE. https://gpower.software.informer.com/3.1/. Acessado em 10/11/2020.

SCHLAEPFER, Ralf C. Industry 4.0 Challenges and solutions for the digital transformation and use ofexponential technologies. 2015. Disponível em: <http://www.industrie2025.ch/fileadmin/user_upload/ch-endelloite-ndustry-4-0-24102014.pdf. Acesso em: 31 dez. 2020.

SCHWAB, K. The Fourth Industrial Revolution, Penguin UK, 2017.

SCHWAB. K. **A Quarta Revolução Industrial** [livro eletrônico] /; tradução Daniel Moreira Miranda. – Edipro, São Paulo, 2019.

SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHN, W. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. **6ª Conferência Internacional em mutação, agilidade, reconfiguração e produção virtual**. Reino Unido, 2016.

SCHUMACHER, A.; NEMETH, T.; SIHN, W. Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises. **12th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering**, 18-20 July 2018,Gulf of Naples, Italy

SIMONS, S., ABÉ, P., & NESER, S. Learning in the AutFab–the fully automated Industrie 4.0 learning factory of the University of Applied Sciences Darmstadt. **Procedia Manufacturing**, 9, 81-88, 2017.

SIEPMANN, David; GRAEF, Norbert. Industrie 4.0–Grundlagen und Gesamtzusammenhang. In: Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. **Springer Gabler**, Berlin, Heidelberg, 2016. p. 17-82.

SJODIN, DAVID R.; PARIDA, VINIT; LAKSELL, MARKUS; PETROVIC, ALEKSANDAR. Smart Factory Implementation and Process Innovation. **Journal Research-Technology Management**. Reino Unido, 2018. DOI: https://doi.org/10.1080/08956308.2018.1471277

SMITH, K. G., MITCHELL, T. R., & SUMMER, C. E. Top level management priorities in different stages of the organizational life cycle. **Academy of Management Journal**, 28(4), 799-821, 1985.

SMITH, S. Cybercrime will cost business over 2 Trillion, 2015. Available at: https://www.juniperresearch.com/press/pressreleases/cybercrime-cost-businesses-over-2trillion. Acessado em 13/01/2020

SOUSA, Flávio R.C; MOREIRA, Leonador O.; MACHADO, Javam C. Computação em nuvem: conceitos, tecnologias, aplicações e desafios. **ERCEMAPI, EDUFPI**, Ceará, Brasil, 2010.

STERNAD, M.; LERHER, T.; GAJSEK, B.; Maturity Levels for Logistics 4.0 Based on NRW'S Industry 4.0 Maturity Model. **18th international scientific conference Business Logistics in Modern Management**. October 11-12, 2018 - Osijek, Croatia

STOCK, T; SELIGER, G. Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0, **13th Global Conference on Sustainable Manufacturing - Decoupling Growth from Resource Use**, Procedia CIRP 40, 536 – 541, 2016

SU, Jinglei et al. Internet-of-Things-Assisted Smart Grid Applications in Industry 4.0. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2021. p. 012056.

SURECI, YAYIN. Organizational Culture In Educational Institutions Egitim Kurumlarinda Orgut Kulture. **The Journal of Academic Social Science Studies**. International Journal of Social Science, 2017.

TAKAKUWA, SOEMON; VEŽA, IVICA; ČELAR, STIPE. "INDUSTRY 4.0" IN EUROPE AND EAST ASIA. In: **29th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation**. 2018.

RELATÓRIO SISTÊMICO SOBRE TRANSPARÊNCIA PÚBLICA. / Tribunal de Contas da União; Relatoria Ministro Augusto Sherman Cavalcanti. – Brasília : TCU, Secretaria de Macro avaliação Governamental (Semag), Secretaria-Geral da Presidência (Segepres), 2018.

TECHTARGET. Definição de Blockchain. (2016) <http://whatis.techtarget.com/definition/blockchain>. Acessado em 15 de janeiro de 2020.

TECUCCI, GHEORGHE. **Artificial Intelligence**. Wires Computational Statics, 2011

THERON, P., LAZARI, A., 2018. The IACS Cybersecurity Certification Framework (ICCF): Lessons from the 2017 Study of the State of the Art. European Commission.

THOMPSON, E. (2004). Rumo a um modelo de maturidade do processo de aprendizagem.

