

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E NEGÓCIOS**

NÍVEL MESTRADO

EETELMIR BITENCOURT MACHADO

**OS SISTEMAS VOLTADOS À GESTÃO EMPRESARIAL E SUA CONEXÃO COM
A INDÚSTRIA 4.0:
O Papel das Tecnologias da Empresa SAP**

Porto Alegre

2020

ETELMIR BITENCOURT MACHADO

**OS SISTEMAS VOLTADOS À GESTÃO EMPRESARIAL E SUA CONEXÃO COM
A INDÚSTRIA 4.0:**

O Papel das Tecnologias da Empresa SAP

Dissertação de Mestrado apresentada
como requisito parcial para obtenção do
título de Mestre em Gestão e Negócios,
pelo Programa de Pós-Graduação em
Administração da Universidade do Vale do
Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Oscar Kronmeyer

Porto Alegre

2020

M149s Machado, Etelmir Bitencourt.
Os sistemas voltados à gestão empresarial e sua conexão com a indústria 4.0: o papel das tecnologias da empresa SAP / por Etelmir Bitencourt Machado. – Porto Alegre, 2020.

126 f.: il. (algumas color.) ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Gestão e Negócios, Porto Alegre, RS, 2020.
Orientação: Prof. Dr. Oscar Kronmeyer, Escola de Gestão e Negócios.

1. Empresas – Inovações tecnológicas. 2. Sistemas de informação gerencial. 3. Tecnologia da informação – Administração. 4. Cultura organizacional. 5. Inovações tecnológicas – Administração. 6. NET framework (Tecnologia de rede de computador). 7. SAP SE (Firma). I. Kronmeyer, Oscar. II. Título.

CDU 658.011.8
658:004

ETELMIR BITENCOURT MACHADO

**OS SISTEMAS VOLTADOS À GESTÃO EMPRESARIAL E SUA CONEXÃO COM
A INDÚSTRIA 4.0:
O papel das tecnologias da Empresa SAP**

Aprovado em ...27... deMAIO.....de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Carlos da Silva Freitas Junior – UNISINOS

Prof. Dr. Luís Felipe Maldaner – UNISINOS

Convidado: Prof. Dr. Gabriel Vidor – UCS

Orientador: Prof. Dr. Oscar Kronmeyer – UNISINOS

À minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelas oportunidades e proteção que me presenteia todos os dias.

À minha mãe, Etelvina, que sempre acreditou que a educação seria o melhor presente que ela poderia me prover.

Ao meu pai, Almir (*in memoriam*), que trabalhou incansavelmente, quando vivo, para prover o que nossa família precisava.

Ao meu irmão, Etelmárcio, meu melhor amigo, que sempre está ao meu lado para tudo que seja necessário e pelas alegrias que ele e sua família me provê.

À minha esposa, Cristina, que está sempre comigo, não me deixando desistir nunca.

Ao meu orientador, Professor Dr. Oscar Kronmeyer, que me orientou com a sabedoria de um verdadeiro professor profissional, me ajudando em nos momentos necessários.

Aos professores e aos funcionários da UNISINOS por toda ajuda e apoio em todos os momentos e de forma incondicional.

Aos meus colegas do Mestrado, por terem acreditado em mim e me permitido ter sido o representante da turma, mesmo todos sendo mais capazes para isto.

Aos meus colegas de trabalho, pela alegria e pelo apoio frente ao desafio que é fazer um mestrado.

Às equipes das empresas que me receberam e disponibilizaram uma parte do seu tempo tão precioso para me ajudar na compreensão de conceitos e compartilhar experiências tão decisivas neste trabalho.

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

“Não desista nas primeiras tentativas, a persistência é amiga da conquista”.
Bill Gates

RESUMO

A Indústria 4.0 vem sendo tratada no mundo há algum tempo, mas teve seus conceitos consolidados a partir da década de 2010. O conceito abordado neste trabalho baseou-se na abordagem da Alemanha, de 2012, onde se percebe a viabilidade de uma produção mais precisa, de menor custo e, até determinado ponto, personalizável, mas sempre prometendo a criação das fábricas inteligentes, conectadas aos sistemas de gestão da empresa, formando uma “unidade única”. No transcorrer da pesquisa, baseada pela metodologia da DSR, as empresas que foram estudadas permitiram confirmar os inúmeros desafios, elencados no primeiro momento pela literatura, que existem para a implantação dos conceitos da Indústria 4.0 em uma organização. Estes desafios ultrapassam os aspectos de tecnologia e se ampliam para cultura organizacional, integração de conceitos de sistemas, ampliação de fornecedores para soluções, além de outros impactos organizacionais. As empresas pesquisadas possuem as características de estarem em processo de implantação da Indústria 4.0, mas em estágios distintos. Entretanto, todas são indústrias brasileiras de transformação, que possuem como ERP o sistema da empresa alemã SAP, a qual detém um conjunto de outras tecnologias para apoiar a implementação da Indústria 4.0. Sendo assim, diante dos desafios impostos por esta iniciativa de implementação da Indústria 4.0, com os estudos realizados na literatura, a pesquisas elaboradas nas organizações e nas soluções da empresa SAP, foi possível elaborar um *framework* (em sua primeira versão) que se propõe a ajudar na condução da implementação desta iniciativa, onde esse artefato contempla, ações a serem realizadas, tecnologias a serem envolvidas, resultados esperados em cada etapa e suas conexões com os próximos estágios, assim como o grau de evolução de alguns aspectos ambientais, tais como a maturidade organizacional. Com este artefato, os gestores passam a ter a visibilidade do que cada etapa do processo deve cumprir, bem como conseguem perceber a necessidade de quebra de certos conceitos culturais ou paradigmas existentes na organização, assim como permite que a equipe passe a ter informações sobre os diversos desempenhos da organização.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Tecnologia. Processo. Cultura organizacional. SAP. SAP Leonardo. *Framework. Design Science Research.*

ABSTRACT

Industry 4.0 has been around the world for some time, but its concepts have been consolidated since the decade of 2010. The concept addressed in this work was based on Germany's approach, from 2012, where the viability of a more precise production is perceived, of lower cost and, to a certain extent, customizable, but always promising the creation of smart factories, connected to the company's management systems, forming a "single unit". In the course of the research, based on the DSR methodology, the companies that were studied allowed to confirm the innumerable challenges, listed at first by the literature, that exist for the implementation of the concepts of Industry 4.0 in an organization. These challenges go beyond the technology aspects and expand to organizational culture, integration of system concepts, expansion of suppliers for solutions, in addition to other organizational impacts. The surveyed companies have the characteristics of being in the process of implanting Industry 4.0, but in different stages. However, all of them are Brazilian transformation industries, which have the system of the German company SAP as ERP, which has a set of other technologies to support the implementation of Industry 4.0. Therefore, given the challenges imposed by this Industry 4.0 implementation initiative, with studies carried out in the literature, research carried out in organizations and in the solutions of the SAP company, it was possible to develop a framework (in its first version) that is proposed to help in conducting the implementation of this initiative, where this artifact contemplates, actions to be carried out, technologies to be involved, expected results at each stage and their connections with the next stages, as well as the degree of evolution of some environmental aspects, such as the organizational maturity. With this artifact, managers gain visibility into what each stage of the process must accomplish, as well as being able to perceive the need to break certain cultural concepts or paradigms existing in the organization, as well as allowing the team to have information about the various organizational performance indicators.

Key words: Industry 4.0. Technology. Process. Organizational culture. SAP. SAP Leonardo. Framework. Design Science Research.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Revoluções Industriais	15
Figura 2 – Indústria 4.0 e o Relacionamento Tradicional de Produção	23
Figura 3 – Estrutura do Trabalho.....	25
Figura 4 – SAP <i>Enterprise Intelligence – Data Types</i>	27
Figura 5 – Características da Indústria 4.0.....	29
Figura 6 – Reference Architecture Model for Industry 4.0	30
Figura 7 – Design Principles.....	32
Figura 8 – Tecnologias Relacionadas à Indústria 4.0.....	36
Figura 9 – Índice de Maturidade: Caminho do Desenvolvimento	48
Figura 10 – Estrutura Corporativa para a Indústria 4.0	52
Figura 11 – SAP <i>Enterprise Intelligence – Framework</i>	62
Figura 12 – SAP <i>Business Technology Platform</i>	64
Figura 13 – DSC – Etapas da Pesquisa.....	70
Figura 14 – Fluxo do Trabalho	77
Figura 15 – <i>Framework v.0.1</i>	82
Figura 16 – <i>Framework v.0.2</i>	85
Figura 17 – <i>Framework v.0.3</i>	89
Figura 18 – <i>Framework v.0.4</i>	91
Figura 19 – <i>Framework v.0.5</i>	98
Figura 20 – <i>Framework v.1.0</i>	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparação de bytes	37
Quadro 2 – Tipos de Artefatos	68
Quadro 3 – Resumo da Literatura	72

LISTA DE SIGLAS

3D	Três Dimensões
A.I.	Artificial Intelligence
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AR	Augmented Reality
B.I.	Business Intelligence
B2B	Business to Business
B2C	Business to Commerce
CAE	Computer Aided Engineering
CEO	Chief Executive Office
CPS	Cyber-Physical Systems
DSR	Design Science Research
ERP	Enterprise Resource Planning
HMI	Human Machine Interface
I.A.	Inteligência Artificial
I.T.	Information Technology
IaaS	Infraestrutura as a Service
IoS	Internet of Services
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
MES	Manufacturing Execution System
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
PaaS	Platform as a Service
PCS	Process Control System
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PLC	Programmable Logic Controller
PME	Pequenas e Médias Empresas
RAMI 4.0	Reference Architecture Model for Industry 4.0
SaaS	Software as a Service
SAP	Systeme, Anwendungen und Produkte in der datenverarbeitung
T.I.	Tecnologia da Informação
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos
WEB	Abreviação de World Wide Web (internet - rede mundial de computadores)
WWW	World Wide Web

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA.....	17
1.2	DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	19
1.3	QUESTÃO DE PESQUISA	20
1.4	OBJETIVOS.....	20
1.4.1	Objetivo Geral	20
1.4.2	Objetivos Específicos	21
1.5	JUSTIFICATIVA.....	21
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	25
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	26
2.1	INDÚSTRIA 4.0 E SEUS PADRÕES	27
2.2	PRINCÍPIOS DA INDÚSTRIA 4.0	32
2.2.1	Interconexão	32
2.2.2	Transparência da Informação	33
2.2.3	Decisões Descentralizadas	33
2.2.4	Assistência Técnica	34
2.3	TECNOLOGIAS HABILITADORAS DA INDÚSTRIA 4.0	34
2.3.1	Big Data e Data Analytics	37
2.3.2	Robôs Autônomos	38
2.3.3	Simulação	39
2.3.4	Integração de Sistemas (Horizontais e Verticais)	40
2.3.5	Internet das Coisas (IoT)	41
2.3.6	Segurança Cibernética (<i>Cyber Security</i>)	42
2.3.7	Computação em Nuvem (<i>Cloud Computing</i>)	43
2.3.8	Manufatura Aditiva	44
2.3.9	Realidade Aumentada	46
2.4	A MATURIDADE PARA A INDÚSTRIA 4.0.....	47
2.4.1	Etapa 1: Informatização	49
2.4.2	Etapa 2: Conectividade	49
2.4.3	Etapa 3: Visibilidade	49
2.4.4	Etapa 4: Transparência	50
2.4.5	Etapa 5: Capacidade Preditiva	51

2.4.6	Etapa 6: Adaptabilidade	51
2.5	ESTRUTURA CORPORATIVA PARA A INDÚSTRIA 4.0.....	52
2.5.1	Recursos Organizacionais	53
2.5.2	Estrutura Organizacional	54
2.5.3	Sistemas de Informação	55
2.5.4	Cultura Organizacional	56
2.6	SISTEMAS <i>MES</i>	58
2.7	SISTEMAS <i>ERP</i>	58
2.8	EMPRESA SAP	59
2.8.1	O Crescimento SAP	60
2.8.2	Os Números SAP	61
2.8.3	As Tecnologias SAP	62
2.9	PROPOSIÇÃO DO ARTEFATO	65
2.10	O FRAMEWORK E A PESQUISA	66
3	METODOLOGIA DE PESQUISA	67
3.1	MÉTODO DE TRABALHO	69
3.1.1	Identificação do Problema	70
3.1.2	Conscientização do Problema	71
3.1.3	Revisão Sistemática da Literatura	71
3.1.4	Identificação dos Artefatos e Configuração das Classes de Problemas	73
3.1.5	Proposição de Artefato para a Resolução do Problema	74
3.1.6	Projeto do Artefato	74
3.1.7	Desenvolvimento do Artefato	75
3.1.8	Avaliação do Artefato	75
3.1.9	Explicitação da Aprendizagem	76
3.1.10	Conclusões	76
3.1.11	Generalização para uma Classe de Problemas	76
3.1.12	Comunicação dos Resultados	76
3.2	FLUXO DE TRABALHO.....	77
3.3	UNIDADES DE PESQUISA	77
3.4	APOIO DE PROFISSIONAIS.....	80
4	RESULTADOS DO TRABALHO	82
4.1	VERSÃO 0.1 DO FRAMEWORK.....	82

4.2	VERSÃO 0.2 DO FRAMEWORK.....	85
4.3	VERSÃO 0.3 DO FRAMEWORK.....	89
4.4	VERSÃO 0.4 DO FRAMEWORK.....	90
4.5	VERSÃO 0.5 DO FRAMEWORK.....	97
4.6	VERSÃO 1.0 DO FRAMEWORK.....	101
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	106
5.1	IMPLICAÇÕES GERENCIAIS	107
5.2	OBSERVAÇÕES IMPORTANTES.....	109
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	110
6.1	CONTRIBUIÇÕES GERAIS.....	110
6.2	LIÇÕES APRENDIDAS.....	112
6.3	LIMITAÇÕES IDENTIFICADAS	113
6.4	PESQUISAS FUTURAS	113
	REFERÊNCIAS.....	115
	APÊNDICE A – QUESTÕES DE ENTREVISTA – SAP	119
	APÊNDICE B – QUESTÕES DE ENTREVISTA – EMPRESAS	121
	APÊNDICE C – TERMO DE CONSENTIMENTO – UNISINOS	123
	APÊNDICE D – RESUMO FINAL DO PROFISSIONAL ESPECIALISTA	124
	APÊNDICE E – RESUMO FINAL DO PROFESSOR ESPECIALISTA	125
	APÊNDICE F – FRAMEWORK – V. 1.0 – FORMATO HORIZONTAL	126

1 INTRODUÇÃO

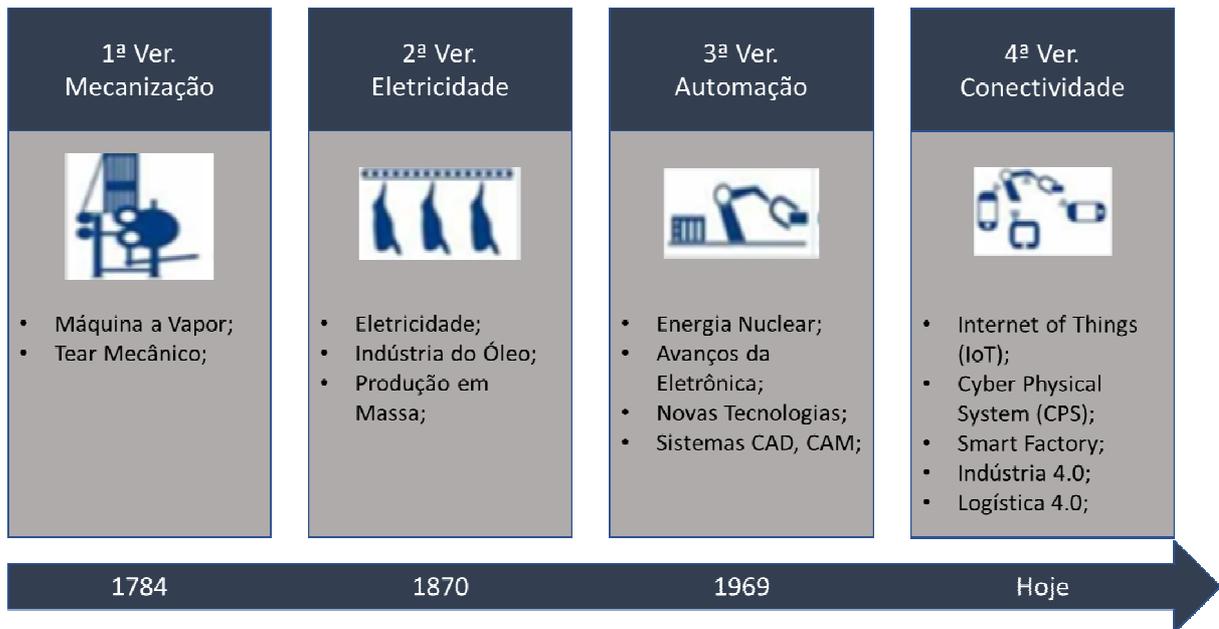
A sociedade está mais uma vez inserida em uma nova revolução que tem como base principal (e em larga escala de utilização) a tecnologia, nos seus mais amplos e variados aspectos, que afeta sensível e praticamente todas as áreas da vida cotidiana. Essa revolução está alterando, como não poderia deixar de ser, inclusive os padrões culturais da sociedade. A indústria está caminhando para um padrão que se convencionou chamar 4.0, que se traduz, dentre outros, na existência de fontes inteligentes de informações, no uso extensivo da robótica, nos sistemas confiáveis de processamento e de armazenamento de dados, além do monitoramento e do controle das operações em tempo real (MAZZAFERRO, 2018).

Além disto, considera-se também a computação e o armazenamento de dados em nuvem (*cloud computing*), que permite maior poder de processamento e de retenção de quantidades consideráveis de informações; a comunicação entre máquinas e computadores, através da Internet das Coisas (“*Internet of Things – IoT*”), permitindo a conexão entre máquinas distintas e o envio de informações de máquinas para sistemas e vice-versa; a ciência de dados (“*Data Science*, que envolve, principalmente, *Big Data* e *Data Analytics*,”), para analisar toda a quantidade imensa de informações geradas; e o aprendizado de máquinas (“*Machine Learning*”) definindo padrões e correlações entre as informações, geradas a partir dos fatos ocorridos, possibilitando, então, o uso da Inteligência Artificial (“*Artificial Intelligence – A.I.*”). Todos esses conceitos e verticais da Tecnologia da Informação (T.I.) sendo colocados para trabalhar ao mesmo tempo, em uma mesma época da civilização e em grandes escalas, com potencial para causar uma revolução que transcende todas as demais revoluções já ocorridas e que ainda não está vislumbrada em sua plenitude.

Para colocar-se essa evolução em um contexto histórico, a Primeira Revolução Industrial (final do séc. XVIII) marcou a transição dos métodos de produção do formato artesanal para o mecanizado, através, principalmente, do uso de máquinas a vapor. No início do século XX, houve a introdução da eletricidade no sistema produtivo, além da criação dos conceitos de produção em massa e da divisão do trabalho, o que caracterizou a Segunda Revolução Industrial. A Terceira Revolução Industrial, surgiu por volta da década de 1970 e vem até os dias atuais, caracterizando-se pelo uso da eletrônica e da T.I. (CHARRUA-SANTOS *et al.*, 2018).

Estas três revoluções não só geraram benefícios, cada uma em seu tempo, para a cadeia de valor de todas as indústrias da economia, como também mudaram culturalmente a sociedade, desde seu comportamento até seus valores e crenças, transformando-a e elevando-a aos patamares conhecidos e vividos atualmente.

Figura 1 – Revoluções Industriais



Fonte: CHARRUA-SANTOS *et al.* (2018, p. 04).

Em especial, nas últimas décadas, o desenvolvimento da T.I. e sua integração de processos geraram benefícios para toda a cadeia de valor, alavancando a produtividade industrial e melhorando a relação dos custos, além de gerar soluções para um melhor atendimento às necessidades dos clientes. Com o avanço da internet (“web”), novos modelos de negócios puderam ser viabilizados, mas a web também permitiu o surgimento da necessidade (e da procura) por produtos personalizados, complexos, de maior qualidade e de custos menores.

A Indústria 4.0 faz uso de todo este conjunto de tecnologias disponíveis, aproveitando todos os pontos entre essas e interligando os dispositivos aos sistemas (e às suas inteligências) que fazem uso das informações, das mais variadas formas, para um gama infinita de fins, agregando, inclusive, *Machine Learning* e Inteligência Artificial para atingir resultados cada vez mais promissores.

Segundo Mohelska *et al.* (2018), o conceito de Indústria 4.0 descreve a cadeia de produção de forma descentralizada, que se estende do design à cadeia de suprimentos, de produção, de distribuição e de atendimento ao cliente. Os Sistemas

Físicos Cibernéticos (*Cyber-Physical Systems – CPS*) utilizam software e máquinas conectadas à Internet, que se comunicam em tempo real para reduzir as taxas de erro e aumentar a eficiência (MOHELKA, 2018). A autora complementa, indicando que a base seria a cooperação de unidades de controle separadas, capazes de tomar decisões autônomas, de gerenciar a unidade tecnológica designada e, em particular, de tornar-se um membro independente (e pleno) de unidades de produção abrangentes. Para Mohelska *et al.* (2018), o conceito da Indústria 4.0 exige contínua inovação e educação, que não dependem apenas das habilidades das pessoas, mas também da cultura organizacional e, assim, abordagens gerenciais apropriadas desempenhariam um papel vital no desenvolvimento dessa.

Toda essa revolução carrega consigo desafios consideráveis, mesmo nas economias mais desenvolvidas. Aspectos como segurança da informação, proteção digital, padronização das interfaces de comunicação, ajustes de processos, desenvolvimento de novas técnicas e de novas formas de trabalho, além da geração de competência intelectual para esta nova era, são alguns dos pontos que precisam ser considerados e estudados com muita atenção.

Ainda, quando economias emergentes são consideradas, esses desafios tendem a ser muito maiores, pois os países em desenvolvimento estão, em sua grande maioria, com déficits bem maiores, em relação aos avanços tecnológicos, aos níveis de ensino, ao parque de máquinas e de instalações, quando comparados com os países desenvolvidos. Esses atrasos aumentam, em muito, as dificuldades para adentrar nesta nova “revolução 4.0” e iniciar o processo de usufruir de todo esse universo.

Apesar da Indústria 4.0 representar uma evolução natural dos sistemas industriais anteriores (desde a mecanização do trabalho ocorrida no século XVIII até a automação da produção nos dias atuais), ainda existem lacunas entre os sistemas de informações atuais (muito deles comumente conhecidos como sistemas ERP) e o chão de fábrica em si (CHARRUA-SANTOS *et al.*, 2018). Em muitos casos, as informações ainda não são comunicadas em tempo real, o que muitas vezes gera atrasos nas tomadas de decisões.

Para que os processos industriais possam alcançar a flexibilidade e eficiência, bem como, baixo consumo de energia e redução de custos (requisitos fundamentais para sobreviver nesses novos cenários) as empresas precisam de uma estrutura integrada que permita o acesso às informações do nível da produção em tempo real.

A tomada de decisão, baseada em informações continuamente atualizadas, possibilita uma reação mais rápida às alterações do mercado. Melhorias nos processos de decisão melhoram os produtos, os serviços, o relacionamento com os clientes, reduzem os desperdícios e os custos e, conseqüentemente, melhoram os lucros (CHARRUA-SANTOS *et al.*, 2018).

Segundo Frank *et al.* (2018), a Indústria 4.0 é considerada uma nova etapa industrial na qual os processos de fabricação verticais e horizontais, a integração e a conectividade com o produto podem ajudar as empresas a obter maior desempenho industrial. Para Slusarczyk (2018), essa indústria altera significativamente produtos e sistemas de produção relacionados ao design, aos processos, às operações e aos serviços, bem como, gera conseqüências adicionais para as gerências e os trabalhos futuros, por meio da criação de novos modelos de negócios. Assim como existem oportunidades, não faltam barreiras que podem ameaçar as empresas na conquista efetiva de um nível tecnológico e organizacional mais alto.

A Indústria 4.0 se associa com “grandes oportunidades” para o desenvolvimento e para a melhoria da competitividade, mas o estado dos preparativos para sua implementação varia amplamente, dependendo do país, do setor ou mesmo de uma empresa para outra (SLUSARCZYK, 2018).

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

As tecnologias mais recentes, principalmente relacionadas à digitalização, já afetam a condição de algumas indústrias e setores da economia. Esses processos ocorrem em um ritmo diferente, associado, principalmente, ao grau de maturidade da economia, de suas oportunidades de investimento e da cultura de inovação. Nesse contexto, seria possível, por exemplo, realizar um pedido, produzir, implementar e entregar o produto, sem a participação humana em qualquer momento no decorrer do processo (SLUSARCZYK, 2018). O autor complementa, indicando que essas características não estão apenas correlacionadas fortemente com as tecnologias e os algoritmos avançados, mas também indicam que a Indústria 4.0 é o processo industrial de agregar valor e gerenciar o conhecimento.

A Indústria 4.0 provocou um debate na indústria de software alemã sobre o que tange o planejamento de recursos empresariais (sistemas *ERP*) ou sobre os sistemas de execução de manufatura (sistemas *MES*) e se esses se estabelecerão

como a força dominante do sistema de software nos ambientes de produção. Algumas vozes da indústria acreditam que o sistema ERP estará diretamente vinculado aos sistemas de controle de processo (sistemas *PCS*) no nível da produção. Inversamente a essa ideia, um contingente significativo considera que os sistemas *MES* são excelentes para a implementação da Indústria 4.0 (MACDOUGALL, 2014).

De acordo com a perspectiva da empresa alemã SAP, uma das líderes de mercado em software de aplicativos corporativos (principalmente *ERP's*), conforme é colocado por MacDougall (2014), a SAP ajuda empresas de todos os tamanhos e setores a funcionarem melhor. Do *backoffice* à sala de reuniões, do armazém à loja, do desktop ao dispositivo móvel, a SAP capacita pessoas e organizações a trabalharem juntas, de maneira mais eficiente e usarem os conhecimentos de negócios com maior eficiência para se manterem à frente da concorrência.

MacDougall (2014) relata que, segundo a SAP, os fabricantes enfrentam uma maior pressão de custo e de volatilidade do mercado, pois os ciclos de vida do produto e de testes estão ficando mais curtos, além de estarem se tornando mais complexos e personalizáveis. Começa a ficar evidente, assim, que transferir a produção para países emergentes com custos de mão-de-obra baratos não é mais um caminho para o sucesso, pois agora se faz necessário equilibrar a personalização com a produção em massa. Assim, a produção precisa ser mais local, com impressoras 3D, por exemplo, para atender as mudanças rápidas de demanda. Além disto, outros fatores também ganham importância, como os baixos custos de energia, além de localizar de forma diferente o setor de P&D e a fabricação para acelerar o tempo de colocação do produto no mercado.

Ainda, de acordo com MacDougall (2014), segundo a SAP, as indústrias de manufatura realizam uma mudança nova e profunda, à medida que as tendências de negócios e de tecnologia convergem, de uma maneira sem precedentes, para o objetivo de tornar os produtos mais "inteligentes". O conceito sobre um maior desempenho abrangeria, dentre outros e de forma macro, a inovação sustentável, a fabricação responsiva, a excelência operacional e o serviço pós-venda.

Assim, o tema deste trabalho compreende uma pesquisa na literatura sobre a Indústria 4.0, seus conceitos, seus princípios, seus principais pilares tecnológicos e seus possíveis impactos na sociedade, bem como compreende também uma pesquisa referente à solução de mercado que uma das maiores empresas mundiais

de sistemas de informação e de tecnologia, a empresa SAP, provê para suportar ou apoiar essa Indústria nas organizações onde for implementada.

Esse objetivo envolve a compreensão de como a solução da SAP pode suportar os conceitos da Indústria 4.0 e quais as limitações que pode vir a apresentar, bem como, quais os desafios e as barreiras deverão ser superados no processo de implantação dessa indústria, gerando, assim, um *framework* que pretende ajudar na orientação e na execução desta empreitada.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

A delimitação do trabalho envolve indicar a abrangência e, por conseguinte, os limites do que é pesquisado, assim como, situar a pesquisa no tempo e no espaço para a sua realização, visto que é pouco provável que uma única pesquisa possa abranger todo o conhecimento de uma área.

Este trabalho procura abordar os conceitos atuais da Indústria 4.0, a partir do que foi concebido pela Alemanha, buscar suas ideias originais a partir do ano de 2011/2012 e contextualizar seus principais pilares tecnológicos utilizados para viabilizá-la. Em decorrência, o mesmo procura entender como a Indústria 4.0 proveria as informações necessárias para as organizações e como estas seriam recebidas, tratadas e transformadas em informação relevante para apoio à estratégia organizacional, gerando eficiências produtivas e ganhos para o negócio, evitando custos desnecessários e ampliando a flexibilização industrial.

Na sequência, é colocado em pauta a solução tecnológica da empresa SAP, uma das maiores empresas mundiais de software e sistemas, que desenvolveu uma plataforma de solução, denominada, em determinado um momento, de “SAP Leonardo”, em homenagem a *Leonardo da Vinci*, mas que já teve essa denominação alterada para SCP (*SAP Cloud Platform*) e que, atualmente, está com a nomenclatura de *SAP Enterprise Intelligence*, para suportar as organizações na tarefa de implantação e uso da Indústria 4.0, principalmente, naquelas empresas que já possuem o seu sistema ERP.

Neste estudo não serão utilizadas plataformas de outras empresas de software ou sistemas ERP de outras empresas, nem mesmo será feito um estudo comparativo entre ferramentas. O estudo compreende, portanto, elencar as soluções da empresa SAP, na sua visão atual, frente aos desafios da Indústria 4.0,

mensurando os pontos de suporte, bem como os conceitos aplicados a essa indústria e as lacunas que as soluções SAP não atendem.

Para corroborar com a veracidade dos conceitos pesquisados em relação ao que a solução compreende, assim como o que as organizações precisam evoluir, melhorar e aplicar, elaborou-se uma pesquisa em três organizações, que estão em diferentes níveis de maturidade, frente aos conceitos da Indústria 4.0. Obteve-se também informações de outra fonte pesquisada, que ocorreu nos conteúdos on-line da empresa SAP e com alguns de seus colaboradores, de forma informal, para conseguir obter uma maior compreensão sobre o que a empresa está vislumbrando para esta indústria, bem como seu papel no apoio às empresas para esta ação.

1.3 QUESTÃO DE PESQUISA

Como uma das maiores empresas de *software* – a empresa SAP – pode apoiar e ajudar, com suas tecnologias, as empresas brasileiras de transformação (normalmente, indústrias) a adotar as práticas e os conceitos da Indústria 4.0, para que essas consigam, no processo de implementação, superar as etapas e os desafios dessa nova versão de indústria?

1.4 OBJETIVOS

A seguir estão descritos o objetivo geral da pesquisa e seus objetivos específicos.

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa consiste em propor uma ferramenta de abstração genérica, baseada no mapeamento dos pilares tecnológicos da Indústria 4.0, na elucidação dos seus conceitos e das suas aplicações possíveis, compreendendo os desafios que ela promove e que apoie a implementação da Indústria 4.0 em organizações brasileiras de transformação, considerando o uso de tecnologias da empresa SAP para ajudar neste processo, bem como, levando em consideração as principais mudanças corporativas necessárias para que se atinja o sucesso dessa iniciativa.

1.4.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos compreendem:

- a) Mapear os pilares tecnológicos e os desafios não tecnológicos inerentes à implementação da Indústria 4.0, a fim de alcançar o entendimento das mudanças, além daquelas tecnológicas, estão envolvidas neste movimento, tais como cultura, comportamento e processos, dentre outras;
- b) Elencar as tecnologias que podem ser utilizadas na Indústria 4.0 dentre os produtos tecnológicos que uma grande empresa de sistemas possui e quais pontos dessa indústria essa empresa não consegue suprir;
- c) Elencar quais as lições aprendidas as empresas que já estão no processo de implantação da Indústria 4.0 conseguiram absorver, entendendo o que funcionou e o que precisou ser revisto, por não gerar o resultado esperado;
- d) Identificar quais as tecnologias podem participar da implementação da Indústria 4.0, assim como quais as demais áreas organizacionais serão impactadas com a implementação de Indústria 4.0 e como esses assuntos devem ser direcionados;
- e) Elaborar um *framework* que consiga conjecturar e consolidar as tecnologias e os aspectos não tecnológicos, em uma cadeia de passos, dentro de um processo de mudança, elencando os aspectos, as tecnologias, as mudanças e os processos, dimensionando o nível de maturidade mesmo que de forma empírica, para apoiar a implementação dos conceitos da Indústria 4.0.

1.5 JUSTIFICATIVA

De acordo com Haseeb *et al.* (2019), a adoção de alguma tecnologia é uma tarefa, frequentemente, difícil para as empresas. As pequenas e médias (PME's), normalmente, sofrem mais com isto, devido à falta de recursos, além de outros problemas do mercado. Muitos desafios tecnológicos afetam negativamente o desempenho sustentável dos negócios das PME's. No entanto, a incorporação da Indústria 4.0 pode superar vários problemas de tecnologia, pois seu objetivo é atingir um melhor nível de eficácia, de produtividade operacional e de maior automatização.

Para Charrua-Santos *et al.* (2018), o setor industrial sempre foi crucial para o desenvolvimento econômico dos países. Segundo Charrua-Santos *et al.* (2018),

desde o final do séc. XVIII, a indústria tem passado por transformações que revolucionaram a maneira como os produtos são fabricados e trouxeram vários benefícios, especialmente no que tange o aumento da produtividade.

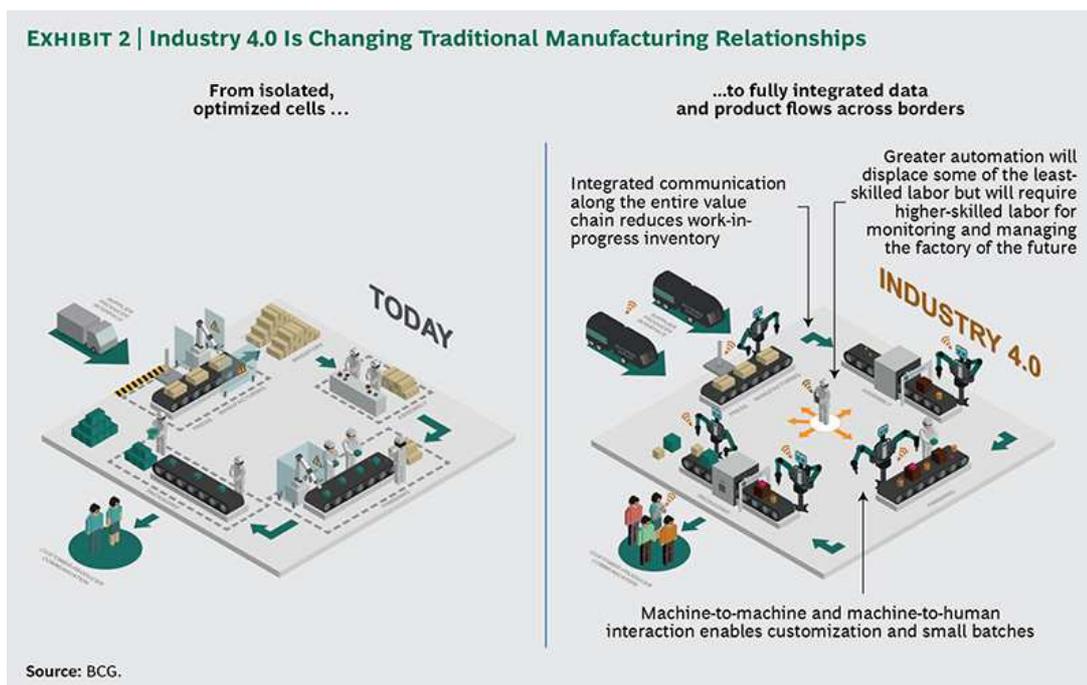
Segundo Hermann *et al.* (2016), há uma dupla fascinação pela Indústria 4.0: a primeira se refere a colocar, pela primeira vez, uma revolução industrial como protagonista (e não como coadjuvante) o que torna possível que existam várias oportunidades para empresas e institutos de pesquisa moldarem ativamente o futuro; e a segunda se refere ao enorme impacto econômico que essa revolução pode gerar, pois a Indústria 4.0 promete uma eficácia operacional substancialmente aumentada, assim como o desenvolvimento de modelos, de serviços e de produtos de negócios totalmente novos.

Conforme Chiarello *et al.* (2018), a explosão do assunto sobre a Indústria 4.0 gerou um grande interesse, tanto na academia, quanto nos negócios. Enquanto que para a academia, há oportunidades oferecidas pelo surgimento de um novo campo, para os negócios existem incentivos e planos de investimento nacionais. Ainda, segundo o autor, o campo tecnológico da Indústria 4.0 não é de todo “novo”, mas é altamente heterogêneo (para ele, na verdade, é o ponto de agregação de mais de 30 campos diferentes da tecnologia) e, por esse motivo, ele considera que muitas partes interessadas se sentem desconfortáveis, uma vez que não dominariam todo o conjunto de tecnologias e que manifestariam a falta de conhecimento sobre as mesmas, bem como a existência de problemas de comunicação com outros domínios.

O setor industrial é importante para a economia de todos os países e continua a ser o motor do crescimento e do emprego. A indústria, que neste contexto se concentra na fabricação, fornece valor acrescentado, através da transformação de materiais em produtos. Desde que o governo federal alemão anunciou a Indústria 4.0 como uma das principais iniciativas de sua estratégia de alta tecnologia em 2011, o tópico “Indústria 4.0” tornou-se famoso entre muitas empresas, centros de pesquisa e universidades (BAHRIN *et al.*, 2016).

Em 2015, Rubmann *et al.* (2015) indicou que até aquele momento, a indústria, como era conhecida, havia sofrido uma grande evolução, mas ainda se encontrava, em geral, na parte de automação e de otimização, com o conceito de “células isoladas”.

Figura 2 – Indústria 4.0 e o Relacionamento Tradicional de Produção



Fonte: Rubmann *et al.* (2015)

Rubmann *et al.* (2015), complementa, indicando que isso já melhora significativamente a vida industrial, quando comparada com cenários passados, porém ainda estava muito aquém, quando o contexto é colocado em perspectiva com um cenário mais aprimorado, onde os dados estão totalmente integrados, com possibilidade de fluxos de produtos, de serviços e de informações que transpõe as fronteiras da organização.

No entanto, as empresas enfrentam dificuldades quando tentam desenvolver ideias ou agir, mas não sabem exatamente o que fazer. “*Mesmo que a Indústria 4.0 seja um dos tópicos mais discutidos atualmente, eu não poderia explicar ao meu filho o que ela realmente significa*”, disse um gerente de produção da fabricante alemã de automóveis: a Audi (HERMMANN *et al.*, 2016).

Com a Indústria 4.0, acredita-se que surjam oportunidades que possibilitam que as empresas possam integrar as necessidades dos clientes aos seus processos de desenvolvimento e de produção. Desta forma, à medida que sensores, computadores e máquinas em rede possam, de forma facilitada, se comunicar entre si e em tempo real, os processos de produção poderiam se tornar mais visíveis e monitoráveis, proporcionando uma redução nas taxas de falhas e aumentando a qualidade do que for produzido (CHARRUA-SANTOS *et al.*, 2018).

No momento em que as empresas decidem por este importante passo de implementação dos conceitos da Indústria 4.0, cujos resultados são extremamente promissores, torna-se relevante o entendimento, não apenas referente aos resultados que são possíveis de se obter, mas também referente à maneira de como obter estes resultados e, por conseguinte, entender o caminho a ser trilhado durante essa implementação.

Esta iniciativa não seria uma tarefa trivial, bem como seus impactos para a organização não seriam mínimos. Ao contrário, ela consiste de uma série de passos e etapas, gerando resultados parciais, que podem ser matéria-prima para um próximo estágio ou próxima etapa do processo e, dessa forma, colaborando na construção de um todo, mas de forma parcial, gradativa e, principalmente, complementar. Dentre os impactos causados por uma implementação desta magnitude se encontram aqueles referentes à tecnologia, aos processos, à cultura empresarial, ao ambiente organizacional, dentre outros.

Portanto, o presente trabalho busca ajudar as organizações que, a partir de um sistema ERP já implementado, deseja ampliar suas possibilidades, através da Indústria 4.0, mas desconhece como proceder para atingir os seus objetivos e seus plenos resultados. Ele viabiliza esta ação a partir dos conceitos estudados e descritos, bem como, sugere um artefato que orienta cada etapa do processo, indicando o que fazer, quais as tecnologias envolvidas, quais os preparativos organizacionais e quais os resultados serão gerados em cada etapa.

Além do embasamento teórico, este artefato contempla a experiência de empresas que se encontram em diferentes estágios de implementação da Indústria 4.0, onde consegue congrega as ações que geraram resultados positivos e os cuidados que foram necessários serem tomados para se chegar no patamar que se encontram.

Estas empresas já possuíam o sistema ERP da empresa SAP implantado e partiram, então, deste ponto para a implementação da Indústria 4.0, observando, estudando e aprendendo com cada momento da sua evolução. Desta forma, este artefato contempla também as melhores práticas e situações que elas vivenciaram para minimizar falhas e riscos das ações executadas.

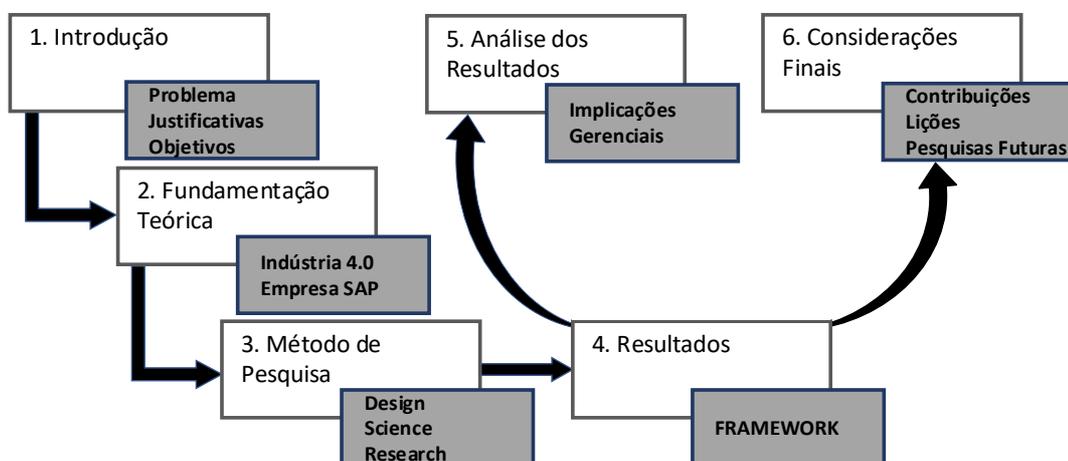
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em seis capítulos, onde no primeiro capítulo encontra-se a introdução da pesquisa, a delimitação do problema, suas justificativas, e seus objetivos. Já o segundo capítulo é composto pela fundamentação teórica da Indústria 4.0, bem como uma descrição sobre suas tecnologias associadas, passando pela maturidade da organização e chegando aos conceitos correspondentes dessa indústria e os seus recursos demandados. Neste segundo capítulo encontram-se também as informações sobre a empresa SAP e algumas de suas tecnologias pertinentes à Indústria 4.0, que fizeram parte da pesquisa.

Na sequência, o terceiro capítulo trata do método e dos procedimentos utilizados para a condução da pesquisa, a qual foi baseada em *Design Science Research*. O quarto capítulo apresenta os resultados da pesquisa, com as versões de *framework* geradas a cada evolução, incluindo a opinião de um profissional especialista de mercado, bem como as contribuições de um professor Dr. especializado no assunto.

O quinto capítulo consiste em uma breve discussão sobre alguns dos resultados obtidos, bem como sobre os possíveis impactos, do ponto de vista gerencial, que a Indústria 4.0 pode gerar nas organizações, e sobre a visibilidade do processo de implementação, quando utilizado o *framework* sugerido. O sexto capítulo contempla as considerações finais da pesquisa, suas limitações e algumas sugestões para futuras pesquisas sobre este assunto juntamente com outras frentes.

Figura 3 – Estrutura do Trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Indústria 4.0 é considerada, em torno do final da segunda década do século XXI, como a próxima fase na digitalização do setor de manufatura e é impulsionada por quatro ações disruptivas: a) o aumento surpreendente de dados, poder computacional e conectividade; b) o surgimento de recursos de análise e de inteligência de negócios; c) as recentes formas de interação do homem com a máquina (interfaces de toque e realidade aumentada); e d) as melhorias na transferência de instruções digitais para o mundo físico (robótica e impressão 3D) (SUNG, 2018).

A fundamentação teórica desta dissertação de mestrado tinha por objetivo elucidar quatro temas que inicialmente compunham o objetivo do trabalho em si, quais sejam: (i) os conceitos da Indústria 4.0 e seus nove alicerces tecnológicos; (ii) os fundamentos dos sistemas de gestão empresarial e uma das soluções de mercado, a solução da empresa SAP; (iii) as formas e ações que foram (e que são) utilizadas para, a partir dos sistemas de gestão empresarial, conhecidos como ERP's, apoiar as estratégias empresariais; e (iv) como a plataforma da SAP, conhecida como "**SAP Leonardo**", almeja suportar a Indústria 4.0.

Entretanto, durante o período de realização desta pesquisa, a empresa SAP veio alterando suas nomenclaturas e afinando sua visão sobre seus produtos para o atendimento da parte inteligente das fábricas. Assim, do "**SAP Leonardo**" passou-se para o "**SCP**" (*SAP Cloud Platform*). Posteriormente, houve a conversão para um grupo de soluções que faz parte de algo maior, denominado atualmente de "**Enterprise Intelligence**", que em tradução livre poderia ser algo como "*Empresa Inteligente*" (ou "*Inteligência Corporativa*").

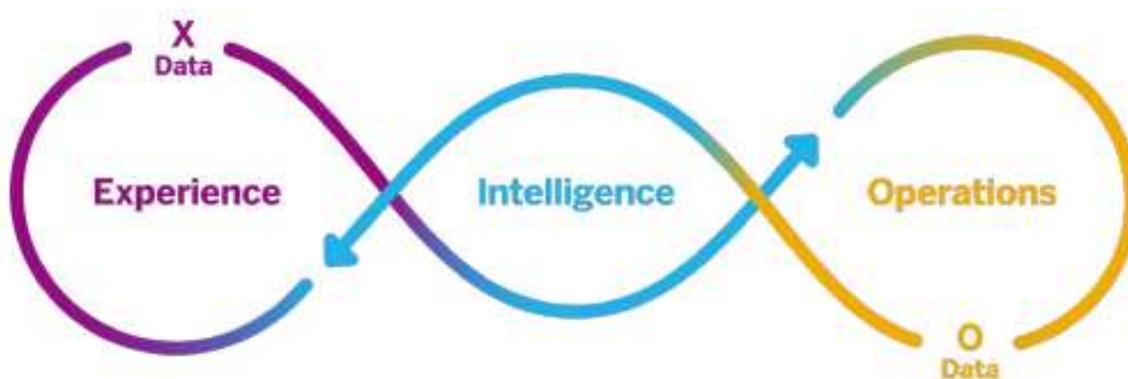
É importante ressaltar que a marca **SAP Leonardo** e **SCP** continuam existindo dentro da SAP, mas agora como grupos mais especializados em certas tecnologias e conceitos: o **SAP Leonardo** está voltado para soluções referentes à *IoT*; e o **SCP** contempla as soluções e tecnologias aplicadas em soluções de nuvem (*cloud*).