THOMPSON, E. (2006). Usando um modelo de área de assunto como um modelo de melhoria de aprendizagem. Trabalho apresentadonos **Anais da 8ª Conferência Austaliana sobre Educação em Computação - Volume 52**, Hobart, Austrália

TONELLI, F., DEMARTINI, M., LOLEO, A., & TESTA, C. A novel methodology for manufacturing firms value modeling and mapping to improve operational performance in the industry 4.0 era. **Procedia CIRP**, 57, 122-127, 2016.

TORTORELLA, Guilherme Luz; FETTERMANN, Diego. Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies**. International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2975-2987, 2018.

TSAI, W.-T.; FAN, C.; CHEN, Y.; PAUL, R.A.; Chung, J.-Y. Architecture Classification for SOA-Based Applications. **In Proceedings of the Ninth IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC'06),** Gyeongju, Korea, 24–26 April 2006; pp. 1–8.

TUPTUK, N., HAILES, S., 2018. Security of smart manufacturing systems. **J. Manuf**. Syst. 47, 93–106

URDANG, L., & FLEXNER, S. B. **The Random House dictionary of the english language: College edition**. New York: Random House, 1968.

VAIDYA, S.; AMBAD, P.; SANTOSH, B. Industry 4.0 – A Glimpse**. 2nd International Conference on Materials Manufacturing and Design Engineering**. India 2018.

VOLPATO, Neri. **Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D**. Editora Blucher, 2017.

WAHYUNINGSIH, SRI HANDARI. **Analysis of organizational culture with denison's model approach for international business competitiveness. Problems and Perspectives in Management**, 2019 17 (1).

WANG, Z. & ZHANG, X.-y. (2007, 20-22 de agosto de 2007). Um gerenciamento de serviço de TI baseado em ITILModelo para universidades chinesas. Artigo apresentado na Pesquisa de Engenharia de Software, Management & Applications, 2007. SERA 2007. **5th ACIS International Conference on**

WANG, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. International journal of distributed sensor networks, v. 12, n. 1, p. 3159805, 2016.

WEBER, CHRISTIAN; KONIGSBERGER, JAN; KASSANER, LAURA; Mitschang, Bernhard. M2DDM – A Maturity Model for Data-Driven Manufacturing. **50th CIRP Conference on Manufacturing Systems**. Alemanha, 2017.

WITKOWSKI, K. Internet of Things, Big Data, Industry 4.0- Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management, **7th International Conference on Engineering, Project, and Production Management, Procedia Engineering** 182, 763-769, 2017.

White, B., Longenecker, H., Leidig, P., Reynolds, J., & Yarbrough, D. (2003, 11-2003). Aplicabilidade do CMMI ao currículo de SI: um painel de discussão. **Trabalho apresentado no Conferência de Educação em Sistemas de Informação (ISECON 2003),** San Diego, CA.

UNRUH, G. AND KIRON, D. (2017), "Digital transformation on purpose", **MIT Sloan Management Review**, November 6, available at https://sloanreview.mit.edu/article/digital-transformation-on-purpose/ (accessed April 24, 2018).

YIN, R.K. Estudo de Caso - Planejamento e Método. 2ª. Edição. São Paulo: Bookman, 2001.

XIA F, Yang LT, Wang L, Vinel A. Internet of Things. **Int J Commun** Syst2012;25(9):1101–2.

XU LD, HE W, LI S. Internet of Things in industries: A survey. **IEEE Trans Ind Inform 2014;10(4):2233–43**

XU X. From cloud computing to cloud manufacturing. Robot Com-Int Manuf 2012;28(1):75–86. Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook**. International journal of distributed sensor networks**, v. 12, n. 1, p. 3159805, 2016.

ZHANG Q.; CHENG L.; BOUTABA R. Cloud computing: State-of-the-art and research challenges. **J Int Serv** Appl 2010;1(1):7–18.

ZHANG, S., WANG, D., YU, S.: Precise large deviations of aggregate claims in a size-dependent renewal risk model with stopping time claim-number process. J. Inequal. Appl. **2017**, 82 (2017)

ZHONG, Ray Y.; Xu, Xun; Klotz, Eberhard; Newman, Stephan T. Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. **Engineering**, v. 3, n. 5, p. 616-630, 2017.