Para o SAP SE (2019a), as empresas que lideram a economia da experiência ouvem, entendem e agem em um ciclo contínuo e conectado de melhorias, coletando informações sobre a experiência dos clientes, de seus funcionários, dos produtos e da marca em todos os pontos de contato e utilizando o poder das

tecnologias para identificar oportunidades, riscos e tendências, fazendo com que essa inteligência se transforme em ação significativa nas áreas de negócio.

O SAP SE (2019a) considera que, com o volume e com a variedade de informações operacionais e sobre as experiências, é possível conectar essas informações para ampliar e melhorar consideravelmente a tomada de decisão em tempo real e, em alguns casos, ter a previsibilidade de comportamentos e de resultados, objetivando alcance do sucesso futuro.

Figura 4 – SAP Enterprise Intelligence – Data Types



Fonte: SAP SE (2019a)

Segundo o SAP SE (2019a), acredita-se que os dados são um fator-chave por trás das decisões tomadas sobre negócios, estratégias e resultados desejados. Assim os dados operacionais (dados “O”), em resumo, analisariam as transações sob o ponto de vista de negócio, revelando o que acontece, enquanto que os dados referentes a experiência (dados “X”), analisam o motivo pelo qual algo acontece, capturando o “sentimento” de clientes, funcionários e parceiros de negócios, em momentos importantes, para fornecer um entendimento imediato da qualidade da experiência.

2.1 INDÚSTRIA 4.0 E SEUS PADRÕES

De acordo com Hermann *et al.* (2015, pg. 11), a definição da Indústria 4.0 é:

A Indústria 4.0 é um termo coletivo para tecnologias e conceitos de organização da cadeia de valor. Nas fábricas inteligentes, estruturadas modularmente, da Indústria 4.0, os sistemas CPS monitoram os processos físicos, criam uma cópia virtual do mundo físico e tomam decisões descentralizadas. Através das tecnologias de *IoT*, os sistemas CPS se comunicam e cooperam entre si e com os seres humanos em tempo real.

Por meio da *IoT*, serviços internos e intraorganizacionais são oferecidos e utilizados pelos participantes da cadeia de valor.

O termo “**Indústria 4.0**” foi utilizado para descrever a estratégia de alta tecnologia, promovida pelo governo alemão, e que está sendo implementada pelas organizações (CHARRUA-SANTOS *et al.*, 2018). Segundo o autor, este termo foi usado pela primeira vez na Feira de Hannover em 2011. Entretanto, de acordo com Liao *et al.* (2017), há outros movimentos que antecederam este momento, como o “*Advanced Manufacturing Partnership*” (AMP) incentivado pelo governo americano, que visava a liderança dos Estados Unidos na próxima geração de tecnologia em produção, bem como movimentos que sucedem aquele momento, como a iniciativa de revisão estratégica do governo francês, denominada “*La Nouvelle France Industrielle*”, com iniciativas em 34 setores básicos da indústria.

Em outubro de 2012, foi apresentado um relatório de recomendações para o Governo Federal Alemão, a fim de planejar sua implantação. Então, em abril de 2013 foi publicado, na mesma feira, um trabalho final sobre o desenvolvimento da Indústria 4.0 (GONÇALVES, 2016).

Em suma, o termo refere-se à quarta revolução industrial que é derivada do projeto relacionado à fabricação computadorizada do futuro. A aplicabilidade deste termo é popular em países europeus, especialmente no setor alemão de manufatura (MOKTADIR *et al.*, 2018).

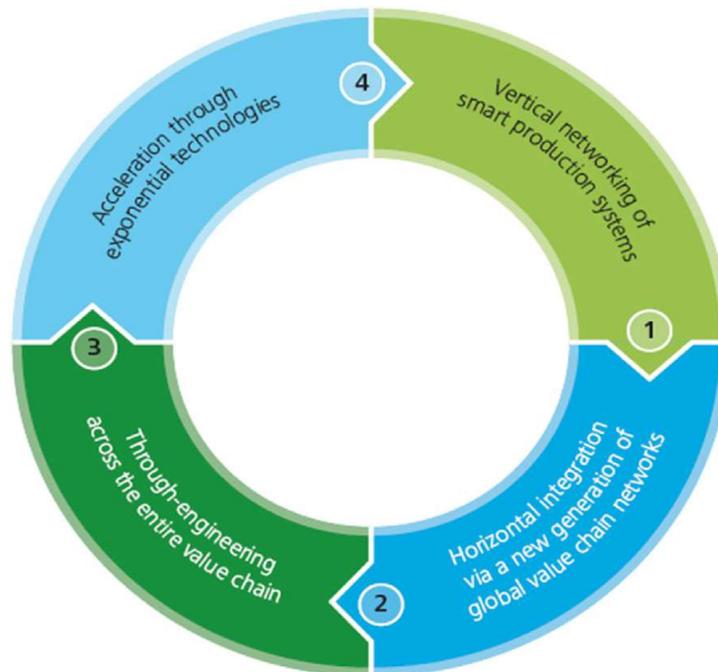
Para Pasqualotto *et al.* (2017), a Indústria 4.0 é uma realidade que se torna possível, através do uso das principais inovações tecnológicas (sistemas cyber-físicos, internet das coisas e internet dos serviços), momento em que diversas mudanças ocorrerão.

O autor considera que todas as variações de dispositivos conectados à internet (*smartphones, tablets, smart TVs, smartwatches*, eletrodomésticos inteligentes, etc.) promovem mudanças, não só no modo de estudar e de trabalhar, mas, também, de consumir, e, conseqüentemente, inclusive no ambiente de lazer, provocando uma invasão irreversível do virtual sobre o real no modo de viver do ser humano.

A empresa Deloitte (2015) indica que as características básicas da Indústria 4.0 podem ser explicadas através de quatro dimensões: (i) a integração vertical em toda a cadeia de valor e sistema de produção inteligente; (ii) a integração horizontal por nova geração em todas as redes de cadeias de valor; (iii) a engenharia completa

em todo o ciclo de vida do produto; e (iv) a aceleração por meio de tecnologia inteligente.

Figura 5 – Características da Indústria 4.0



Fonte: Deloitte (2015)

De acordo com Moktadir *et al.* (2018), a integração vertical em toda a cadeia de valor e sistema de produção inteligente refere-se à digitalização da planta de manufatura, de uma forma inteligente, via sistema de produção física e digital, permitindo a existência de um sistema de produção dinâmico, que pode atender mudanças de demanda ou nível de estoque, de forma rápida.

Para o autor, a integração horizontal por nova geração em todas as redes de cadeias de valor refere-se à integração da digitalização e da inteligência na organização, ao longo de toda a cadeia de valor de um ciclo de vida do produto, permitindo que redes otimizadas facilitem a transparência integrada e oferecendo alto nível de flexibilidade, gerando, ainda, um sistema dinâmico de produção na cadeia de processos.

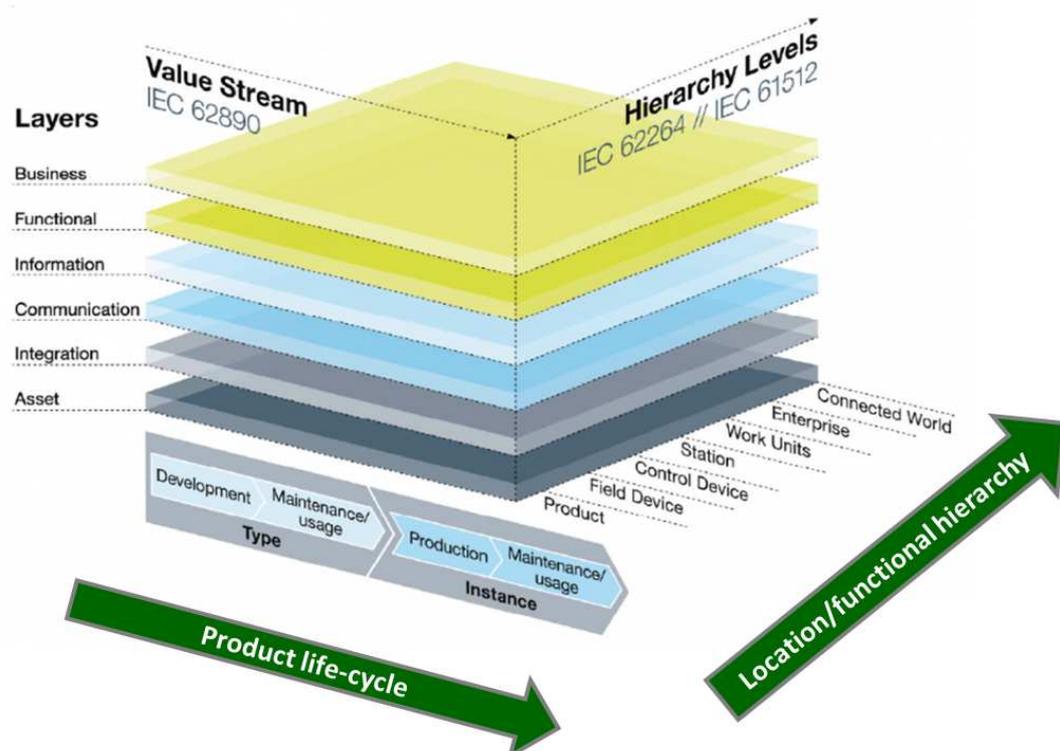
Através da engenharia em todo o ciclo de vida do produto, Moktadir *et al.* (2018) afirmam que esta refere-se à integração e à digitalização inteligente no ciclo de vida do produto, desde a compra de matéria-prima até o fim da vida útil do produto. Os dados estariam disponíveis em todas as fases do ciclo de vida do produto e facilitariam a geração de processos de produção mais flexíveis.

Pasqualotto *et al.* (2017) complementa com a colocação de que os produtos também poderão ter sensores que armazenarão informações sobre o consumidor, que serão enviados às empresas. E seria isto uma das características que a Indústria 4.0 promete, mas em uma escala muito maior, incluindo diversos setores da economia e formas de relação, tanto B2B (*Business To Business*), quanto B2C (*Business To Consumer*).

Moktadir *et al.* (2018) finaliza, indicando que o impacto da tecnologia inteligente nos sistemas de produção industrial é muito alto, pois ela pode acelerar todo o sistema de produção, otimizando o tempo de produção e minimizando o custo de produção, através da introdução da automação no sistema de produção, por meio de uso de robótica avançada, inteligência artificial, tecnologias de sensores, etc.

De acordo com Rojko, (2017), a Indústria 4.0 deverá, no primeiro momento e de forma geral, fazer uso de equipamentos e tecnologias já disponíveis nas organizações. Sendo assim, um dos seus primeiros desafios é identificar como os padrões já disponíveis serão integrados ao novo conceito. Para resolver o problema de padronização, foi desenvolvido um Modelo de Arquitetura de Referência para a Indústria 4.0 (*Reference Architecture Model for Industry 4.0 – RAMI4.0*).

Figura 6 – Reference Architecture Model for Industry 4.0



Fonte: Rojko (2017)

Rojko (2017) complementa, indicando que o RAMI 4.0 é um meta-modelo, por isso descreve os aspectos que desempenham um papel importante no sistema de produção da Indústria 4.0. Ele é baseado no modelo de arquitetura de redes inteligentes (*smart grids*), internacionalmente aceito, introduzido no ano de 2014, porém com duas camadas inferiores adicionais para abordar aspectos específicos da Indústria 4.0. O RAMI 4.0 tridimensional deve permitir:

- Identificação dos padrões existentes;
- Identificação e solução de lacunas e brechas nas normas existentes;
- Identificação de sobreposições nos padrões existentes.

O autor complementa, indicando que a primeira dimensão do RAMI 4.0 aborda dois elementos: Tipo e Instância. Desde que uma ideia, um conceito ou um produto ainda esteja no planejamento e, portanto, ainda não esteja disponível/realizado, ele é chamado de “Tipo”. A segunda dimensão do modelo refere-se à localização, hierarquia funcional do produto para o mundo conectado (como o último estágio do desenvolvimento da Indústria 4.0 com todas as empresas, clientes e fornecedores conectados). A terceira dimensão do modelo RAMI 4.0 é organizada em camadas funcionais da seguinte forma:

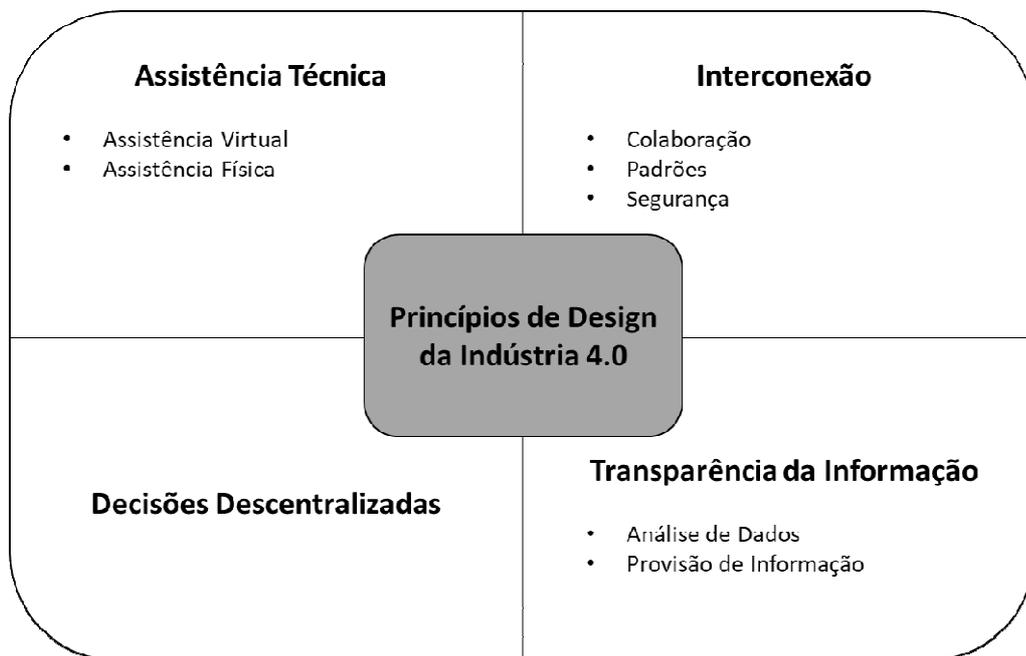
- Uma camada de ativos inclui componentes físicos, como robôs, correias transportadoras, PLC (*Programmable Logic Controller*), documentos, arquivos, mas também objetos não físicos, como software e ideias;
- Uma camada de integração fornece informações para ativos em um formulário que pode ser processado digitalmente. Ele inclui elementos conectados à T.I., como sensores, integração com HMI (*Human Machine Interface*) e controle monitorado por computador de processos técnicos;
- Uma função da camada de comunicação é a padronização da comunicação, usando um formato de dados uniformes e protocolos predefinidos. Ele também fornece serviços para a camada de integração;
- Uma camada de informação está processando e integrando dados disponíveis em informações úteis;
- Uma camada funcional inclui descrições formais de funções. Também as funções do ERP pertencem a esta camada;
- Uma camada de negócios inclui o mapeamento do modelo de negócios e links entre diferentes processos de negócios.

A arquitetura RAMI 4.0 está na Alemanha registrada como DIN SPEC 91345 e é, como tal, uma primeira compilação dos elementos tecnológicos essenciais da Indústria 4.0. É percebido como uma pré-condição para a implantação do conceito da Indústria 4.0 na prática e também como um modelo que requer aceitação internacional (ROJKO, 2017).

2.2 PRINCÍPIOS DA INDÚSTRIA 4.0

Segundo Hermmann *et al.* (2016), os princípios que compõem a Indústria 4.0 seriam: interconexão, transparência de informações, decisões descentralizadas e assistência técnica. De acordo com o autor, enquanto que a interconexão e a transparência de informações apresentariam os maiores desafios na implantação da Indústria 4.0 em uma organização, a tomada de decisão descentralizada seria o elemento mais perturbador.

Figura 7 – Design Principles



Fonte: Elaborado pelo Autor
(adaptado de Sung, 2018)

2.2.1 Interconexão

Para Hermmann *et al.* (2016), a interconexão abrange os assuntos de colaboração, padrões e segurança. As tecnologias de comunicação sem fio (*wireless*

ou *WiFi*) desempenham um papel de destaque na crescente interação, pois permitem acesso onipresente à Internet. Através dela, objetos e pessoas interconectados são capazes de compartilhar informações, formando a base de uma colaboração conjunta para alcançar objetivos comuns. Isso seria a base das “fábricas inteligentes” da Indústria 4.0, onde essas estariam aptas a atender às demandas flutuantes do mercado ou pedidos personalizados. Hermmann *et al.* (2016) ressalta que o contraponto estaria na segurança cibernética onde, à medida que o número de participantes na rede aumenta, aumentam os riscos de ataques cibernéticos.

2.2.2 Transparência da Informação

Sobre a transparência da informação, Hermmann *et al.* (2016) indica ser possível criar uma fusão do mundo físico e com virtual, o que viabiliza uma nova maneira de disponibilizar as informações, pois se faz uma cópia virtual do mundo físico. Com isto, as informações sensíveis ao contexto tornam-se indispensáveis para a tomada de decisões apropriadas. O autor comenta que os sistemas com reconhecimento de contexto realizam suas tarefas com base em informações provenientes do mundo virtual e físico. Enquanto as informações do mundo virtual seriam documentos eletrônicos, desenhos, modelos de simulação, etc., as informações do mundo físico seriam, por exemplo, a posição de uma ferramenta no processo produtivo. Com isso, a transparência se daria nos resultados da análise de dados, que seriam incorporados aos sistemas de assistência acessíveis a todos e o autor completa, indicando que para as informações críticas do processo, toda a provisão de informações deve ser em tempo real.

2.2.3 Decisões Descentralizadas

De acordo com Hermmann *et al.* (2016), as decisões descentralizadas se baseiam na interconexão e na transparência das informações, de dentro e de fora de uma organização. A combinação disto permite utilizar informações locais e informações globais, de forma conjunta e ao mesmo tempo para melhorar a tomada de decisões, buscando-se aumentar a produtividade geral. Em caso de exceções, de interferências ou de conflitos, se busca uma outra instância para a tomada da

decisão. O autor afirma que as decisões descentralizadas ficariam a cargo dos atores do meio e estes poderiam monitorar e controlar o mundo físico autonomamente.

2.2.4 Assistência Técnica

Para concluir, Hermmann *et al.* (2016) indica que nas fábricas inteligentes da Indústria 4.0, os seres humanos deixam de atuar como operadores de máquinas e passam a se tornar tomadores de decisão estratégico, além de serem solucionadores flexíveis de problemas. Os sistemas de assistência que ajudarão os humanos na tomada de decisão precisam agregar (e visualizar) informações de forma abrangente, para garantir que a tomada de decisão e a resolução de problemas urgentes possam ocorrer em pouco tempo. O autor ressalta que os seres humanos receberem assistência técnica de robôs seria considerado outro aspecto, pois os robôs são capazes de realizar uma série de tarefas desagradáveis, cansativas ou inseguras. Esse suporte, para ser eficaz, bem-sucedido e seguro teria de contar com a interação dos robôs, de maneira suave e intuitiva e com o treinamento adequado dos humanos.

2.3 TECNOLOGIAS HABILITADORAS DA INDÚSTRIA 4.0

Conforme Sung (2018), a maioria das tecnologias utilizadas na Indústria 4.0 foi desenvolvida há anos e, embora algumas poucas tecnologias ainda não estejam totalmente prontas para um uso em grande escala, muitas estão agora em um ponto em que a disponibilidade, a confiabilidade e o custo são atraentes o suficiente para aplicações industriais. Para Bahrin *et al.* (2016), a combinação de softwares, sensores, processadores e tecnologias de comunicação desempenham um papel enorme para fazer com que as “coisas” tenham o potencial de fornecer informações às organizações e, eventualmente, agrega valor aos processos de fabricação.

Cabe acrescentar, entretanto, segundo Sung (2018), que a quarta revolução industrial refere-se a uma transformação sistêmica que inclui um impacto na sociedade civil, nas estruturas de governança e na identidade humana, além de apenas ramificações econômicas e de fabricação. O termo “quarta revolução industrial” tem sido aplicado para desenvolvimentos tecnológicos significativos ao

longo dos anos e seu significado permanece em debates acadêmicos. A Indústria 4.0, por outro lado, concentra-se especificamente na manufatura no contexto atual e, portanto, estaria separada, por assim dizer, da “quarta revolução industrial” (HERMANN *et al.*, 2016).

Conforme Sung (2018), a transformação para a Indústria 4.0 exigirá investimentos em novas tecnologias e a decisão (de tais transformações) deverá ser tomada em nível da presidência da organização (CEO). Outro ponto que o autor chama a atenção diz respeito aos empregos com o advento da Indústria 4.0, pois é prudente imaginar que os trabalhadores precisarão adquirir habilidades diferentes ou até totalmente novas para esta Indústria e isto pode gerar mudanças nos empregos e suas taxas, pois assim como cria novos empregos, pode também “alienar” um considerável número de trabalhadores, principalmente, aqueles com mais idade. O autor conclui, então, que poderá ser necessário gerar/introduzir sistemas educacionais novos e diferentes dos atuais, ao menos para amenizar os problemas, referentes aos trabalhadores mais novos.

A Indústria 4.0, de acordo com Bahrin *et al.* (2016), tem como objetivo construir uma plataforma de fabricação aberta e inteligente para aplicativos de informações em rede industrial. A intenção seria permitir que empresas de manufatura, de todos os tamanhos, obtivessem acesso relativamente fácil às tecnologias que pudessem ser personalizadas para atender às suas necessidades, permitindo que se contemple o conceito de “fábrica inteligente” (“*smart factory*”), através da fusão dos mundos virtual e físico.

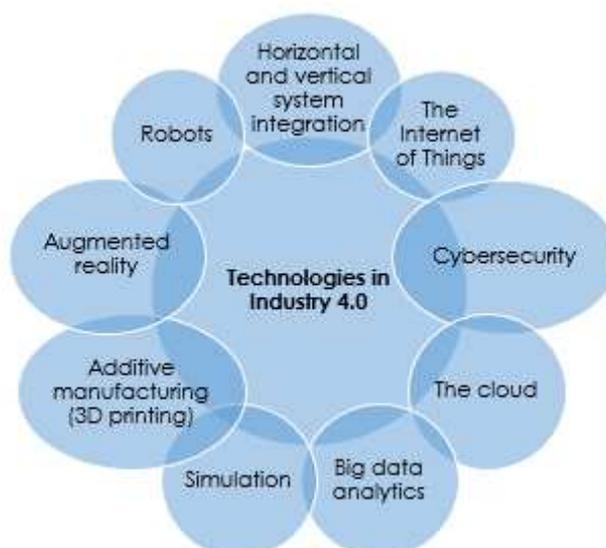
Conforme Hermann *et al.* (2015), a Indústria 4.0 possui seis princípios de design que viriam a apoiar as organizações na identificação de projetos pilotos para a implementação de seus conceitos e práticas. Estes seriam: interoperabilidade, virtualização, descentralização, capacidade em tempo real, orientação a serviços e modularidade. De acordo com Hermann *et al.* (2015), essas teriam, de forma resumida, o seguinte significado:

- A Interoperabilidade refere-se à conexão entre vários sistemas entre si e com dispositivos.
- A Virtualização diz respeito a permitir a criação de objetos e de processos de forma virtual, antes de criar ou aplicar no mundo real, permitindo também a realização de simulações.

- A Descentralização está voltada a possibilitar que outros componentes do processo possam tomar decisões a respeito do seu micro processo, podendo delegar esta atividade para níveis superiores, quando houver pontos de falha.
- A Capacidade de tempo real (*real-time*) engloba a prática de coleta de informações no momento em que são geradas.
- A Orientação a Serviços considera a Internet como “Internet de Serviços” (*IoS*), onde serviços podem ser instanciados para serem utilizados, sem pertencer àquele processo ou àquela empresa.
- A Modularidade, por sua vez, contempla a habilidade de tratar sistemas como módulos, facilitando a adaptação dos mesmos às necessidades iminentes.

Para Bahrin *et al.* (2016), a interconexão de seres humanos, de objetos e de sistemas leva a sistemas dinâmicos, em tempo real, otimizados e auto-organizados de criação de valor entre empresas, que são avaliados e otimizados usando critérios como custos, disponibilidade e eficiência de recursos. Para tornar a Indústria 4.0 possível, algumas iniciativas tecnológicas precisam estar presentes.

Figura 8 – Tecnologias Relacionadas à Indústria 4.0



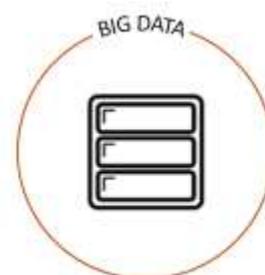
Fonte: BARINH *et al.* (2016)

Assim como Bahrin *et al.* (2016), a maioria dos autores relatam nove tecnologias: *Big Data* e *Data Analytics*, robôs autônomos, simulação, integração de

sistemas (vertical e horizontal), internet das coisas, segurança cibernética, computação em nuvem, manufatura aditiva (impressão em 3D) e realidade aumentada.

2.3.1 Big Data e Data Analytics

De acordo com DUAN *et al.* (2019), *Big Data* é um termo genérico para a técnica de processar uma grande quantidade de dados ou informações, incluindo a captura desses dados, a transferência, o armazenamento, a curadoria, a pesquisa, a análise, a visualização, a segurança e a privacidade.



O tamanho de base de dados de *Big Data* é um valor em constante mudança: em 2005 se falava em *Terabytes*, já em 2010, em *Petabytes* e a partir de 2017, por exemplo, em *Exabytes* ou *Zettabytes*. Esse tamanho é definido normalmente pela quantidade de dados, além de um processamento computacional executado dentro de um período de tempo tolerável.

Quadro 1 – Comparação de bytes

Métrica	Valor	Bytes
Byte (B)	1	1
Kilobyte (KB)	1.024^1	1.024
Megabyte (MB)	1.024^2	1.048.576
Gigabyte (GB)	1.024^3	1.073.741.824
Terabyte (TB)	1.024^4	1.099.511.627.776
Petabyte (PB)	1.024^5	1.125.899.906.842.624
Exabyte (EB)	1.024^6	1.152.921.504.606.846.976
Zettabyte (ZB)	1.024^7	1.180.591.620.717.411.303.424

Fonte: Elaborado pelo autor

Segundo DUAN *et al.* (2019), as características que mais são usadas no *Big Data* são volume, velocidade e variedade. O volume está relacionado à quantidade de dados em uso; a velocidade corresponde à rapidez do processamento para obter informações; e a variedade refere-se aos tipos de dados diferentes que estão envolvidos no processamento. DUAN *et al.* (2019) complementa, indicando que o volume, a velocidade e a variedade são importantes, pois:

- O volume está relacionado a uma estimativa mais confiável, quando utilizados mais dados;

- A velocidade diz respeito ao processamento dos dados que são gerados continuamente, a partir de interação social, monitor de sensor e atividades de negócios, por exemplo, e poderia ocorrer de alguns dados não serem processados, caso essa velocidade não suporte a velocidade e geração; e
- A variedade refere-se às diferentes perspectivas que permitem a captura de padrões úteis de forma mais facilitada.

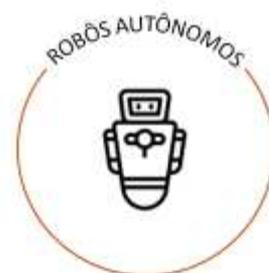
As técnicas de análise de dados (*Data Analytics*) são muito importantes nesse contexto de *Big Data*, pois, de acordo com DUAN *et al.* (2019), a análise de dados consiste em como obter informações sobre os dados preparados pelas infraestruturas de sistema, através dos métodos analíticos conhecidos como análise descritiva, análise preditiva e análise prescritiva. A primeira refere-se a uma descrição do que aconteceu no passado, enquanto a segunda fornece uma previsão irá acontecer no futuro (com base nas ocorrências passadas) e a última indica como estar preparado para o futuro com base nas previsões da segunda.

Segundo Hermann *et al.*, (2015), as análises e a gestão de grandes quantidades de dados podem permitir maior performance de otimização de processos industriais, melhorando o consumo de energia e qualidade de produção nas fábricas.

2.3.2 Robôs Autônomos

Nos últimos tempos, a necessidade de maior produtividade, bem como de flexibilidade na produção, vem sendo crescentes e isto tem gerado, também crescente, o interesse pela aplicação de robôs no chamado chão de fábrica da produção (BARBOSA *et al.* 2019). Diante dos equipamentos tradicionais, os robôs industriais têm várias vantagens, como flexibilidade, mobilidade, pequena área de instalação e maior espaço de trabalho.

Barbosa *et al.* (2019) complementa que, além disso, o custo total de um robô pode ser menor, em até 30%, se comparado com alguns destes equipamentos tradicionais, o que torna viável a aquisição para melhorar a competitividade das organizações e com isso, observa-se um aumento no fornecimento de robôs em todo o mundo.

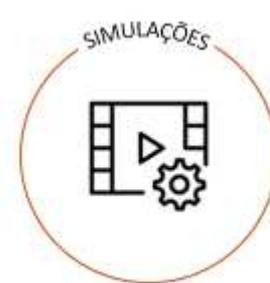


Bahrin *et al.* (2016), reforça que o número de robôs industriais polivalentes desenvolvidos por participantes da Indústria 4.0 na Europa, quase dobrou desde 2004. Desta forma, o autor adiciona que os robôs desempenham um papel importante na indústria manufatureira moderna e que, como uma face essencial da Indústria 4.0, são os métodos de produção autônomos com robôs, que podem concluir tarefas de maneira mais inteligente, mais segura, mais flexível, mais versátil e mais colaborativa. Portanto, não existiria a necessidade de isolar a área de trabalho, o que permitiria o uso de espaços mais justos e, desta forma, seria possível um melhor aproveitamento desses e um aumento da produtividade nas indústrias.

Bahrin *et al.* (2016) finaliza, indicando que os robôs industriais estão evoluindo com a inovação tecnológica para facilitar toda a indústria e prevê que os robôs inteligentes podem substituir os seres humanos em fluxos de trabalho estruturados, principalmente, em áreas fechadas, pois eles podem ser controlados de forma remota e podem atuar na produção, na logística, nas tarefas de escritório, etc., permitindo uma operação de 24 horas por dia durante toda a semana.

2.3.3 Simulação

Ullah (2019) acredita que a realização de tarefas intelectuais de alto nível, como compreensão (por que está acontecendo), previsão (o que acontecerá) e adaptação (o que deve ser feito) fazem parte da Indústria 4.0 e por isso é necessário que os sistemas embarcados precisariam de “gêmeos digitais”, que são abstrações virtuais computacionais de objetos, processos e fenômenos subjacentes à fabricação.



Segundo Ullah (2019), para realizar as tarefas de alto nível, acima mencionadas, estas abstrações capturariam informações relacionadas à geometria e topologia do produto, ferramentas em uso, máquinas em execução, programação e balanceamento de linha de produção, etc., enquanto a produção ocorre.

Strassburger (2019) indica que o planejamento de fábricas inteligentes, independente do paradigma de controle escolhido, requer uma simulação inicial, de seus componentes e de sua interação, e relata que para investigar o comportamento

dinâmico das organizações, os “gêmeos digitais” devem ter propriedades tipicamente associadas aos modelos de simulação.

O autor complementa, indicando que o modelo de simulação deve ajustar seu estado de acordo com as atualizações da situação real que está sendo simulada e executar suas tarefas de simulação entre as atualizações, mas atenta para a situação dos sistemas de simulação de fluxo de material, onde os recursos geralmente são modelados como entidades passivas. Isso se aplicaria a muitos sistemas que seguem a orientação para transações ou processos, porém, nos conceitos da Indústria 4.0, os recursos devem exibir seu próprio comportamento “inteligente”, com grande flexibilidade na modelagem de entidades e recursos, como objetos ativos ou passivos, bem como com qualquer combinação dos mesmos.

2.3.4 Integração de Sistemas (Horizontais e Verticais)

Bahrin *et al.* (2016) indica que, na Indústria 4.0, a integração de sistemas horizontal e vertical entre empresas, departamentos, funções e recursos precisa ser mais coesa, na proporção em que a integração entre empresas evoluírem e permitirem cadeias de valor, verdadeiramente, automatizadas.



Segundo o autor, a IoT industrial permite enriquecer com dispositivos e com computação incorporada, assim como será interconectada usando tecnologias padrão, permitindo que os dispositivos de campo se comuniquem e interajam entre si e com controladores centralizados, o que possibilita a descentralização, tanto da análise, quanto da tomada de decisões e permite respostas em tempo real.

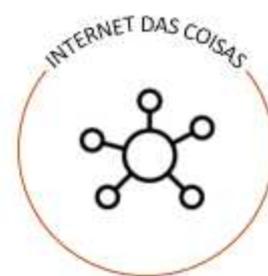
A integração de sistemas na Indústria 4.0, conforme Frank *et al.* (2019), considera a troca de informações e a integração da cadeia de suprimentos, sincronizando a produção com os fornecedores para reduzir prazos e distorções de informações que produzem efeitos negativos. Essa integração, segundo o autor, viria a permitir que as empresas possam combinar recursos em manufatura colaborativa, possibilitando que as organizações se concentrem nas suas principais competências, bem como compartilhem recursos para inovação de produtos em plataformas industriais, além de poder combinar esforços voltados ao

desenvolvimento de produtos e serviços complementares, com maior valor agregado.

Frank *et al.* (2019), salienta que a integração vertical da fábrica compreende sistemas avançados que integram os níveis hierárquicos da organização, desde o chão de fábrica até os níveis mais altos da gestão, possibilitando que as ações de tomada de decisão tenham uma menor dependência da intervenção humana e que, para alcançar a integração vertical, o primeiro passo seria a digitalização de todos os objetos e parâmetros físicos com sensores, atuadores e controladores lógicos programáveis.

2.3.5 Internet das Coisas (IoT)

Usando microcontroladores com eficiência energética, transceptores de rádio de baixa potência e sensores, Zikria *et al.* (2018) afirma que, além de atuadores nos chamados objetos inteligentes, se torna possível conectar o mundo cibernético digital ao mundo físico. O autor coloca que, na visão da Internet das Coisas (IoT), esses objetos inteligentes devem ser perfeitamente integrados à Internet tradicional, mesmo que esses objetos inteligentes sejam normalmente restritos, em termos de recursos de computação, de memória e de energia. O autor ressalta que, por esses motivos de restrição, os sistemas projetados, as interfaces de programação, as estruturas e o *middleware* devem ser construídos levando em consideração essas características.



A IoT atual tem o objetivo de integrar os dispositivos de comunicação, geralmente limitados em seus recursos e frequentemente operados por bateria, na Internet global. Uma extremidade dela é composta por esses dispositivos, que interagem diretamente com o mundo físico e a outra extremidade é composta por servidores que atuam, fornecendo uma interface de gerenciamento ou um banco de dados para armazenar as informações geradas pelo dispositivo (ZIKRIA *et al.*, 2018). O autor complementa que na automação de fábrica, por exemplo, o acesso direto a dispositivos físicos permite tempos de reação mais curtos e coleta de informações mais detalhadas sobre o sistema e que, portanto, os recursos passariam a poder ser usados com mais eficiência.

Belli *et al.* (2019) relata algumas vantagens e melhorias significativas quando do uso da IoT para empresas de manufatura, por exemplo, e que estas estariam relacionadas a: (i) redução de custos; (ii) melhor controle de qualidade dos produtos; (iii) detecção e reação em tempo real a problemas da cadeia de suprimentos; (iv) redução significativa do tempo gasto na atividade de planejamento; e (v) otimização do emprego de recursos, graças à minimização de “tempos improdutivos” de instalação nas linhas de produção.

2.3.6 Segurança Cibernética (*Cyber Security*)

De acordo com Lezzi *et al.* (2018), as questões de segurança cibernética representam um desafio complexo para todas as empresas que se comprometem com o paradigma da Indústria 4.0. Ela relata que, por outro lado, a caracterização do conceito de segurança cibernética nos contextos da Indústria 4.0 provou ser um tópico emergente e relevante na literatura recente.



A autora complementa que, com o aumento das organizações que se voltam para os conceitos da Indústria 4.0 com o objetivo de melhorar sua produtividade e competitividade, através das conexões (internas e externas), as questões de segurança cibernética representam um dos desafios mais relevantes a serem enfrentados.

Para Lezzi *et al.* (2018), no contexto da Indústria 4.0, a segurança cibernética desempenha um papel de liderança na prevenção da perda de competitividade das empresas, pois atualmente, equipamentos industriais críticos são vulneráveis a ataques cibernéticos que podem afetar o modelo de negócio da organização. Também, um dos mais críticos pontos de vulnerabilidade seria a falta de padrões precisos de segurança que as empresas podem se basear, bem como a relativa limitação das habilidades gerenciais e técnicas, necessárias para implementá-los.

Karampidis *et al.* (2019) expõe que, no contexto da Indústria 4.0, as instalações industriais estão conectadas às redes de dados corporativas e são, frequentemente, administradas de forma remota. Dessa forma, essas novas tecnologias deixaram o mundo da automação industrial exposto a novas ameaças, pois a grande parte dos sistemas industriais que ainda estão ativos e que foram

projetados para operar por anos, foram desenvolvidos sem considerar, de forma completa, à segurança cibernética.

O autor acrescenta a afirmação de que o mercado de trabalho moderno necessita profissionais capazes de identificar ameaças à segurança e responder adequadamente, tanto na prevenção, quanto quando um ataque é identificado. Ele alerta ainda que, o treinamento de pessoal nessas habilidades pode ser caro, pois profissionais experientes e qualificados são necessários para um ambiente tecnológico em constante mudança.

2.3.7 Computação em Nuvem (*Cloud Computing*)

Aceto *et al.* (2020) considera que a *Cloud Computing* é um paradigma que permite a locação de recursos de computação (potência computacional, armazenamento e recursos de rede relacionados) em tempo real, com interação mínima com o provedor e, portanto, simplifica grandemente a operação, pois não requer um dimensionamento prévio dos recursos necessários, facilitando o faturamento de pagamento de acordo com o uso a curto prazo, sem compromisso prévio do usuário.



Outro ponto que o autor destaca é o aproveitamento dos recursos, aparentemente infinitos, sob demanda e permitem a utilização ou o fornecimento de serviços: os mais comuns são caracterizados como infraestrutura, plataforma ou software como serviço (IaaS, PaaS e SaaS, respectivamente). O autor informa também que a utilização dos serviços em nuvem é alimentada por uma tendência emergente que se originou na última década: ou seja, a extensão de funcionalidades incorporadas em dispositivos de campo que lhes conferiram mais inteligência e flexibilidade, permitindo mover algumas funções para a computação em nuvem, permitindo assim ganhos de escalabilidade e de capacidade de resposta e, até, ganhos econômicos.

Aceto *et al.* (2020) lembra, entretanto, que a computação em nuvem possui certas limitações quanto à comunicação entre o dispositivo final e o *datacenter* que hospeda os serviços, pois a latência de rede, a largura de banda, o custo da conexão (e sua disponibilidade), podem contribuir para limitar o uso dos recursos e sistemas hospedados.

O'Donovan *et al.* (2019) ressalta que, apesar dos sistemas ciber-físicos serem umas das tecnologias capacitadoras de Indústria 4.0, combinando a engenharia industrial e as tecnologias emergentes, as arquiteturas e as tecnologias necessárias para conectar e estender as operações físicas da fábrica ao mundo cibernético não foram totalmente resolvidas. O autor reconhece que a computação em nuvem e as arquiteturas orientadas a serviços demonstram forte capacidade de aplicação, porém as soluções desenvolvidas podem ignorar as preocupações de engenharia, de controle e de *design* da Indústria 4.0, relacionadas ao desempenho em tempo real, confiabilidade ou resiliência, pois acredita que estas implementações são, geralmente, criadas usando a perspectiva de tecnologia da informação e não de engenharia.

Para o problema de escalabilidade, O'Donovan *et al.* (2019) elenca alguns outros conceitos, topologias e implementações que estão se destacando para solucionar certos pontos ainda em aberto da computação em nuvem: um deles é a “*Fog Computing*”, que pode fornecer maior consistência, confiabilidade, privacidade e segurança para aplicativos de engenharia da Indústria 4.0, com redução de latência, redução de falhas de comunicação e aumento de confiabilidade.

2.3.8 Manufatura Aditiva

De acordo com Srinivasan *et al.* (2018), o surgimento da manufatura digital cria novas oportunidades para a fabricação de produtos altamente personalizados, especialmente quando é combinado com métodos de fabricação convencionais, porém esta combinação necessita de sistemas que possam gerenciar o resultado do processo distribuído de fabricação. O autor indica que o controle inteligente de produção deve ser capaz de avaliar e interagir com o ambiente de produção e adaptar a produção de forma adequada, de forma a coordenar diretamente os agentes de design, os agentes de impressão 3D e outros agentes do sistema de fabricação convencional para agendar, atribuir e executar tarefas de forma independente.

Srinivasan *et al.* (2018) complementa que a personalização na fabricação, especialmente em massa, permanece com grande importância desde sua primeira aparição e suas tendências recentes geram interesse na comunidade acadêmica e



profissional, pois essas se enquadram na categoria das tecnologias avançadas de manufatura necessárias para a personalização em massa, principalmente, devido à flexibilidade e à velocidade.

Haleem *et al.* (2019) indica que a manufatura aditiva é uma tecnologia muito importante e que se tornou um dos principais componentes de inovação e desenvolvimento de produtos, pois essa tecnologia disruptiva pode atender a diferentes desafios de fabricação e ajudar na produção de produtos inovadores. Ele explica ainda, que nesse domínio tecnológico, os dados estão na forma de um arquivo 3D digital e são usados para convertê-los em um objeto físico 3D, usando diferentes tecnologias de fabricação aditiva, conforme requisitos específicos. O autor indica que estas tecnologias teriam 13 aplicações, com ações importantes:

- Customização: diz respeito ao produto personalizado ou customizado, que permite atender à expectativa de cada cliente, com foco na inovação de produtos, melhorando aspectos como a eficiência e o ciclo de vida do produto, por exemplo.
- Projeto e Desenvolvimento: refere-se ao projeto do produto e seu rápido desenvolvimento, possibilitando o exame dos riscos em potencial, antes do seu lançamento no mercado, e melhorando seu design através de produção de protótipos.
- Protótipo: consiste em modelos fáceis de fabricar, com as entradas preparadas, através de diferentes softwares de design, permitindo trazer o produto rapidamente ao mercado e, inclusive, validar seus conceitos ou processos, antes de iniciar uma linha de produção.
- Inventário Virtual: possibilita o armazenamento digital do projeto do produto, otimizando custos da cadeia de suprimentos, melhorando seu sistema inteligente.
- Redução de Desperdício: permite a minimização do desperdício, pois ocorre a reciclagem do material de entrada, permitindo, assim, a redução do custo final do produto.
- Velocidade: facilita a fabricação em menor tempo de produtos personalizados, bem como de modelos conceituais de produtos.
- Flexibilidade: torna a Indústria 4.0 mais popular, melhorando o desempenho geral de produção.

- Redução de Riscos: permite que os produtos possam ser fabricados em menor tempo, permitindo rapidamente a realização de testes, antes da produção completa.
- Satisfação do Cliente: compreende atender as necessidades dos clientes em menor tempo, melhorando inclusive a reputação do produto, pois o potencial de atendimento dos requisitos que o cliente precisa aumenta consideravelmente.
- Precisão: aplica-se à impressão de materiais metálicos, orgânicos e biocompatíveis com precisão superior, podendo utilizar material em pó para melhorar a precisão do produto final.
- Produtividade: aumenta a produtividade convertendo a entrada na saída necessária, com menos consumo de material, energia e força de trabalho, reduzindo o erro durante o processo de fabricação, mesmo de produtos complexos.
- Maior Rentabilidade: aumenta a lucratividade durante a pesquisa e desenvolvimento de produtos, ferramentas e dispositivos, oferecendo maior valor agregado aos fabricantes e melhorando a lucratividade para produtos e serviços com melhor utilização das instalações.
- Melhora do Desempenho da Cadeia de Suprimentos: reduz os custos, através da capacidade de conectar-se à rede e informar os processos de planejamento e estoque, permitindo a entrega direta ao cliente, quando necessário e conveniente.

2.3.9 Realidade Aumentada

Masood *et al.* (2019) indica que a Realidade Aumentada Industrial seria parte integrante dos conceitos da Indústria 4.0, pois permite que os trabalhadores acessem informações digitais e sobreponham essas informações ao mundo físico. O autor indica também que, embora não seja amplamente adotado em algumas aplicações, a taxa de crescimento anual composta do mercado industrial de realidade aumentada é projetada para crescer rapidamente.



De acordo com Ceruti *et al.* (2019), a AR (*Augmented Reality*) pode ser definida como uma técnica de computação gráfica, na qual símbolos virtuais são sobrepostos a uma imagem real do mundo externo. Conforme o autor, a AR seria uma evolução da realidade virtual, onde, nesta última, não há conexão entre o mundo real e o usuário, enquanto que na AR haveria um contato mais próximo entre esses dois, pois apenas modelos, escritos ou símbolos CAD são adicionados à cena, ou seja, os objetos virtuais seriam vinculados ao mundo real. O autor afirma ainda que a AR faz uso de uma técnica em tempo real de modo que, ao mover o ponto de vista, os símbolos virtuais mudam de posição na saída onde é demonstrada a visualização. Ele complementa que as tecnologias de AR e Manufatura Aditiva, poderiam suportar tarefas de manutenção e de produção, respectivamente.

Masood *et al.* (2019) coloca que a AR é uma das tecnologias essenciais para habilitar os conceitos da Indústria 4.0, pois ela permite, por exemplo, que os funcionários “atravessem” a lacuna entre o mundo físico e o ambiente digital, cada vez mais importante. Porém a implementação de AR para aplicações industriais é uma tarefa desafiadora. O autor chama a atenção para experiências que indicaram que, em geral, as tarefas suportadas pela AR são mais eficientes em termos de tempo de conclusão e taxas de erro, conforme a complexidade e a natureza da tarefa.