7. APÊNDICE

QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO

As questões a seguir tratam do nível de adequação do preparo da IFES frente à Indústria 4.0 (I.4.0). O questionário contém 30 perguntas distribuídas da seguinte forma:
- 05 Questões introdutórias;
-25 Questões diretas e fechadas, método escala likert, sendo 01 representando “excelente” e 05 “muito ruim”;

Conceitos iniciais:

Indústria 4.0:

O Setor 4.0 descreve a transição da produção centralizada para uma produção flexível e autocontrolada. Dessa forma, os produtos e todos os sistemas afetados, bem como todas as etapas do processo da engenharia são digitalizados e interconectados a fim de compartilhar e transmitir informações e distribuí-las pelas cadeias de valor verticais e horizontais, e até mesmo por toda a extensas redes de valor (LYEH *et al.*, 2016). É um novo estágio de desenvolvimento da produção industrial no mundo. Resulta da incorporação e do desenvolvimento de um conjunto de tecnologias de base digital tais como: sensores, internet das coisas, big data, computação em nuvem, inteligência artificial dentre outros (IEDI, 2016).

Segundo Antônio *et al* (2018), os princípios dessa nova indústria são a interoperabilidade (conexão via redes de internet), a virtualização (permitindo a teste de protótipos), a descentralização dos controles, a adaptação da produção em tempo real, a orientação a serviços e sistemas modulares. Os impactos da inovação proporcionada pela I.4.0 estão influenciando não só os meios de produção de bens e serviços, mas todas as dimensões da vida em sociedade

Interoperabilidade: É a capacidade de dois ou mais componentes de software cooperarem, apesar das diferenças de idioma, interface e plataforma de execução. Também pode definida como a maneira pelos quais é possível compartilhamento contínuo de recursos entre diferentes fornecedores de IoT, a capacidade de várias plataformas de IoT de diferentes fornecedores trabalharem juntas (NOURA *et al*., 2019).

TIC = Tecnologia da Informação e Comunicação
IoT = Internet das coisas
IFES = Instituto Federal de Ensino Superior
I.4.0 = Indústria 4.0

Parte I – PERGUNTAS INTRODUTÓRIAS

1) Qual é a sua posição na organização?
R= ( ) Administrativo ( ) Docente ( ) Gestor ( ) Staff

2) Qual sua função na organização?
R=

3) Desde quando você atua nesse papel?
R=

4) O que representa a "Indústria 4.0" para você?
R=
1- Sou especialista, 2- Conheço bastante, 3-Conheço razoavelmente, 4- Já ouvi falar, 5- Não sei do que se trata

PARTE II– PERGUNTAS FECHADAS

1. DIMENSÃO: GOVERNANÇA

1.1 Quanto à infraestrutura da instituição, qual sua avaliação do nível de adequação frente à I.4.0:
a) 01 excelente
b) 02- bom
c) 03 – regular
d) 04- ruim
e) 05- muito ruim

1.2 Quanto ao nível de relacionamento da IFES com outras instituições parceiras para o desenvolvimento da I.4.0, qual sua avaliação da política dos gestores superiores?
a) 01 -excelente
b) 02- bom
c) 03 – regular
d) 04- ruim
e) 05- muito ruim

1.3 O nível de transparência das decisões e ações dos gestores por meio do portal de transparência da IFES pode ser considerado:
a) 01 -excelente
b) 02- bom
c) 03 – regular
d) 04- ruim
e) 05- muito ruim

1.4 Quanto à valorização e à política de qualificação dos profissionais frente aos novos desafios da I.4.0, a mesma pode ser considerada:
a) 01 -excelente

b) 02- bom
c) 03 – regular
d) 04- ruim
e) 05- muito ruim

1.5. Quanto à adequação da gestão tecnológica existente na IFES frente às aplicações da I.4.0, a mesma pode ser considerada:
a) 01 excelente
b) 02- bom
c) 03 – regular
d) 04- ruim
e) 05- muito ruim

2 DIMENSÃO: CULTURA

2.2 O nível de interoperabilidade entre os departamentos da IFES em relação ao compartilhamento de informações pode ser considerado:
a) 01 excelente
b) 02- bom
c) 03 – regular
d) 04- ruim
e) 05- muito ruim

2.3 Na sua avaliação, o nível de interoperabilidade de estudos e boas práticas para o desenvolvimento da inovação aberta e disponibilização com outras instituições parceiras é considerado:
a) 01 -excelente
b) 02- bom
c) 03 – regular
d) 04- ruim
e) 05- muito ruim