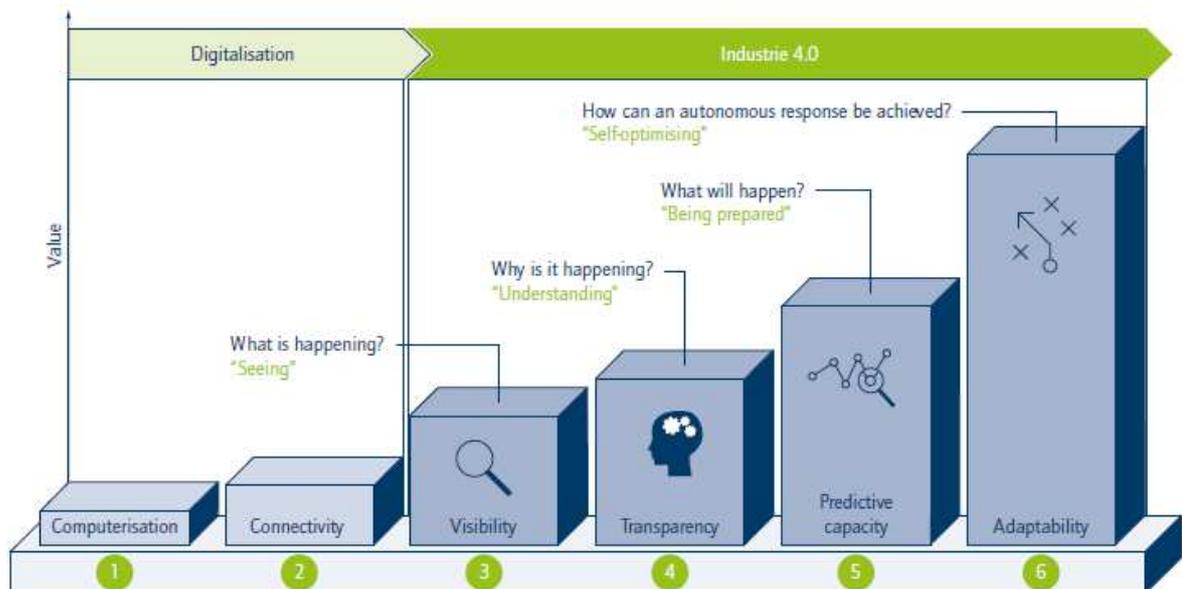
2.4 A MATURIDADE PARA A INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0 envolve, segundo Schuh *et al.* (2017), de certa forma, a atualização significativa das competências e capacidades digitais das empresas, gerando alterações em grandes partes da organização. Como essa transformação é uma tarefa altamente complexa, ela poderá levar um bom período de tempo, podendo transcorrer alguns anos, inclusive.

O autor complementa que essa ação deve ser planejada e implementada de forma a garantir que impactos positivos na lucratividade (crescimento e eficiência) ocorram em vários momentos, ao longo da transformação e, assim, possibilite que os benefícios sejam visíveis em qualquer ponto do processo de transformação, apoiando seu sucesso geral, permitindo vitórias rápidas e direcionando para o objetivo geral de transformação.

Schuh *et al.* (2017), entretanto, alerta que esta estratégia requer uma abordagem passo a passo para o desenvolvimento dos conceitos e das práticas da Indústria 4.0 na empresa e, por isso, desenvolveu um processo de aprendizado e ações, que apoia as empresas durante sua transformação em organizações e digitais. Para ele, o processo de transformação é uma jornada contínua de várias etapas sucessivas que são executadas de forma incremental e podem não ser perfeitamente sincronizadas entre negócios, plantas, linhas e células. Desta forma, caberia a cada organização decidir qual o estágio de desenvolvimento representaria o melhor equilíbrio, entre custos e benefícios, para si e, assim, adotar o estado-alvo para o final do seu processo de transformação.

Figura 9 – Índice de Maturidade: Caminho do Desenvolvimento



Fonte: Schuh *et al.* (2017)

(Acatech, with courtesy from FIR e. V. at RWTH Aachen University).

O modelo desenvolvido por Schuh *et al.* (2017), possui seis etapas, divididas em duas grandes fases: (i) a primeira fase, que corresponde à empresa digitalizada, seria contemplada pelas duas primeiras etapas; (ii) e a segunda fase englobaria as 4 etapas restantes. O autor ressalta que, apesar da digitalização não fazer parte dos conceitos, ela é requisito básico e fundamental para a implementação da Indústria 4.0. Ele complementa então, que nas quatro etapas seguintes, que compõem a Indústria 4.0, a informatização e a conectividade são essenciais para a sua implementação.

2.4.1 Etapa 1: Informatização

Conforme Schuh *et al.* (2017), a informatização fornece a base para a digitalização, pois consiste no uso de diferentes tecnologias da informação e se encontra bem avançada na maioria das empresas, oferecendo importantes benefícios, como fabricação mais barata, padrões de qualidade mais altos e maior grau de precisão para produtos modernos. Porém, nesta etapa, ela atua de forma isolada, sem uma interface digital que as conecte com o restante do universo organizacional, tornando mais difícil, por exemplo, determinar quais problemas de qualidade ocorreram nos respectivos pedidos.

2.4.2 Etapa 2: Conectividade

Nesta etapa, Schuh *et al.* (2017) explica que a tecnologia, anteriormente isolada, passa a ter componentes conectados, isto é, os aplicativos de negócios amplamente utilizados, se encontram conectados, refletindo os principais processos de negócios da organização e, portanto, os sistemas operacionais apresentam conectividade e interoperabilidade, mas em camadas distintas da tecnologia.

O autor expõe que, com os protocolos de comunicação existentes, se torna mais simples e prática a conexão entre os sistemas de gestão com o “chão de fábrica”, podendo-se fazer uso dos conceitos da IoT para isto, porém nesta etapa isto ainda não é uma realidade plena. O autor coloca também que neste ponto as informações podem ser transmitidas em tempo real para os demais sistemas que farão uso delas para as mais diferentes finalidades. Observa-se, portanto, que para uma considerável quantidade de informação trafegar e, alguns casos, em tempo real, uma infraestrutura robusta de internet passa a ser um ponto relevante e, por vezes, crucial para o adequado funcionamento de determinados aspectos da Indústria 4.0 e de alguns de seus conceitos.

2.4.3 Etapa 3: Visibilidade

A partir desta etapa, em que se inicia a aplicação dos primeiros conceitos da Indústria 4.0, Schuh *et al.* (2017) coloca que é possível a obtenção de informações do começo ao fim dos processos, através da captura de dados em vários pontos, e

em tempo real, permitindo manter um modelo digital atualizado, denominado de “sombra digital da empresa”, possibilitando que a tomada de decisão seja realizada a partir de dados reais e atuais.

O autor ressalta, entretanto, que os dados precisam ser direcionados para um ponto centralizados, a fim de serem confrontados entre si para permitir a visão correta e verdadeira das situações. Se faz necessário também, que o conjunto de dados coletados sejam abundantes (e não escassos), assim a captura abrangente de dados em toda a empresa é essencial para o fornecimento de informações relevantes sobre a operação como um todo.

Schuh *et al.* (2017) alerta que, em vez de apenas coletar dados para permitir uma análise específica ou oferecer suporte a uma operação única, deve ser criado um modelo atualizado de informações sobre toda a empresa, que não esteja vinculado a análises de dados individuais, pois a combinação de fontes de dados existentes, com, por exemplo, sensores no “chão de fábrica” podem oferecer benefícios significativos, bem como as abordagens e aplicativos modulares podem ajudar a criar uma “única fonte de verdade”.

2.4.4 Etapa 4: Transparência

Na etapa de transparência, Schuh *et al.* (2017) informa que os dados são utilizados para produzir informações correlacionadas, gerando conhecimento por meio de análises de causa raiz, através do vínculo semântico e da agregação destes dados, criando informações contextualizadas do processo, necessárias para apoiar a tomada de decisões complexas e de forma rápida.

O autor lembra, então, que as novas tecnologias, que suportam a análise de grandes volumes de dados, podem ser extremamente úteis nesse sentido, como, por exemplo, as tecnologias de *Big Data* e *Data Analytics*, que são usadas para processar e combinar uma grande massa de dados que não poderiam ser processados por rotinas de processamento convencionais de análise de negócios, possibilitando que as informações sejam relacionadas a eventos e passem a ter dependência mútua, podendo gerar eventos complexos que refletem condições ou situações e, assim, resultar em ações preditivas.

2.4.5 Etapa 5: Capacidade Preditiva

Schuh *et al.* (2017) explica que a capacidade preditiva é o próximo estágio do nível de maturidade das organizações, em relação a Indústria 4.0, ou seja, quando a empresa consegue simular diferentes cenários futuros (e identificar os mais prováveis), representando uma variedade de possibilidades que podem ser avaliadas em termos da probabilidade de ocorrência. Isso torna possível que as organizações consigam antecipar desenvolvimentos futuros e possam tomar decisões ou implementar medidas apropriadas para determinadas situações em tempo hábil, limitando impactos negativos ou reduzindo o número de eventos inesperados.

O autor relata que a capacidade preditiva de uma empresa depende do trabalho de base realizado anteriormente, que deriva de uma “sombra digital” adequadamente construída, combinada com o conhecimento das interações relevantes, e que ajuda a garantir que as previsões e as recomendações baseadas nelas sejam de alto padrão e consistência.

2.4.6 Etapa 6: Adaptabilidade

Conforme indicado por Schuh *et al.* (2017), a capacidade preditiva, é um requisito fundamental, tanto para as ações automatizadas, quanto para a tomada de decisão automatizada. Sendo assim, a adaptação contínua permite que uma organização passe a delegar certas decisões aos sistemas de tecnologia e assim se adaptar, o mais rápido possível, a um ambiente de negócios em constantes mudanças.

De acordo com o autor, o nível de adaptabilidade corresponde ao grau de complexidade das decisões e do custo-benefício, onde deve ser avaliado, tanto os processos individuais, quanto as operações repetíveis para serem executadas de autônoma e, com isto validar as opções, frente aos riscos de automatizar aprovações e reconhecimentos para clientes e fornecedores, por exemplo.

Segundo o autor, o objetivo da adaptabilidade seria considerado “alcançado” quando uma organização se torna capacitada a utilizar dos dados da “sombra digital” para tomar as decisões que tenham os melhores resultados possíveis, no menor

tempo necessário e implementar as medidas correspondentes automaticamente, sem assistência humana.

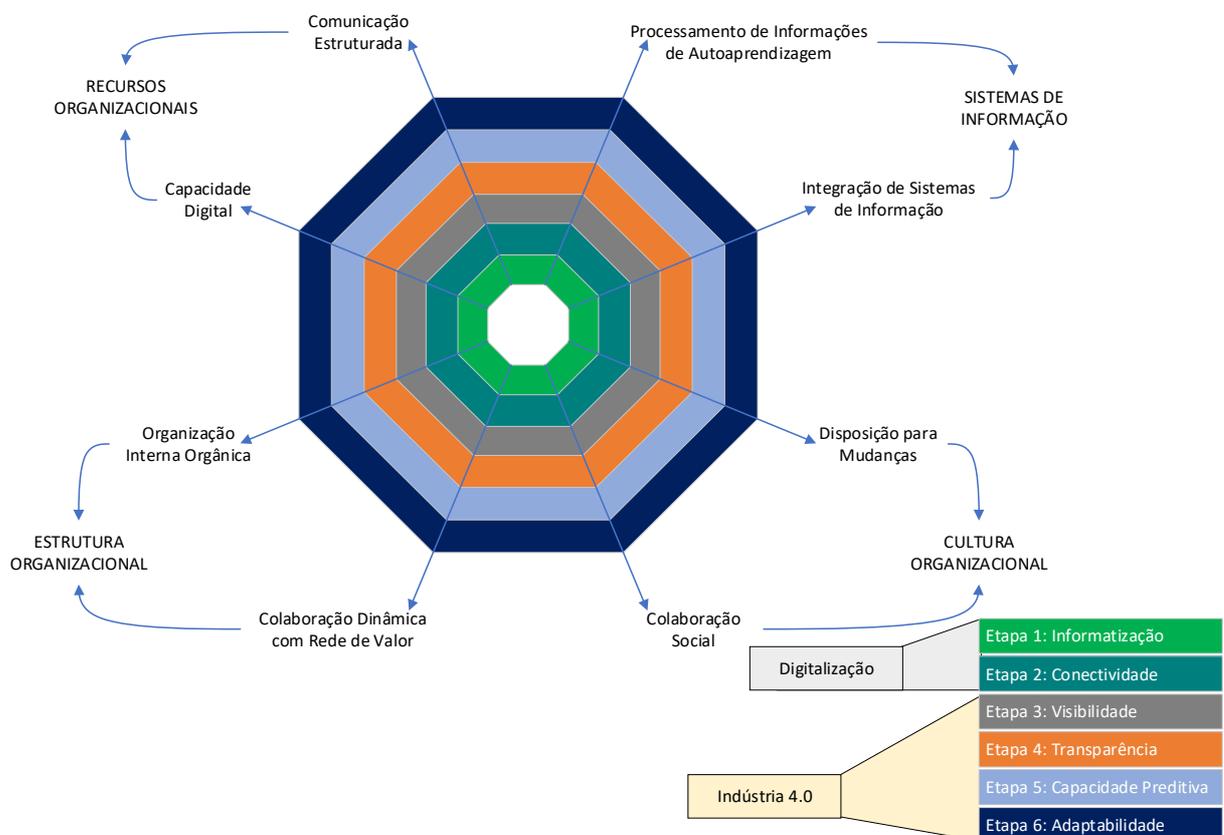
2.5 ESTRUTURA CORPORATIVA PARA A INDÚSTRIA 4.0

Ainda de acordo com Schuh *et al.* (2017), a estrutura corporativa precisa estar preparada para os novos padrões em relação a alguns aspectos e, portanto, boa parte das organizações teriam que se alterar, referente a estes aspectos, para poder acomodar os conceitos da Indústria 4.0.

Conforme indica o autor, a compreensão dos pontos corresponde aos:

- Recursos Organizacionais;
- Estrutura Organizacional;
- Sistemas de Informação; e
- Cultura Organizacional.

Figura 10 – Estrutura Corporativa para a Indústria 4.0



Fonte: Elaborado pelo Autor
(adaptado de Schuh *et al.*, 2017).

Para cada uma das quatro áreas estruturais, Schuh *et al.* (2017), identifica dois princípios orientadores e as capacidades necessárias, voltando os recursos para a realização de vários estágios de desenvolvimento, que serão a base para as organizações se transformarem em entidades mais ágeis.

2.5.1 Recursos Organizacionais

De acordo com Schuh *et al.* (2017), os recursos organizacionais referem-se aos recursos tangíveis da empresa, ou seja, força de trabalho (pessoas), máquinas e equipamentos, ferramentas, materiais, etc. O autor coloca que, assim como a força de trabalho deve possuir as competências necessárias para aproveitar o máximo das informações capturadas, os recursos técnicos devem ser corretamente configurados para ajudar na redução da latência de dados e ações, facilitando a implementação da interface entre o mundo físico e o mundo digital, o que facilita o processo de aprendizado para aumentar a agilidade da empresa.

Ele destaca os dois princípios orientadores desta área:

- 1) **Capacidade Digital**: refere-se à capacidade de gerar e interpretar dados e informações para que se possa tomar as decisões. Esta ação refere-se, tanto às pessoas na organização e aos respectivos treinamentos necessários, quanto às máquinas e aos equipamentos, bem como sua atualização para estarem aptas a esta realização.
Para isto, é preciso “prover o aumento do conhecimento e das competências digitais”; permitir a “aquisição automatizada de dados através de sensores e atuadores”; e possibilitar o “pré-processamento descentralizado das informações vindas dos sensores”.
- 2) **Comunicação Estruturada**: diz respeito ao uso da tecnologia de comunicação para criar redes temporárias que permitam aos recursos interagirem entre si. Esse princípio prima pela “comunicação eficiente”, onde defende que os documentos de comunicação devem ficar centralizados para evitar redundância, e que a comunicação deve rastreável, através de chaves de acesso digitais, para permitir aprovações de forma ágil e informar as partes interessadas sobre eventos que lhes dizem respeito.

Ele prima também pela “interface baseada em tarefas”, onde as comunicações entre *hardwares* desempenham o papel de permitir que diferentes tipos de recursos tecnológicos interajam.

2.5.2 Estrutura Organizacional

No modelo de Schuh *et al.* (2017), a estrutura organizacional diz respeito à organização interna da empresa, ou seja, à estrutura e aos processos operacionais, bem como a sua posição na rede de valor, onde estabelece regras obrigatórias que orientam a colaboração, tanto interna, quanto externamente. O autor ressalta que esta área organizacional, juntamente com a cultura são mutuamente dependentes e devem ser coerentes entre si. Ele destaca os dois princípios orientadores desta área:

- 1) **Organização Interna Orgânica**: compreende a antítese da organização mecanicista, isto é, os colaboradores possuem menos restrições e mais responsabilidades individuais. Assim, essa organização é particularmente adequada para empresas com forças de trabalho mais qualificadas, que existem em um ambiente dinâmico.

Esse princípio se baseia em “comunidades flexíveis”, onde os recursos são configurados dinamicamente, independente do organograma da empresa, trabalhando com orientação a tarefas ou objetivos. Consiste também em “gestão de direito de decisão”, onde as decisões poderão ser tomadas de forma descentralizada, visando maximizar a eficácia e a eficiência.

Constitui-se ainda em “sistemas de objetivos motivacionais”, que faz jus a incentivar os colaboradores a focar na eficiência do processo e na melhoria contínua, o que exige o desenvolvimento de novas competências.

Ele baseia-se ainda no “gerenciamento ágil”, onde as abordagens necessárias são caracterizadas pelo rápido desenvolvimento de protótipo, resultados concretos e ciclos de *feedback* de alta frequência, validando suposições e hipóteses sobre o produto o mais cedo possível em um ambiente real, permitindo o desenvolvimento contínuo e sistemático do produto com base nos retornos obtidos.

- 2) **Colaboração Dinâmica com Rede de Valor**: refere-se à troca automatizada e contínua de informações entre diferentes empresas, que

permite que elas cooperem mais dinamicamente e oferece maior transparência em relação ao mercado.

Esse princípio baseia-se em “foco nos benefícios para o cliente”, onde as empresas precisam determinar como podem contribuir para satisfazer as necessidades do cliente final, gerando competências especializadas para uma solução geral ou para a integração de várias soluções. Ele consiste também em “cooperação dentro da rede”, que se refere à integração sistemática das competências de diferentes parceiros.

2.5.3 Sistemas de Informação

Schuh *et al.* (2017) explica que os sistemas de informação são responsáveis em fornecer informações com base em critérios econômicos, tanto por pessoas quanto por tecnologia da informação e comunicação, pois eles preparam, processam, armazenam e transferem dados e informações, dentro da organização, para apoiar a tomada de decisão. O autor complementa que a organização deve atender aos requisitos técnicos de acesso em tempo real e possuir uma infraestrutura que permita o processamento de dados necessário e a entrega contínua de informações, bem como os sistemas devem estar integrados para permitir o uso de dados comuns em toda a cadeia de valor, através de uma plataforma central que conecte os sistemas de TI existentes entre si e com os recursos. Aqui são destacados os dois princípios orientadores desta área:

- 1) **Processamento de Informações de Autoaprendizagem**: consiste no princípio do processamento de informações, a partir da agregação de dados para criar informações e fornecer material para apoiar a tomada de decisões. Esse princípio consiste em “análise automatizada de dados”, que que agrega continuamente os dados para produzir informações, extrai conhecimento dessas informações e fornece ao usuário informações para apoiar suas decisões.

Ele contempla também em “entrega de informações contextualizadas”, que resulta em gerar informações, de forma eficiente e eficaz, no lugar certo, no momento certo, na qualidade certa, para a(s) pessoa(s) certa(s) na empresa.

Agrega ainda as “interfaces de usuário específicas da tarefa”, onde as informações fornecidas devem corresponder às necessidades do destinatário e seu formato deve ser adaptado ao uso atual; também se baseia em uma “infraestrutura de TI resiliente que armazena os dados com base na situação”, ou seja, que analise e entregue dados que atenda aos requisitos relevantes de captura, transferência, armazenamento e processamento de dados técnicos.

- 2) **Integração de Sistemas de Informação**: refere-se aos sistemas de informação integrados, que visam garantir o uso de dados comuns em toda a cadeia de valor. O objetivo desse princípio é integrar os sistemas de TI existentes para facilitar o acesso e o uso dos dados e informações que eles contêm. Ele está baseado na “integração de sistemas horizontalmente e verticalmente”, onde permite o uso de dados comuns a toda a cadeia de valor, com informações sendo trocadas continuamente entre todos os sistemas de TI.

Outra base deste princípio reside na “padronização da interface de dados”, que diz respeito à conexão de todos os sistemas entre si, por meio de interfaces de dados padrão, como micros serviços e interfaces de dados para facilitar a troca de informações.

Esse princípio refere-se também à “implementação de governança de dados”, que corresponde a qualidade dos dados, necessários para resultar agregações corretas e *feedback* preciso; e está baseado ainda “segurança atualizada”, que se refere, não apenas aos ataques para causar danos em potencial e que aumenta proporcionalmente ao grau de integração, mas também às respostas aos incidentes, que estão cobertos pelos padrões de segurança.

2.5.4 Cultura Organizacional

Schuh *et al.* (2017) relata que a cultura organizacional envolve em como os colaboradores desejam que sua empresa atue em seu mercado no futuro e quais habilidades e preparações necessárias para que sejam aceitas as sugestões oriundas de sistemas. O autor ainda indica, em relação a cultura organizacional,

como o ambiente deve estar à disposição da revisão e da adaptação contínua de comportamento, em resposta às mudanças do ecossistema.

Ele lembra também que a mudança deve ser buscada e não apenas surgir como uma resposta à alguma situação. Em momentos de revisão de alguma ação, por exemplo, deve-se ter a vontade de questionar sobre como se pode fazer diferente. Os dois princípios orientadores desta área são:

- 1) **Disposição para Mudanças**: consiste no princípio de ter a disponibilidade para mudar, baseando-se de forma conjunta em cinco valores combinados, quais são eles: (i) “reconhecer o valor dos erros”, que envolve a compreensão em que o erro faz parte do aprendizado; (ii) “abertura à inovação”, mesmo que essas não sejam aparentes no primeiro momento; (iii) “aprendizagem e tomada de decisão baseadas em dados”, ao invés de lidar com erros baseados em instinto; (iv) “desenvolvimento profissional contínuo”, que consiste em um entendimento interdisciplinar de processos inter-relacionados e são capazes de adquirir o conhecimento especializado necessário em um curto espaço de tempo; e (v) “moldando a mudança”, que compreende o entendimento sobre a responsabilidade de moldar a mudança, ao invés de simplesmente acompanhar a mudança.
- 2) **Colaboração Social**: refere-se à facilidade de acelerar o compartilhamento de conhecimento dentro da organização, onde a combinação de três recursos ajudam substancialmente: (i) “estilo de liderança democrática”, onde a tomada de decisões e a maior liberdade para as pessoas cria a estrutura organizacional para processos de tomada de decisão mais rápidos; (ii) “comunicação aberta”, permitindo que o compartilhamento do conhecimento implícito, que exige uma comunicação direta entre as pessoas que possuem o conhecimento e as pessoas que o procuram, pois se uma força de trabalho da organização está disposta a compartilhar determinado conhecimento com todos, torna-se possível acelerar significativamente os processos de aprendizado dentro da empresa; e (iii) “confiança em processos e sistemas de informação”, baseando esta confiança no fato de os funcionários entenderem como o sistema de informação toma suas decisões e reconhecer os benefícios concretos de suas recomendações e, ainda, olhar para os sistemas de forma crítica, buscando aprimorá-lo de maneira contínua.

2.6 SISTEMAS MES

Segundo Mostafa (2019) o MES é um sistema de informações que conecta, monitora e controla os sistemas de manufatura e os fluxos de dados que ocorrem na loja ou no chão de fábrica, tendo como objetivo geral a garantia de que as operações de fabricação sejam executadas com eficiência e melhore a saída da produção. Conforme o autor, muitos problemas do ambiente de fabricação podem ser resolvidos pelo sistema de execução da fabricação. Ele indica ainda que o cenário para o crescimento do MES foi facilitado pelos avanços do gerenciamento de dados e da tecnologia de informação.

De acordo com Witzel *et al.* (2019), os sistemas MES (*Manufacturing Execution Systems*) desempenham um papel significativo no paradigma de manufatura, pois eles existem para estabelecer a conexão entre os sistemas ERP e o controle de equipamentos da planta, permitindo uma otimização da obtenção das informações sobre o processo de fabricação como um todo.

O autor esclarece que, enquanto os sistemas ERP apoiam as funções e operações de negócios (módulos de recursos humanos, financeiro, controle de materiais, contabilidade, etc.), os sistemas MES estão associados à produção e manufatura. Portanto, a sinergia entre estes dois sistemas se tornaria fundamental para as empresas, principalmente, em nível de tomada de decisão de fabricação. Percebe-se, no entanto, que mesmo com o uso de sistemas MES, a integração entre sistemas e ambientes, normalmente, não costuma ser uma tarefa trivial, ou seja, é bastante comum envolver um considerável grau de complexidade.

2.7 SISTEMAS ERP

Madapusi *et al.* (2005) afirmou que com a globalização do comércio e da economia – nos anos 90 e 2000 – as grandes empresas multinacionais recorreram aos sistemas de planejamento de recursos empresariais (ERP's) para atender às suas necessidades internacionais de gerenciamento de informações.

O autor complementa, indicando que o gerenciamento de informações é um poderoso impulsionador do desempenho comercial e que os sistemas ERP's são projetados para padronizar, otimizar e integrar fluxos de informações nas linhas funcionais, de produtos e de clientes, bem como, em um contexto internacional, os

sistemas ERP também facilitam a integração dos fluxos de informações através das fronteiras.

Para Stojkić *et al.* (2016), um sistema ERP cujo termo significa "*Enterprise Resource Planning*", tem como conceito o significado de padrão geral de negócios e software econômico integrado, que permite realizar uma variedade de atividades comerciais e econômicas (financeira, manufatura, logística, etc.) com o apoio da tecnologia da informação.

Zeba *et al.* (2019) explica que o planejamento de recursos nas empresas é crucial no contexto da Indústria 4.0 e os sistemas ERP's permitem a integração vertical e horizontal, entre os diferentes níveis operacionais e de gerenciamento, que, por sua vez, são essenciais para monitorar a execução do processo por meio do acesso a dados em tempo real e para tomar decisões de acordo com esses dados. O autor avança, indicando que a nova geração de sistemas ERP são sistemas inteligentes, onde os recursos básicos são:

- O uso da tecnologia na memória, que pode ser usada para simular o impacto da mudança na produção, em tempo real;
- Uma arquitetura orientada a serviços, que permite a comunicação direta do sistema com recursos inteligentes; tirar proveito da computação em nuvem;
- Integração com MES e PLC (integração vertical), permitindo a produção econômica de variantes de produtos;
- Integração horizontal, que permita a integração com o ecossistema da organização;
- Interfaces intuitivas, personalizadas, baseadas em funções;
- Aplicação de aplicativos móveis inovadores;
- Banco de dados central, para otimização da informação; mas também
- Permitir o armazenamento descentralizado de dados (com um produto inteligente) que acesse dados a qualquer momento e de qualquer lugar, usando, por exemplo, dispositivos móveis (*tablets* e *smartphones*).

2.8 EMPRESA SAP

Confome Mesicek (2018), a empresa SAP ("*Systeme, Anwendungen und Produkte in der datenverarbeitung*" ou Sistemas, Aplicativos e Produtos em processamento de dados) é uma empresa de software, fundada em 1972 e sediada

na Alemanha, focada em produtos que gerenciam operações de negócios e relacionamento com clientes e que se tornou uma gigante internacional, com uma receita superior a 23 bilhões de EUR em 2017.

O autor complementa, indicando que a SAP é uma das principais empresas de soluções de TI para organizações de todos os tamanhos e um dos motivos para isto é que as principais empresas que usam suas soluções, geralmente, exigem que seus fornecedores e clientes conectem e integrem seus sistemas aos sistemas baseados em SAP, usados pela grande empresa, o que ajuda na transferência de informações, na facilidade do processo de planejamento da produção e na redução geral dos custos de transação.

De acordo com a SAP SE (2020a), em 1º de abril de 1972, cinco ex-funcionários da empresa IBM (Dietmar Hopp, Hasso Plattner, Claus Wellenreuther, Klaus Tschira e Hans-Werner Hector) iniciaram a empresa “*SystemAnalyse Programmentwicklung*” (Análise de Sistemas e de Desenvolvimento de Programas). O objetivo era a criação de um sistema corporativo padrão, que integrasse todos os processos de negócios e que permitisse o processamento de dados em tempo real.

Segundo a SAP SE (2020a), em 1975, foram criados aplicativos para contabilidade financeira, verificação de faturas e gerenciamento de estoque e, com a mistura de processamento de dados em tempo real, padronização e integração, criou-se a base para a transformação da empresa SAP, de uma pequena organização alemã para uma organização de liderança global em sistemas de negócios.

Conforme a SAP SE (2020a), em 1979, a empresa começou a desenvolver o sistema (ERP) R/2, a segunda geração de seu software e em 1980, com cerca de 80 funcionários, a SAP se muda para seu primeiro prédio, em Walldorf, Alemanha.

2.8.1 O Crescimento SAP

Conforme a SAP SE (2020a), a versão R/3 do seu sistema ERP trouxe um novo sucesso, em 1992, com o conceito de cliente-servidor e abriu caminho para a empresa entrar na economia globalizada, transformando a SAP em uma empresa global, com subsidiárias e centros de desenvolvimento em todo o mundo. A SAP SE (2020) expõe que, em 1999, a SAP respondeu à Internet e à nova economia,

lançando a estratégia “*mysap.com*” e dez anos depois, a empresa se ramificou em três mercados do futuro: tecnologia móvel, tecnologia de banco de dados e nuvem.

A SAP SE (2020a) relata que em 2011, os primeiros clientes começaram a usar o banco de dados em memória, conhecido como SAP/HANA (ou apenas HANA), onde as análises de dados, que costumavam levar dias ou semanas para serem realizadas, passaram a ser concluídas em segundos.

A SAP SE (2020a) relata que, quatro anos depois, em 2015, a SAP lançou a nova versão do seu sistema ERP, o S/4 HANA, a última geração de software de negócios, sendo executado, agora, inteiramente sobre o banco de dados HANA.

A SAP SE (2020a) finaliza, indicando que, em 2019, a SAP se volta fortemente para o conceito de experiência do usuário, adquirindo, para isto, uma empresa norte-americana, líder em software de gerenciamento de experiência, que permitiu a SAP ingressar na vanguarda deste segmento em crescimento e, atualmente, ela cria soluções para IoT, *blockchain* e *machine learning*, para análises complexas, bem como o banco de dados HANA pode ser disponibilizado nas atuais três maiores plataformas de nuvem pública e os aplicativos integrados da empresa conectam todas as partes de um negócio a um sistema inteligente e em uma plataforma digital.

2.8.2 Os Números SAP

Alguns números de 2019 da empresa SAP, conforme SAP SE (2020a):

- Possui mais de 215 milhões de usuários de nuvem;
- Possui mais de 100 soluções, que cobrem todas as funções de negócios;
- Possui o maior portfólio de nuvem de qualquer provedor;
- Opera em 69 data centers, em 35 localizações e em 15 países;
- Possui mais de 440mil clientes, em mais de 180 países;
- Contabilizou 100.330 funcionários ao redor do mundo (31.Dez.2019);
- Possui clientes de portes pequeno, médio e grande, onde os dois primeiros correspondem a 80% dos clientes;
- Obteve uma receita total, em 2019, de 27,63 bilhões de Euros, dos quais, 7 bilhões de Euros são oriundos dos negócios em nuvem (e estima que este valor irá triplicar até 2023);

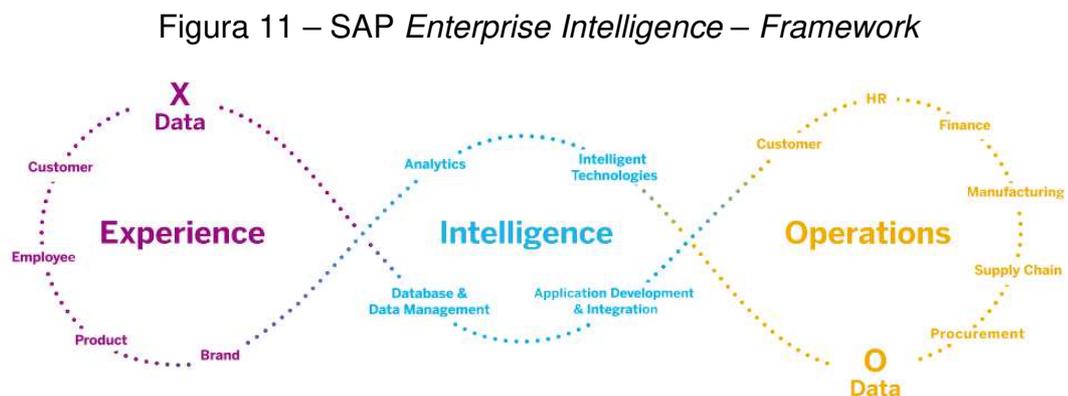
- Possui 21.100 parceiros e atua na criação de soluções de sistemas para 25 setores;
- Investiu, em 2019, mais de 4,3 bilhões de Euros em pesquisa e desenvolvimento, incluindo os 20 centros de desenvolvimentos, ao redor do mundo, conhecidos como “SAP Labs”.

2.8.3 As Tecnologias SAP

Com o foco em entender e atender as necessidades dos clientes nos principais mercados de tecnologia, conforme o SAP SE (2019b), a SAP passou a fornecer soluções nos quatro principais mercados de tecnologia: banco de dados e gestão de dados; análise de dados e ações analíticas, desenvolvimento e integração de aplicativos; e tecnologias inteligentes, endereçando assim as necessidades dos clientes, referente a como atuar sobre suas próprias informações.

De acordo com o SAP SE (2019b), a plataforma passou a ser mais aberta, tornando possível ampliar o ecossistema de produtos e adotar soluções de parceiros para ampliar a oferta de valor aos clientes, bem como transformando a plataforma digital SAP em uma plataforma de tecnologia de negócios, que permita os clientes se concentrarem nos negócios e não nos elementos técnicos.

O SAP SE (2019a) acredita que as empresas melhor administradas são as “empresas inteligentes”, pois estas quebram conceitos antigos e adotam processos mais bem aprimorados e inteligentes, dinâmicos e multifuncionais, permitindo obter e oferecer as experiências ideais e necessárias. Desta forma, o SAP SE (2019a) expõe o *framework* SAP, baseado em três componentes principais, que objetivam a criação e o desenvolvimento da empresa inteligente:



Fonte: SAP SE (2019a)

O SAP SE (2019a) explica melhor estes componentes da seguinte forma:

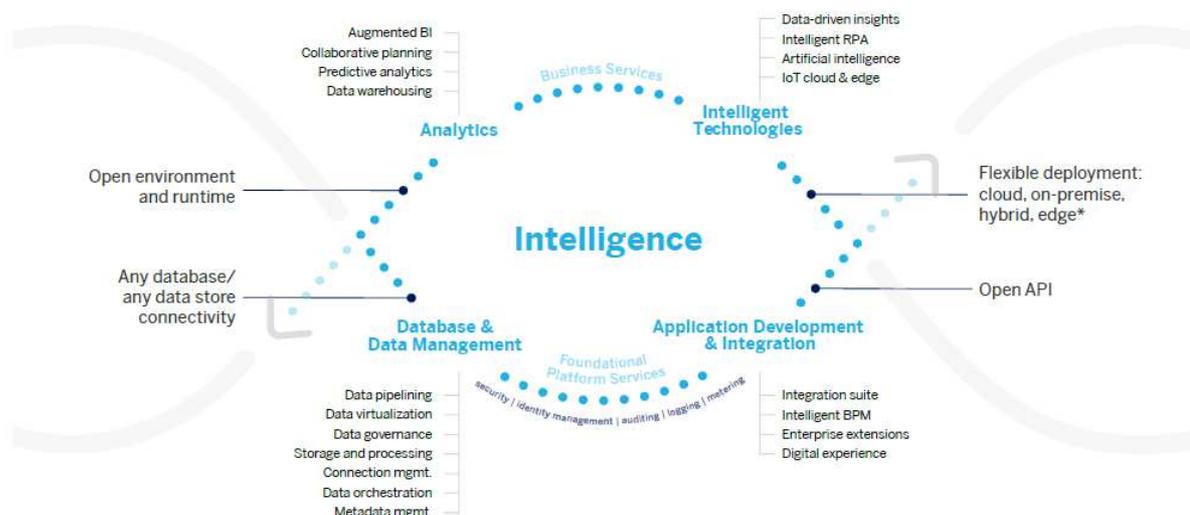
- **Experiência**: gestão das experiências desfrutadas pelas partes interessadas em todos os pontos, priorizando e prevendo necessidades e tendências, a fim de conduzir ações e facilitar a otimização, acompanhando seu progresso e sua melhoria.
- **Inteligência**: plataforma de tecnologia de negócios que fornece gerenciamento de dados unificado para conectar, descobrir, orquestrar e gerenciar dados internos e externos, realizar análises inteligentes para melhorar as cargas de trabalho e serviços de aplicativos para simplificar a extensão e a integração das informações.
- **Operações**: conjunto de aplicativos para automatizar os processos de negócios do dia-a-dia, compartilhando *insights* entre as funções e melhorando a interação com clientes, fornecedores, funcionários e parceiros, por meio de ferramentas incorporadas.

Como valor entregue aos clientes, o SAP SE (2019b) exemplifica com algumas tecnologias e seus resultados:

- **SAP HANA**: redução de até 100x o tempo de execução da consulta de vendas.
- **SAP Cloud Platform**: redução em torno de 66% no trabalho administrativo.
- **SAP Analytics Cloud**: aumento em torno de 200% na capacidade de produção anual.
- **SAP Leonardo Machine Learning**: melhoria em torno de 46% na produtividade do Contas a Receber.
- **SAP Intelligent Robotic Process Automation**: redução em torno de 80% no tempo de integração de novos clientes.
- **SAP Leonardo IoT EDGE SERVICES**: redução de custos superior à US\$2milhões nos processos de manutenção.

As plataformas de tecnologia de negócios da SAP, conforme o SAP SE (2019b), centradas em SAP *Cloud Platform*, SAP HANA, SAP *Analytics* e SAP Leonardo, capacitam o conjunto inteligente de soluções e possibilitam novos cenários de inovação orientados a dados, análise de experiências e tecnologias autônomas.

Figura 12 – SAP Business Technology Platform



Fonte: SAP SE (2019b)

De acordo com o SAP SE (2020b), a empresa SAP atende as partes inteligentes do negócio da seguinte forma:

- **Produto Inteligente:** com as tecnologias SAP *Intelligent Product Design* e com o seu sistema ERP SAP S/4 HANA para a fabricação e engenharia de produção e operações.
- **Fábrica Inteligente:** as tecnologias SAP indicadas são SAP *Manufacturing Suite* e SAP *Digital Manufacturing Cloud*, bem como recursos estendidos do sistema SAP S/4 HANA para gerenciamento de armazéns, além dos recursos existentes, voltados para a gestão da qualidade, da fabricação, da engenharia de produção e de operações.
- **Ativos Inteligentes:** podem ser suportados pela solução SAP *Asset Intelligence Network*, que contempla recursos para gerenciamento de desempenho de ativos, operações de ativos e manutenção de ativos.
- **Capacitação de Pessoas:** é possível de endereçar para a solução EHS do SAP S/4 HANA, que realizar o gerenciamento de recursos. Aliado a este, há a solução de virtualização SAP *3D Visual Enterprise* e os aplicativos móveis, constantes no SAP *Work Manager*.

O SAP SE (2020b) complementa indicando que, além das tecnologias citadas, ainda pode-se contar com as plataformas SAP Leonardo *Internet of Things*, SAP *Cloud Platform* e SAP *Edge Services*, que possuem a finalidade de suportar e prover as informações que serão utilizadas pelas soluções inteligentes da SAP, bem

como pelo ERP S/4 HANA. Ele inclui ainda que, tecnicamente, o portfólio de soluções consiste no SAP S/4 HANA como espinha dorsal dos negócios, integrado ao SAP *Cloud Platform*, com aplicativos na nuvem e locais, que ampliam o núcleo com cenários inovadores da Indústria 4.0 e conectividade aos dispositivos da fábrica e este portfólio é complementado com componentes periféricos adicionais que permitem produção resiliente, com recursos de missão crítica na fábrica.

2.9 PROPOSIÇÃO DO ARTEFATO

Após analisar as tecnologias existentes no portfólio de soluções da empresa SAP, percebe-se que estas tecnologias podem atender vários pilares da Indústria 4.0. Entretanto, conforme estudado na literatura até aqui, os conceitos da Indústria 4.0 não estão baseados somente em soluções tecnológicas. Há um conjunto maior de conceitos e de questões, segundo os autores estudados, para que a Indústria 4.0 possa ser implementada em uma organização. Observa-se que a empresa SAP pode contribuir para a implementação dos conceitos dessa indústria, mas ela não detém a solução completa para isso, pois as necessidades vão além dos recursos tecnológicos. Existem conceitos e processos organizacionais que precisam ser abordados, assim como há necessidades de redefinição na cultura organizacional que precisam ser executadas.

Outro ponto a ser direcionado refere-se ao modo de como as pessoas passarão a tratar questões como transparência de informações, autonomia no trabalho, manuseio das novas tecnologias e a infraestrutura que será disponibilizada. Do ponto de vista dos gestores, toda esta liberdade e autonomia concedida, bem como as informações agora disponíveis, precisam manter a crença de que a empresa está percorrendo o caminho correto. Eles precisam estar seguros em cada ação e, principalmente, em cada interação com as equipes operacionais.

Portanto, para que a transição para o conceito da Indústria 4.0 transcorra, de forma a obter-se os resultados desejados e se alcançar os patamares vislumbrados, são necessárias ações, durante esta “caminhada”, que estejam em sincronia e coerentes entre si. Cada atividade realizada deve estar inserida em um processo mais amplo e conectada com a atividade vizinha. Por exemplo, implementar o SAP *Analytics* de forma isolada pode não gerar todas as informações, indicadores e *dashboards* esperados, pois algumas dessas informações, que tem origem a partir

do “chão de fábrica”, podem não estar sendo coletadas, não estar sendo realizada de maneira adequada, não estar sendo suportada por outras informações ou ainda, não estar dando suporte às ações seguintes do processo, conforme deveria.

Com o objetivo de reduzir estes possíveis problemas e atuar de forma a congrega conceitos, tecnologias, cultura e maturidade organizacional, acredita-se ser relevante a criação de um artefato que promova a comunicação entre as entidades envolvidas, organizando, sincronizando, orientando, conectando e gerando sentido às ações que precisarão ser realizadas durante esta iniciativa.

2.10 O FRAMEWORK E A PESQUISA

Com a implementação da Indústria 4.0, as informações, que serão geradas nos processos iniciais do “chão de fábrica”, passarão a alimentar uma série de outros processos e mecanismos, visando uma melhor eficiência operacional, em todos os sentidos na organização.

Na busca por esta eficiência operacional e diante dos conceitos teóricos apresentados, tanto referentes à Indústria 4.0, quanto referentes à empresa SAP, onde se permite visualizar suas possíveis associações e conexões, nos pontos em que a Indústria 4.0 possui necessidades e a empresa SAP contempla as tecnologias necessárias para suportar estas necessidades, o artefato proposto, no formato de um *framework*, angaria real importância e relevância neste contexto. Neste sentido, esta pesquisa adquire a pertinência necessária e o interesse legítimo para seguir em frente e ampliar as áreas de pesquisa e de busca de informações, bem como, de práticas reais. A qualidade do conhecimento obtido, a partir de aplicações práticas considerando suas inter-relações com o contexto organizacional em que se inserem, são de grande relevância para o enriquecimento do tema.

A busca por este conhecimento prático e a sua correspondente conexão com a literatura e com os conceitos teóricos obtidos exige, portanto, que uma metodologia de pesquisa adequada seja empregada para consolidar o trabalho, conectando estes conhecimentos complementares, oriundos de fontes diferentes.

O capítulo seguinte trata da metodologia aplicada a esta pesquisa para conectar os saberes e estruturar as ações para a condução deste trabalho, orientando o processo de criação do conhecimento e do artefato proposto, com os fundamentos e embasamentos necessários para isto.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Esta pesquisa possui uma abordagem qualitativa, com caráter exploratório, que procura identificar as **etapas necessárias de um *framework* para a implementação dos conceitos da Indústria 4.0 em empresas brasileiras de transformação**. Para atender este objetivo, o método de pesquisa selecionado foi a *Design Science Research* (DSR), que é orientada à solução de problemas específicos, buscando elencar uma solução que satisfaça a solução ou o problema (DRESCH *et al.*, 2015).

De acordo com Bisandu (2016), a metodologia de pesquisa em *Design Science* consiste em duas palavras compostas, a “*Design Science*” e a “*Research Methodology*”, onde a *Design Science* teria sido cunhada em 1957, por R. Buckminster Fuller, sendo vista como um tipo sistemático de projeto, preocupado com a aquisição de conhecimento, enfatizando métodos sistemáticos e testáveis, podendo ser um guia para realizar avaliações e iterações, com origem na engenharia e na ciência do artefato, objetivando a resolução de problemas através das inovações criativas (ideias, práticas, capacidades técnicas e produtos); e onde a *Research Methodology* seria a preocupação com a maneira de pensar e estudar um fenômeno específico de interesse, bem como um plano de ação, estratégia, processo ou projeto, por trás da escolha de e métodos e vinculação da escolha dos métodos utilizados.

O autor considera ainda que a DSR seria uma atividade de pesquisa que constrói artefatos novos ou inovadores para solucionar problemas ou obter melhorias e este criaria uma nova realidade, em vez da realidade existente ter sido explicada ou tentar fazer sentido para isto e a lógica básica da descoberta da metodologia DSR seria dedutiva, pois ela tenta encontrar um conhecimento justificado ou o núcleo de uma teoria que ajude a solucionar um problema não resolvido.

A DSR incorpora, conforme Peffers *et al.* (2007), princípios, práticas e procedimentos necessários para realizar uma pesquisa, que inclui seis etapas: identificação e motivação do problema, definição dos objetivos de uma solução, projeto e desenvolvimento, demonstração, avaliação e comunicação.

O autor relata que a DSR contempla um rigoroso processo para projetar artefatos que resolvam os problemas observados, bem como faz contribuições de

pesquisa, avalia os projetos e comunica os resultados ao público apropriado, onde os artefatos podem incluir construções, modelos, métodos, instanciações, da mesma forma que podem incluir também inovações sociais ou novas propriedades de recursos técnicos, sociais, informacionais ou qualquer objeto projetado com uma solução incorporada para um problema de pesquisa compreendido.

Dresch *et al.* (2015) aborda cinco tipos de artefatos para a condução de pesquisas, a fim de atender o objetivo de desenvolver um artefato para a solução de problemas práticos que se apresentam.

Quadro 2 – Tipos de Artefatos

Artefato	Descrição
Constructos	Elementos conceituais que podem ser entendidos, no contexto da DSR como vocabulário de um domínio, usados para descrever os problemas dentro de um domínio e para especificar as respectivas soluções.
Modelos	Conjunto de proposições ou declarações que expressam as relações entre os constructos, sendo assim representações da realidade que apresentam variáveis de determinados sistemas e suas relações, podendo ser considerado, também, uma representação de como as coisas são e, assim, as relações entre os elementos do modelo precisam ser definidas de forma clara.
Métodos	Conjunto de passos necessários para realizar determinada tarefa, podendo ser representados graficamente ou encapsulados em heurísticas e algoritmos específicos, favorecendo a transformação dos sistemas em busca de sua melhoria
Instanciações	Refere-se a execução do artefato em seu ambiente, operacionalizando outros artefatos, visando demonstrar a viabilidade e a eficácia dos artefatos construídos e informando como implementar ou utilizar os artefatos e seus resultados no ambiente real.
<i>Design Propositions</i>	Contribuições teóricas que podem ser realizadas, através da aplicação da DSR, correspondendo a um modelo genérico que pode ser utilizado para o desenvolvimento de soluções de uma determinada classe de problemas, sendo uma generalização para esta classe e, portanto, podendo ser aplicado para situações similares.