2.3 O grau de importância dada pelos gestores da IFES à Tecnologia, Informação e Comunicação é considerado:
a) 01 -excelente
b) 02- bom
c) 03 – regular
d) 04- ruim
e) 05- muito ruim

2.4 O grau de flexibilidade da IFES frente às mudanças proporcionadas pela I.4.0 é considerado:
a) 01 - excelente
b) 02- bom
c) 03 – regular
d) 04- ruim
e) 05- muito ruim

2.5 O grau de atualização do conhecimento dos servidores para a utilização da tecnologia digital no âmbito da I.4.0 pode ser considerado?
a) 01 excelente
b) 02- bom
c) 03 – regular
d) 04- ruim
e) 05- muito ruim

3. DIMENSÃO: PROCESSOS

3.1. O nível de descentralização decisória para maior agilidade na prestação dos serviços é considerado:
a) 01 -excelente
b) 02- bom
c) 03 – regular
d) 04- ruim
e) 05- muito ruim

3.2 O grau de interoperabilidade no compartilhamento de processos administrativos entre os departamentos é considerado:
a) 01 -excelente
b) 02- bom
c) 03 – regular
d) 04- ruim
e) 05- muito ruim

3.3 O nível de controle e monitoramento dos processos através das ferramentas advindas da TIC é considerado:
a) 01 -excelente
b) 02- bom
c) 03 – regular
d) 04- ruim
e) 05- muito ruim

3.4 O nível de digitalização dos processos da instituição pode ser considerado:
a) 01 -excelente
b) 02- bom
c) 03 – regular
d) 04- ruim
e) 05- muito ruim

3.5. Quanto ao nível de acesso e facilidade de acessar às informações via portais e sistemas de informação pelo público interno e externo em geral, considera-se:

a) 01 -excelente
b) 02- bom
c) 03 – regular
d) 04- ruim
e) 05- muito ruim

4. DIMENSÃO: PESSOAS

4.1 O nível de conhecimento acerca da I.4.0 pelas pessoas na instituição é:

a) 01 -excelente
b) 02- bom
c) 03 – regular
d) 04- ruim
e) 05- muito ruim

4.2 O nível de aperfeiçoamento das pessoas por meio de cursos de capacitação em relação às mudanças tecnológicas em TIC advindas da I.4.0 é considerado:

a) 01 -excelente
b) 02- bom
c) 03 – regular
d) 04- ruim
e) 05- muito ruim

4.3 O nível de autonomia dos servidores na utilização das ferramentas tecnológicas e na proposição de melhorias é:

a) 01 -excelente
b) 02- bom
c) 03 – regular
d) 04- ruim
e) 05- muito ruim

4.4. Na sua avaliação, o nível de satisfação dos servidores com a gestão da infraestrutura tecnológica para desenvolvimento de suas atividades é considerado:

a) 01 -excelente
b) 02- bom
c) 03 – regular
d) 04- ruim
e) 05- muito ruim

4.5. Na sua avaliação, o nível de satisfação dos usuários externos frente utilização dos portais para recebimento de informações ou acompanhamento de processos pode ser considerado:

a) 01 -excelente

b) 02- bom
c) 03 – regular
d) 04- ruim
e) 05- muito ruim

5. DIMENSÃO: TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO – TIC

5.1 A estrutura e a qualidade dos equipamentos para a realização dos trabalhos na instituição são:

a) 01 -excelentes
b) 02- bons
c) 03 – regulares
d) 04- ruins
e) 05- muito ruins

5.2 O nível de comunicação via sistemas informacionais entre o CTIC e seu departamento para a resolução de problemas na instituição pode ser considerado:

a) 01 -excelente
b) 02- bom
c) 03 – regular
d) 04- ruim
e) 05- muito ruim

5.3 Quanto aos sistemas de informações utilizados pelo corpo de servidores do TIC para realização dos trabalhos, eles são:

a) 01 -excelente
b) 02- bom
c) 03 – regular
d) 04- ruim
e) 05- muito ruim

5.4. Na sua avaliação, a área de TI apresenta soluções embarcadas da indústria 4.0 de forma:

a) 01 -excelente
b) 02- bom
c) 03 – regular
d) 04- ruim
e) 05- muito ruim

5.5. Quanto à segurança em TI dos sistemas informacionais, pode-se considerar:

a) 01 -excelente
b) 02- bom
c) 03 – regular
d) 04- ruim
e) 05- muito ruim