Fonte: Adaptado de Dresch *et al.* (2015)

Para esta pesquisa, o artefato do tipo **método** foi considerado o mais adequado para apoiar o desenvolvimento do *framework*, a fim de ajudar as organizações nas etapas, processos, necessidades e tecnologias para iniciar a implementação dos conceitos.

3.1 MÉTODO DE TRABALHO

Conforme Dresch *et al.* (2015), o método de trabalho define a sequência de passos lógicos para atingir os objetivos da pesquisa, devendo ser claro, estruturado e seguido de forma adequada, assegurando assim, que o estudo seja replicável, ou seja, um método definido de forma adequada, visando permitir maior clareza e transparência na condução da pesquisa, permitindo ser validada e reconhecida. A autora complementa que o método deve ser detalhado e desdobrado, para fundamentar a pesquisa e seu método definido, bem para estabelecer as metas de coleta e análise de dados.

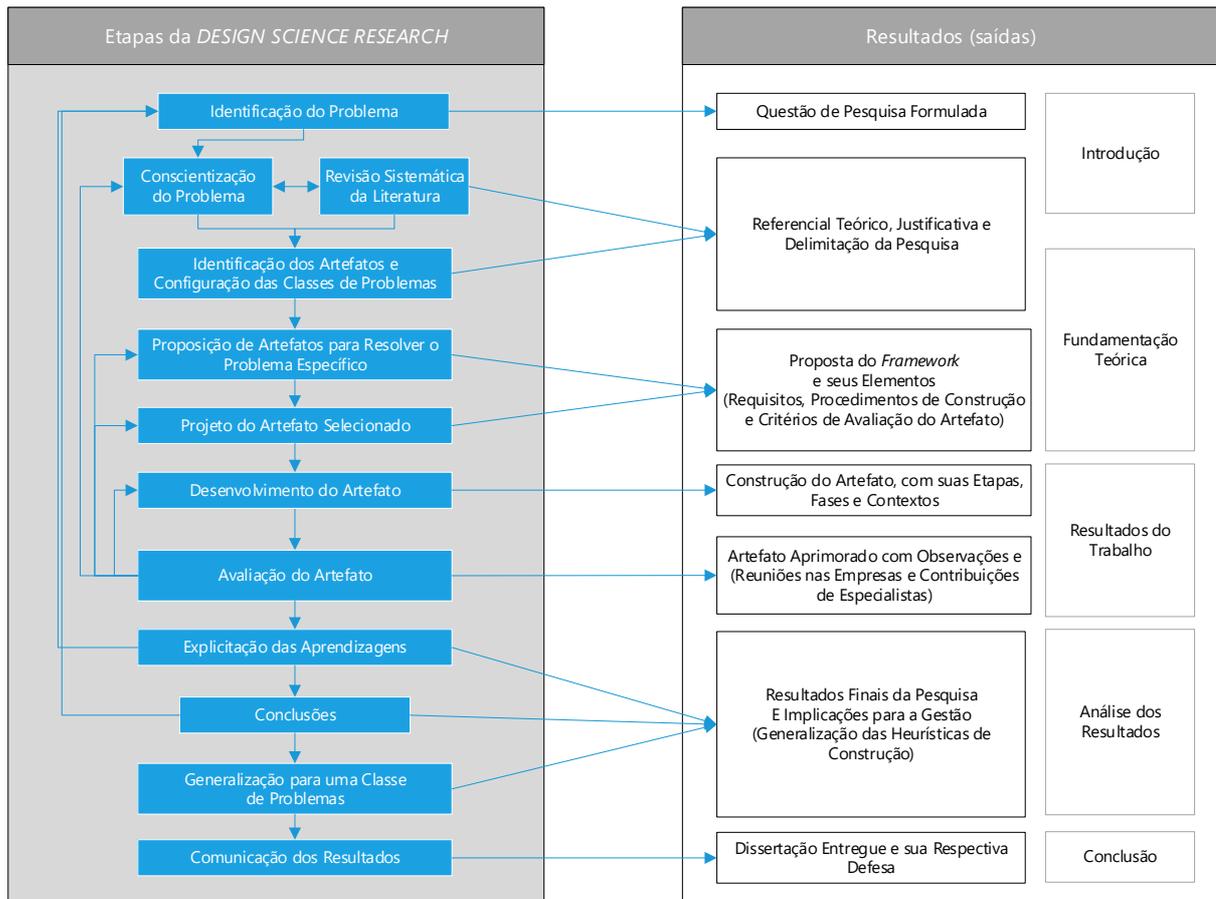
Segundo a autora, o desenvolvimento de uma pesquisa em áreas como gestão, engenharia, arquitetura e *design* necessita, por vezes, do envolvimento do pesquisador com o contexto estudado, tem o objetivo de contribuir para a criação de um conhecimento útil e aplicável. A autora complementa que o pensamento sobre o todo é de grande importância, pois os problemas e as situações podem ser transdisciplinares.

Outro ponto que Dresch *et al.* (2015) considera é que a produção de conhecimento, principalmente, quando realizadas nas áreas citadas não precisaria se deter em explorar e descrever o problema apenas, mas é perfeitamente plausível ocupar-se em no desenvolvimento de uma proposta para solucioná-lo.

Apesar de existir diversos possíveis métodos propostos e formalizados para conduzir pesquisas, este trabalhou adaptou o método de 12 (doze) etapas, proposto pela autora, conforme a figura 12. Ele representa a compilação de métodos elaborados e propostos por outros autores.

Assim, os autores foram pesquisados, principalmente por assuntos considerados de relevância e pertinência, como por exemplos tecnologias envolvidas na Indústria 4.0, processos envolvidos, efeitos produzidos, cultura regional e organizacional, resultados para o ecossistema onde a organização está localizada ou inserida, além de conceitos originais, quando aplicáveis.

Figura 13 – DSC – Etapas da Pesquisa



Fonte: Elaborado pelo Autor.

3.1.1 Identificação do Problema

De acordo com Dresch *et al.* (2015), essa etapa tem o objetivo de justificar a importância de estudar o problema, identificando-o e legitimando-o em termos de relevância. A partir desses pontos, o problema precisa de ser compreendido e definido claramente, onde o resultado produzido é a questão de pesquisa formulada.

A autora complementa também que o assunto deve ser de interesse do pesquisador em estudar, não apenas o problema, mas possíveis soluções e alternativas de resolução.

Devido ao interesse pessoal e profissional pelo tema, na busca por alternativas de soluções e contribuições ao assunto, visto ser um tema de relevância, mas ainda com avanços, relativamente, tímidos no país, a questão de pesquisa foi formulada, no capítulo de introdução deste trabalho, para contemplar desde o conceito até sua implementação, com o uso das tecnologias de uma

empresa de software que se propõe, dentre outros objetivos, prover soluções em nível tecnológico para o tema tratado da Indústria 4.0.

3.1.2 Conscientização do Problema

Dresch *et al.* (2015) explica esta etapa como sendo o momento de esforço para a compreensão do problema, onde pesquisador procura por informações sobre o problema, com o objetivo de assegurar-se da compreensão do contexto, tanto do tema estudado, quanto do problema identificado.

O início da busca na literatura pelo tema e sua compreensão se deu a partir desta etapa, onde ficou mais claro delimitar o assunto para prosseguir com a pesquisa e elaboração do artefato, bem como houve o entendimento de que as organizações possuíam informações referentes aos aspectos tecnológicos apenas, o que se mostrou, já no início da pesquisa, insuficiente para a solução como um todo.

3.1.3 Revisão Sistemática da Literatura

Neste tópico, Dresch *et al.* (2015) explana a importância da consulta nas bases de conhecimento sobre o assunto, englobando a busca pelos fundamentos do assunto tanto nas ciências tradicionais, quanto no conhecimento gerado pela *design science*. Conforme a autora, é importante que o pesquisador faça uso do conhecimento sistêmico, assim como consulte outros estudos com foco no mesmo assunto e no mesmo problema. Ela acredita que o investimento de tempo e de esforço nas etapas iniciais do método auxiliam no melhor entendimento, enquadramento e definição do problema de pesquisa.

A autora sustenta ainda, que a definição do problema é um importante passo, que não pode ser negligenciado, pois conforme o problema é definido, a solução a ser pesquisada e desenvolvida pode possuir diferentes respostas. Ela defende que é preciso visualizar a situação com amplitude e com foco. A amplitude permitirá uma melhor compreensão das inter-relações do problema em questão, enquanto que o foco possibilitará a compreensão de forma profunda. Para o entendimento do problema proposto, foram realizadas pesquisas na literatura, onde os autores e os respectivos assuntos estão indicados a seguir de forma resumida, bem como estão também as contribuições que cada autor pesquisado prestou nos temas estudados.

Quadro 3 – Resumo da Literatura

Temas	Autores	Contribuições	Objetivos
Indústria 4.0	ACETO <i>et al.</i> , 2020 BARBOSA <i>et al.</i> , 2019 BELLI <i>et al.</i> , 2019 CERUTI <i>et al.</i> , 2019 DUAN <i>et al.</i> , 2019 FRANK <i>et al.</i> , 2019 HALEEM <i>et al.</i> , 2019 HERMANN <i>et al.</i> , 2016 KARAMPIDIS <i>et al.</i> , 2019 LEZZI <i>et al.</i> , 2018 MASOOD <i>et al.</i> , 2019 O'DONOVAN <i>et al.</i> , 2019 SRINIVASAN <i>et al.</i> , 2018 STRASSBURGER, 2019 ULLAH, 2019 ZIKRIA <i>et al.</i> , 2018	Indústria 4.0 e suas tecnologias	Contextualização de <i>Cloud Computing</i> , Robôs Autônomos, IoT, Realidade Aumentada, <i>Big Data</i> e <i>Data Analytics</i> , Integração de Sistemas, Manufatura Aditiva, Segurança Cibernética, Simulação
	BAHRIN <i>et al.</i> , 2016 RUBMANN <i>et al.</i> , 2015 SUNG, 2018	Revisão da Automação Industrial e da Robótica; Justificativa da Indústria 4.0	Relato da importância da indústria na economia; Comparação entre a indústria anterior e a Indústria 4.0, objetivando elucidar a lacuna existente
	CHARRUA-SANTOS <i>et al.</i> , 2018 CHIARELLO <i>et al.</i> , 2018 FRANK <i>et al.</i> , 2018 HASEEB <i>et al.</i> , 2019 SLUSARCZYK, 2018	Oportunidades da Indústria 4.0, processos automatizados e conceitos em relação ao tema	Histórico das revoluções industriais, padrões da Indústria 4.0 e oportunidades que esta indústria proporciona.
	DELOITTE, 2015 MOKTADIR <i>et al.</i> , 2018 PASQUALOTTO <i>et al.</i> , 2017	Indústria 4.0 e suas características	Características básicas da Indústria 4.0
	GONÇALVES, 2016.	Implementação da Indústria 4.0 na área de logística	Origem do termo "Indústria 4.0" e seu contexto na época.
	HERMANN <i>et al.</i> , 2015 MOHELKA <i>et al.</i> , 2018	Conceitos da Indústria 4.0	Fundamentos conceituais de tecnologias que passaram a suportar os processos de produção mais modernos
	MACDOUGALL, 2014	Indústria 4.0 e suas características	Problema de pesquisa
	MAZZAFERRO, 2018.	Indústria 4.0 e qualidade das informações	Contextualização do tema

Temas	Autores	Contribuições	Objetivos
Indústria 4.0	ROJKO, 2017	RAMI	Arquitetura RAMI
	SCHUH <i>et al.</i> , 2017	Indústria 4.0 e a maturidade	Modelo de maturidade
Metodologia	BISANDU <i>et al.</i> , 2016 DRESCH <i>et al.</i> , 2015 PEFFERS <i>et al.</i> , 2007	Metodologia de pesquisa	Abordagem sobre <i>Design Science Research</i>
Sistemas MES	MOSTAFA, 2019 WITZEL <i>et al.</i> , 2019	Conceitos do sistema MES	Fundamentos do sistema MES
Sistemas ERP	MADAPUSI <i>et al.</i> , 2005 STOJKIĆ <i>et al.</i> , 2016 ZEBBA <i>et al.</i> , 2019	Sistemas ERP's e Governança Corporativa	Objetivos e fundamentos dos Sistemas ERP's
Empresa SAP	MACDOUGALL, 2014	Perspectivas SAP	Mercado Corporativo
	MESICEK, 2018	Histórico da SAP	Contextualização sobre a empresa
	SAP SE, 2019a SAP SE, 2020a	Informações sobre a SAP	Contextualização SAP
Tecnologias SAP	SAP SE, 2019b SAP SE, 2020b	Tecnologias SAP	Estratégias tecnológicas SAP

Fonte: Elaborado pelo autor.

Dentre os autores de destaque, cita-se Hermann *et al.* (2015), por contemplar os conceitos sobre o tema Indústria 4.0 mais citados, dentre autores pesquisados, tanto alguns daqueles que se encontram indicados neste trabalho, quanto autores que foram pesquisados, mas acabaram não sendo utilizados. Cita-se também Schuh *et al.* (2017), por contemplar um relevante trabalho sobre o modelo de maturidade, referente ao tema que muito ajudou neste trabalho, principalmente par aos aspectos não tecnológicos do assunto Indústria 4.0.

3.1.4 Identificação dos Artefatos e Configuração das Classes de Problemas

Dresch *et al.* (2015) indica que este tópico consiste em poder identificar artefatos e classes de problemas relacionados ao assunto pesquisado. Segundo a autora, caso seja encontrada uma solução para o problema de pesquisa proposto, o trabalho poderá, por exemplo, consistir na comparação da solução encontrada em relação à solução que está sendo proposta.

A autora considera ainda que se existir uma classe de problemas estruturada, deve-se compreendê-la, bem como seus artefatos já desenvolvidos, com o objetivo de utilizar as boas práticas e as lições já adquiridas por outros estudiosos e, assim,

ao dar continuidade à pesquisa em desenvolvimento, assegura-se que a essa oferecerá uma contribuição relevante para a resolução do problema.

3.1.5 Proposição de Artefato para a Resolução do Problema

Dresch *et al.* (2015) considera que esta seria a etapa em que o pesquisador propõe os artefatos necessários para a resolução de determinado problema, considerando a sua realidade, o seu contexto de atuação, a sua viabilidade, etc., objetivando encontrar soluções satisfatórias.

A autora destaca que o processo de proposição é criativo, necessitando de raciocínio *abductivo* e de conhecimentos prévios, oriundos das experiências do pesquisador, para propor as soluções mais robustas e eficientes possíveis para que possam ser utilizadas na melhoria da situação atual.

A proposta de elaborar um *framework* se originou do objetivo de, além de entender a possível e a real sinergia que poderia de fato existir entre a Indústria 4.0 e as tecnologias da empresa SAP, facilitar a implantação em organizações que já possuem soluções SAP e que tem a intenção de implantar alguns, senão todos, os conceitos da Indústria 4.0 (Apêndice F).

3.1.6 Projeto do Artefato

Dresch *et al.* (2015) elucida que é nesta etapa que deve ocorrer a escolha do artefato, dentre todos aqueles que foram pensados e propostos até o momento. Para isso, deve-se levar em consideração as características internas e o contexto em que irá operar ou ser executado, bem como relações internas com ambiente, limites e relações com o ambiente.

A autora enfatiza a importância de descrever, para o projeto do artefato selecionado, todos os procedimentos de construção e de avaliação do artefato, assim como, o desempenho esperado, para garantir o rigor da pesquisa e sua confirmação, no caso de ser replicada posteriormente.

Esta etapa de projetar o projeto do *framework* iniciou-se a partir da proposta e consolidou-se em um único processo no transcorrer desta pesquisa.

3.1.7 Desenvolvimento do Artefato

Dresch *et al.* (2015) explica que esta etapa tem a finalidade de descrever o processo de desenvolvimento do artefato, onde, em sua abordagem de construção, pode ser usado algoritmos computacionais, representações gráficas, protótipos, maquetes, etc., possibilitando a construção interna do artefato.

Ela coloca que no final deste processo, é possível que se encontre duas saídas: (i) o artefato em seu estado funcional; e (ii) a heurística da construção, que pode ser formalizada a partir do desenvolvimento em si e que contribui para o avanço do conhecimento.

O desenvolvimento do *framework* se inicia pelas informações obtidas a partir da literatura, cruzando e compilando as diversas informações e os vários pontos de vista dos autores e evolui com as pesquisas realizadas em três organizações que atuam na indústria de manufatura, de ponta-a-ponta e que se encontram em diferentes estágios da jornada da implementação da Indústria 4.0.

3.1.8 Avaliação do Artefato

Dresch *et al.* (2015) explana que é nesta etapa que o artefato é testado, permitindo que o pesquisador avalie o comportamento do mesmo em execução, consiga metrificar seu desempenho, pondere sobre os resultados obtidos e compare com o que era esperado. Segundo a autora, a avaliação pode ser realizada em ambiente experimental ou em um contexto real, de inúmeras formas.

O resultado obtido a partir da avaliação, para a autora, seria o artefato devidamente avaliado e a formalização de suas heurísticas contingenciais, visando, quando aplicável, permitir ao pesquisador definir suas condições de utilização e os limites que o artefato possui.

A avaliação, nesta pesquisa, ocorre na forma de validação e críticas de profissionais experientes e envolvidos no assunto “Indústria 4.0”.O *framework* recebe, portanto, aprimoramentos de um profissional com grande experiência de mercado e na indústria de transformação, assim como, se concretiza com as contribuições de um professor especialista no assunto, com grande experiência na atuação acadêmica e no mercado corporativo.

3.1.9 Explicitação da Aprendizagem

De acordo com Dresch *et al.* (2015), esta etapa se refere a publicação dos resultados atingidos, permitindo que a pesquisa sirva de referência e subsídio para a geração de conhecimento no campo prático e teórico.

Esse capítulo faz relação com esta pesquisa no que tange a explicitação dos resultados finais descritos e as possíveis implicações observadas, assim como as limitações encontradas. Esta parte da pesquisa engloba também os próximos dois capítulos elucidados pela mesma autora.

3.1.10 Conclusões

Nesta etapa, segundo Dresch *et al.* (2015), o pesquisador expõe os resultados obtidos com a pesquisa, bem como as decisões tomadas durante a sua execução. A autora complementa com a indicação de que nesta parte estariam indicados os possíveis trabalhos futuros, as limitações identificadas, etc.

Na pesquisa realizada, este capítulo está consolidado com o anterior e com o próximo, conforme indicado anteriormente.

3.1.11 Generalização para uma Classe de Problemas

Segundo Dresch *et al.* (2015), nesta etapa seria realizada a generalização do artefato construído para poder ser aplicado em uma classe de problema, com o intuito de permitir o avanço do conhecimento e que esse conhecimento possa contribuir para problemas e situações semelhantes a encontrada.

Esta generalização também está contemplada na mesma parte, conforme indicado nos dois capítulos imediatamente anteriores a este.

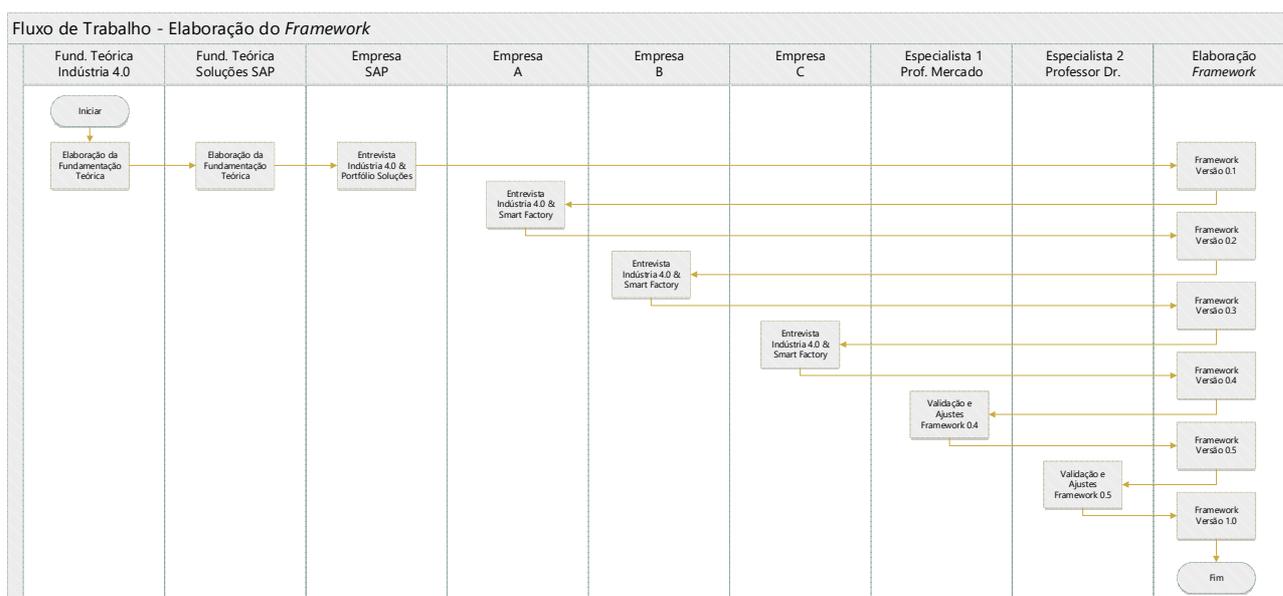
3.1.12 Comunicação dos Resultados

Dresch *et al.* (2015) defende que ao concluir toda a pesquisa, essa deve ser publicada e divulgada para atingir o maior número de interessados no tema, a fim de contribuir, não apenas com a academia, mas também com as organizações, para o avanço do conhecimento geral, como um.

3.2 FLUXO DE TRABALHO

O Fluxo do trabalho compreendeu a pesquisa teórica, a realização das entrevistas e a criação de versões do *framework*. As versões foram sendo criadas a medida que a pesquisa evoluía, ou melhor, houve uma primeira versão oriunda da pesquisa teórica e, posteriormente, a versão sofreu ajustes, incrementos e refinamentos, à medida que a pesquisa evoluiu com as entrevistas e reuniões. Por fim, o *framework* foi refinado, de forma a concluir a primeira versão, com a opinião de dois especialistas: um especialista profissional, com mais de 15 anos de experiência e colaborador de uma organização multinacional; e outro especialista acadêmico, mas também atuante no mercado corporativo, com mais de 30 anos de experiência.

Figura 14 – Fluxo do Trabalho



Fonte: Elaborado pelo Autor.

3.3 UNIDADES DE PESQUISA

O fluxo do trabalho compreendeu a pesquisa teórica, a realização de entrevistas (Apêndice B) e, por conseguinte, a criação de versões do *framework*. Os esclarecimentos obtidos com o material da empresa SAP e com o diálogo com sua equipe (Apêndice A) permitiu a visualização das primeiras ideias sobre a visão da empresa e como ela concebeu o uso de suas soluções tecnológicas.

Assim, as versões foram sendo criadas, à medida que a pesquisa evoluía. Houve uma primeira versão oriunda do referencial de literatura obtido até aquele momento. Esse permitiu com que fosse vislumbrada uma primeira ideia, ainda que incompleta, do artefato que seria evoluído posteriormente.

A seguir houve as reuniões e entrevistas com as empresas, baseado no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice C). Nesta pesquisa, três organizações foram ouvidas para que fosse possível compreender quais as etapas que elas precisaram atravessar e quais os desafios existem em projeto deste tipo.

Essas empresas, não terão sua identificação explicitada, mas suas características estão a seguir descritas:

- **Empresa A**: a empresa A é uma organização de grande porte, ainda familiar, de origem nacional com mais de 2,5mil funcionários que atua na indústria da transformação e manufatura de ponta-a-ponta. Ela exporta para 35 países. Apresenta forte vocação tecnológica, dinamismo e inovação. Possui o sistema ERP da SAP e iniciou sua transformação digital por volta de 2015, com as motivações de melhorar e corrigir a falta de produtividade, a baixa competitividade e os custos operacionais.

A empresa percebeu que seria necessário um forte alinhamento entre os objetivos estratégico e seus valores, assim como repensou alguns de seus pilares: pessoas e cultura, consumidores, concorrência, inovação, processos, modelos de negócio, dados e tecnologia.

Ela pode perceber que o protagonismo, a cooperação, a integração, a valorização e a comunicação precisam estar inseridos neste processo.

Do lado dos dados, ela evidenciou que precisava de ações para com esses, tais como análise, gestão, contextualização, transformação e correlação.

Com isto, a empresa evidenciou que possuía a necessidade de investimentos em cultura (*Lean*), em sistemas, em automação, em digitalização, em treinamentos, em renovação e em ambientes de cocriação.

- **Empresa B**: a empresa B é uma organização de médio porte, com até 500 funcionários, de origem e abrangência nacional que trabalha com

manufatura de ponta-a-ponta. A empresa implantou o sistema ERP da SAP no ano de 2019 e seis meses depois optou por iniciar as primeiras ações referentes à indústria 4.

Na fase em que a empresa se encontra, ela ainda está definindo como criar alguns indicadores e trabalhando com o conceito de PoC. As discussões ainda estão no nível de indicadores operacionais e de revisão dos processos básicos de produção.

Entretanto, algumas das dificuldades, quanto a mudança de comportamento da equipe por exemplo, observadas nas outras duas organizações, que estão mais avançadas no processo, já podem ser observadas desde esses primeiros estágios desta primeira etapa em que a empresa se encontra.

As maiores dificuldades até o momento residem na escolha das soluções tecnológicas para obter determinados dados, na definição dos primeiros indicadores e na alteração dos primeiros processos para suportar algumas ações de nível básico automatizadas.

- **Empresa C**: a empresa C é uma subsidiária de uma multinacional alemã, que possui 45 anos de atuação do país, que atende o mercado nacional e internacional e possui duas unidades de negócios distintas. Ela faz uso de um nível elevado de tecnologia trabalha para se manter competitiva em seus custos em nível global. A empresa possui mais de 2mil patentes e a empresa como um todo possui mais de 12mil funcionários.

A empresa possui o sistema ERP da SAP e iniciou sua caminhada digital, referente a Indústria 4.0 por volta de 2015, também. Neste processo, foi identificado um forte conflito com a cultura organizacional, pois muitos setores e gestores não estavam de acordo com as mudanças que precisavam ser realizadas. Algumas vezes, foi necessário a intervenção da alta gestão para que mudanças pudessem ocorrer.

Outro ponto identificado foi relacionado aos fornecedores, pois com um parque fabril bastante diversificado, não foi possível trabalhar com poucos fornecedores para tornar as máquinas mais digitais. Pelo

contrário, cada grupo de máquinas exigia soluções distintas umas das outras para que as informações, depois de algumas camadas de processamento, pudessem ser unificadas e ser encaminhadas ao ERP. Desta forma, os investimentos realizados não são tímidos e a organização continua na sua trajetória pela melhoria dos resultados.

3.4 APOIO DE PROFISSIONAIS

Após as entrevistas e reuniões nas empresas, bem como as primeiras versões geradas do *framework*, houve sessões de reuniões com profissionais experientes, com os muitos anos de convívio no mercado de trabalho, grande conhecimento do tema, das empresas de transformação e seus processos, pudessem contribuir com aprimoramento do artefato.

Esses profissionais e suas empresas também terão as identidades preservadas, mas seus currículos resumidos são descritos a seguir:

- **Especialista A**: este profissional possui formação em Engenharia e experiência profissional superior a 20 anos e possui Mestrado em Gestão de Manufatura.

Ele é um colaborador na sede brasileira da sua organização (que é uma multinacional) e está atualmente posicionado como especialista em planejamento industrial sênior.

Ele trabalha a mais de 05 anos com o tema da Indústria 4.0 na sua organização, onde tem desenvolvido com fornecedores, não apenas as tecnologias e dispositivos tecnológicos, mas também debates sobre processos e até alguns “embates” internos, quando sugeriu determinadas mudanças, necessárias para a continuidade do processo de implantação destes conceitos.

O processo de implantação na sua organização está bem avançado, mas ainda há uma considerável gama de ações e atividades a serem realizadas, bem como um conjunto de paradigmas a serem quebrados ou alterados.

Suas contribuições foram disponibilizadas também por e-mail (Apêndice D).

- **Especialista B**: este profissional, Doutor em Administração, Mestre em Engenharia de Produção e Especialista em Engenharia Térmica, possui, além de uma grande experiência no mercado profissional, uma longa trajetória acadêmica, como professor de cursos de pós-graduação, referentes a engenharia de produção e a gestão e negócios, em níveis de Mestrado e de Doutorado.

Ele é um empresário no ramo de consultoria em processos industriais e dispõe de uma experiência profissional superior a 25 anos, sendo especialista no sistema Toyota de Produção e na Teoria das Restrições, com vasta experiência na indústria de transformação e é ainda responsável pela implantação de melhorias estratégicas nos negócios das empresas, implantação da Matriz de Posicionamento Estratégica de Materiais e implantação de melhorias na Estrutura Organizacional e nos Processos Empresariais.

Suas contribuições foram disponibilizadas também por e-mail (Apêndice E).

4 RESULTADOS DO TRABALHO

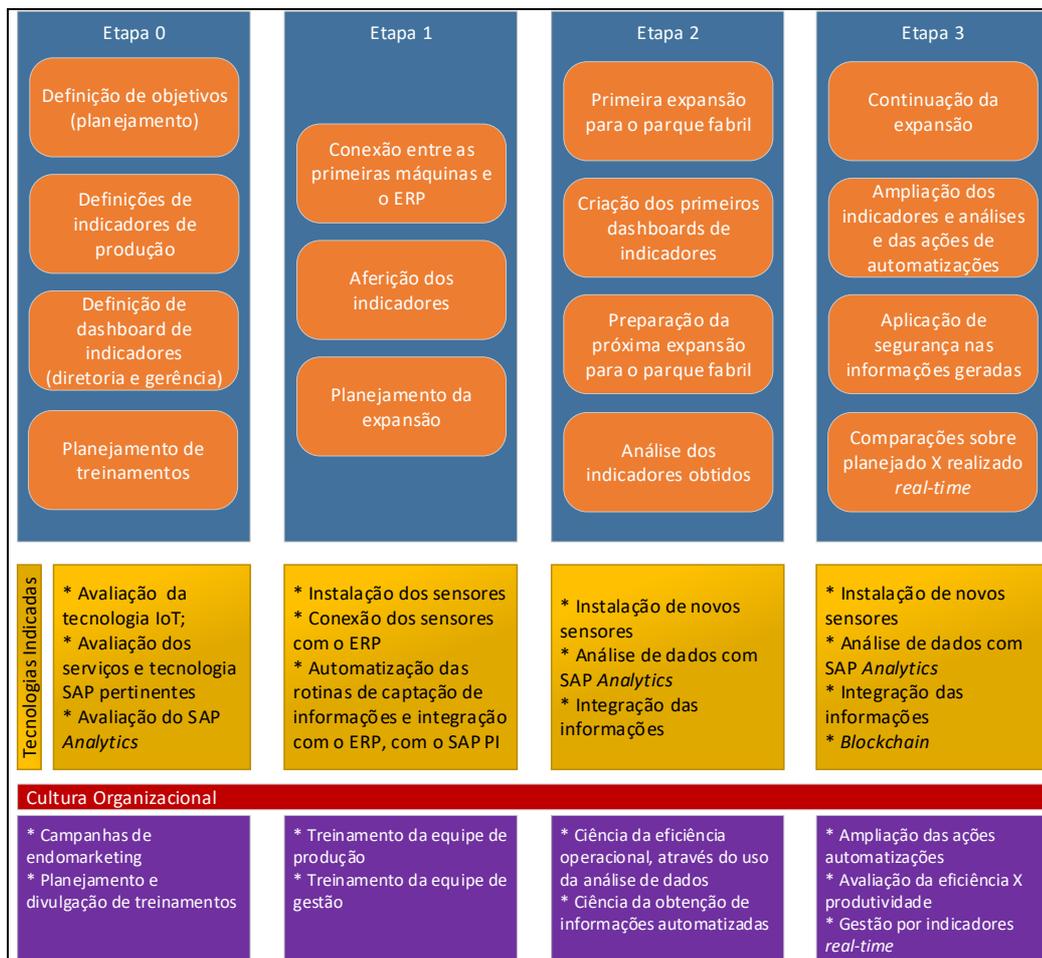
O resultado do trabalho realizado, gerou versões sucessivas do artefato – o *framework* – que são apresentados nos capítulos a seguir, desde seu primeiro protótipo de versão até sua primeira versão final.

A primeira versão gerada teve como base a fundamentação teórica. As demais versões evoluíram, à medida que as pesquisas nas organizações ocorreram. Por fim, evoluíram com a opinião dos especialistas: um profissional de mercado e o outro, além de profissional de mercado, um professor doutor, estudioso na área.

4.1 VERSÃO 0.1 DO FRAMEWORK

A primeira versão do *framework* foi desenvolvida, baseada na fundamentação teórica e nas pesquisas realizadas nas tecnologias da empresa SAP:

Figura 15 – *Framework* v.0.1



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Em conexão com os estudos realizados, percebe-se a possibilidade de implementação de alguns conceitos já no início das atividades, logo após os primeiros planejamentos e definições. Uma das primeiras tecnologias que podem ser abordadas refere-se aos conceitos de IoT, por exemplo. Em sequência, com o volume de informações geradas, os conceitos de *Big Data* e *Data Analytics* ganham espaço.

As informações já reveladas podem começar a evidenciar aspectos da eficiência operacional, mostrando os pontos de fragilidade, caso existam, expondo performances de equipes, que poderão precisar trabalhar tópicos culturais e comportamentais para reconhecer e tratar possíveis deficiências operacionais, gerando planos de ação que, de fato, incrementem de forma positiva os resultados de produção.

Assim, nesta versão, o *framework* foi dividido em três grupos de ações: o primeiro envolve as atividades a serem realizadas; o segundo faz jus às tecnologias que podem ser envolvidas para realizar as ações; e o terceiro corresponde à mudança de cultura que deve ocorrer, mas ainda de forma sutil, partindo de treinamentos, que devem complementar e ajudar no entendimento das direções e das ações que estão sendo pensadas para a organização.

As etapas indicadas representam a evolução da implantação de tecnologias, métodos e processos, preparação de dados, definição de indicadores e análises deste conjunto de informações.

A Etapa 0 (etapa zero) corresponde aos primeiros momentos da organização em iniciar a trajetória para a implementação da Indústria 4.0. Neste momento, ela se depara com o que deseja e inicia seu planejamento. Neste ponto, o *framework* tem como atividades o início das definições de indicadores de produção e de *dashboards*, bem como iniciam os planejamentos para treinamento da equipe.

Esta etapa ajuda na definição de quais sensores e, por consequência, quais serão as informações que serão coletadas para que se possam gerar os indicadores. Precisa-se, portanto, avaliar as tecnologias de coleta de informações, que neste caso, envolverá o conceito de IoT, como armazenar estas informações, fazendo uso do ambiente do sistema ERP e a demonstração das informações de negócios.

A Etapa 1 (etapa um) prevê a inclusão de sensores nas primeiras máquinas e implementação dos primeiros indicadores de produtividade. Neste momento, já se

conecta e valida a integração entre os sensores e suas informações com o sistema ERP da SAP. Nesta etapa, se iniciam os treinamentos para a equipe para entenderem o que está acontecendo e como serão realizadas as coletas, análise e geração das informações para a gestão.

As equipes deverão saber como serão as novas automatizações e como serão geradas as informações. Caso mude a forma de auditoria sobre os trabalhos realizados, o treinamento deve também contemplar isto. As demandas também deverão ser contempladas, inclusive nos treinamentos da equipe para prepará-los como agir em relação aos registros automáticos e chamados de produção e/ou manutenção que serão abertos, de forma automatizada, pelo processo, por exemplo.

A Etapa 2 (etapa 2) compreende a expansão do conceito para mais máquinas e setores do parque fabril. Esta expansão pode ser de uma única vez ou passo-a-passo, dependendo da disponibilidade da empresa e sua estratégia. Neste momento, as informações obtidas montam os primeiros *dashboards* de indicadores, já no conceito de informações em tempo real.

Esta fase indica que a equipe começa a ser avaliada, mesmo que em formato de simulação sobre seu desempenho, frente aos indicadores obtidos. Neste caso, cabe a avaliação e aferição dos mesmos para refletirem de forma correta o que precisa ser demonstrado. Portanto, a análise do que está sendo obtido como informação de produção deve ser muito bem avaliada.

A equipe tem participação fundamental para ajudar na leitura e crítica sobre o que está sendo obtido com as informações automatizadas, bem como para ajudar no ajuste do que é necessário para dar continuidade ao processo.

A Etapa 3 (etapa três) permite a continuidade da evolução do processo, possibilitando a ampliação da coleta de informações e integrando estas ao sistema ERP da SAP. Junto a isto, a evolução das análises sobre os indicadores continua para que seja o possível avaliar a performance da empresa, quanto a sua eficiência e produtividade.

Neste ponto, novas automatizações devem ser contempladas, a fim de permitir ampliação da captura de informações. Estas informações podem ser confrontadas com outras em outro ponto do processo de forma a consolidar o que está sendo analisado. Para garantir a segurança das informações, a tecnologia de *Blockchain* da SAP pode ter seu uso iniciado, a fim de garantir a segurança das informações.

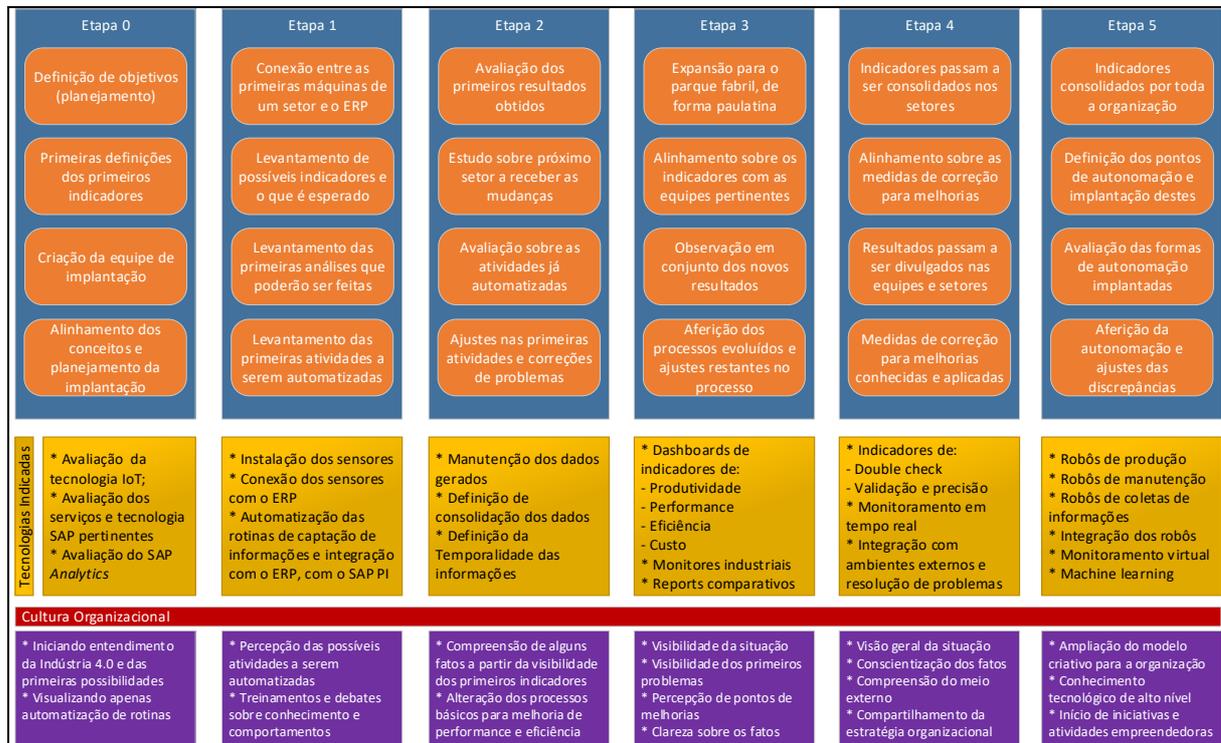
Neste momento se torna possível a monitoração da organização pela mais alta gestão de forma *on-line* e em tempo real, permitindo uma atuação sobre qualquer problema quase que instantaneamente.

Após gerar esta versão, houve evoluções na pesquisa, onde as entrevistas e reuniões com as organizações geraram alterações no *framework*, fazendo com que novas versões fossem confeccionadas.

4.2 VERSÃO 0.2 DO FRAMEWORK

A segunda versão do *framework* teve como base a primeira versão, adicionada da colaboração da equipe entrevistada da “Empresa A”, onde as contribuições permitiram evoluir fortemente, principalmente, no quesito de **cultura organizacional**, que segundo o relato das pessoas da equipe, seria este um dos pontos fundamentais para a implantação dos conceitos de Indústria 4.0:

Figura 16 – *Framework* v.0.2



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Nesta versão, o *framework* continua dividido nos três grupos de ações, porém agora com mais duas etapas para a implantação da Indústria 4.0. Neste caso, nem sempre as tecnologias utilizadas são tecnologias SAP, pois percebe-se que há

outras empresas no mercado que podem fornecer tecnologias que a empresa SAP não possui ou não fornece de forma competitiva.

Outro ponto que se percebe nesta versão e que veio por conta da reunião com a primeira organização foi a ênfase muito forte na cultura organizacional, que segundo o relato é um dos principais pilares para a implantação dos conceitos.

De acordo com as colocações feitas, a cultura organizacional deve ser totalmente revisitada, partindo da alta gestão e descendo por toda a hierarquia da empresa, fazendo com que as pessoas entendam seu papel no contexto local e global e os motivos pelos quais cada ação possui um grau de responsabilidade muito importante. Sendo assim, até o uso indevido de pequenos reembolsos de despesas em viagens, por exemplo, passam a ser considerados neste nível de maturidade.

A Etapa 0 (etapa zero) desta versão, continua correspondendo aos primeiros momentos da trajetória de implementação da Indústria 4.0, tal como na versão anterior, porém agora com um time definido e responsável por esta implantação. Esta equipe precisa estudar e mudar os próprios pensamentos e atitudes para servir de apoio e de exemplo aos demais times da organização.

Com isto a estratégia de implantação pode ser aprimorada e avaliada durante o seu andamento e esta equipe pode alterar ações e rumos que foram pensadas inicialmente, a fim de minimizar ou eliminar possíveis erros, enganos, problemas ou desvios. Seria com a equipe formada que os alinhamentos de conceitos e os planejamentos seriam realizados.

A Etapa 1 (etapa um) complementa a etapa correspondente da versão anterior, porém com maior nível de planejamento e de validação das tecnologias a serem utilizadas, inclusive levando em consideração a solução de conexão entre elas. Com maior planejamento prévio, as ações nesta etapa são mais de validação do que de colocar as ações em prática. Esta etapa ainda prevê a aplicação de sensores nas primeiras máquinas, mas de forma ainda experimental, observando comportamentos e ações necessárias para eliminação de falhas e ainda validando a integração ao sistema ERP da SAP.

Os treinamentos passam de apenas de técnicos e específicos para mais conceituais e amplos, em nível do que se deseja atingir e aonde se precisa chegar. Com os alinhamentos tidos com a Empresa A, percebeu-se que os conceitos de Indústria 4.0 são mais amplos do que apenas conceitos e de processos: a equipe da

Empresa A identificou (e compartilhou) que tão importante quanto o conhecimento técnico em tecnologia e em processos, é necessário uma atitude mais coerente, correta, engajada e produtiva, onde todos percebem o seu papel no processo, nas soluções e nos desafios.

Os estudos e debates contemplam quais processos e atividades poderiam ser automatizados no momento e o que se espera com esta ação, bem como procura-se entender como ela sustentará toda a evolução deste processo todo.

A Etapa 2 (etapa dois) diferentemente da versão anterior, esta etapa, nesta versão, compreende uma análise das primeiras ações, avaliando o que foi correto para o momento e o para o processo como um todo, bem como avalia o que é necessário aprimorar e o que se aprendeu até o momento. Os indicadores coletados ajudam na identificação do caminho correto a seguir e das correções que precisam ser feitas.

Um trabalho em relação aos dados obtidos também é realizado de forma a entender o que se consegue obter deles até o momento e com eles, o que seria possível fazer: se manutenções preventivas já são possíveis de se planejar ou se chamados automáticos de manutenção já são possíveis de serem realizados seriam exemplos do que se pode avaliar com as informações obtidas nesta etapa.

A equipe continua, nesta versão, tendo papel fundamental na participação de avaliação sobre as informações automatizadas obtidas, assim como na implantação dos novos processos e no apoio aos demais setores organizacionais para a continuidade do processo.

A Etapa 3 (etapa três) esta versão prevê uma continuidade da evolução no parque fabril, com a implantação em novos setores, mas de forma mais gradual e com uma avaliação dos resultados mais concreta e detalhada. Desta forma, é possível haver evolução constante baseada e ajustes, gerando maior assertividade.

As novas automatizações continuam a ser contempladas, no mesmo formato que foi indicado na versão anterior, com a evolução da tecnologia no que diz respeito às informações, no caso, os *dashboards*, pois ajudarão a visualizar os possíveis desvios e as necessárias correções para o atingimento dos objetivos propostos.

Este é o momento em que as visualizações começam a ser compartilhadas com os setores envolvidos para que a cultura da visibilidade tenha início na organização, a fim que de todos os envolvidos comecem a perceber onde estão ocorrendo os problemas e como atuar de forma mais ágil.

A Etapa 4 (etapa quatro) foi incluída com a intenção de refinar todas as ações realizadas até este momento, pois permite a reflexão e criação de novos indicadores, indicadores estes complementares aos anteriores, de forma que se obtenha uma visão mais clara sobre as situações, ou determinados indicadores que possam complementar ou aferir a indicação de outros, permitindo até mesmo uma dupla checagem sobre as situações. Isto deve permitir maior acuracidade nas informações obtidas, possibilitando tomadas de decisões mais assertivas na empresa.

Nesta etapa, os indicadores necessários aos setores da empresa são visíveis e públicos a todos, de forma a conscientizar e informar aos colaboradores sobre a situação de produção, manutenção, paradas, etc., dando visibilidade do andamento das atividades.

Em nível de tecnologia, se inicia o processo de conectar o sistema da empresa, no caso, o sistema ERP da SAP à sistemas de clientes e fornecedores, iniciando o processo de conexão entre empresas, a fim de otimizar as informações entre as organizações. Com o monitoramento da produção em tempo real, é possível melhorar enormemente integração de informações entre as organizações e, por conseguinte, a eficiência entre estas.

A Etapa 5 (etapa cinco) esta também é uma etapa acrescentada à versão anterior do *framework*, onde agora, neste ponto, os indicadores já se apresentariam consolidados e maduros, refletindo o dia-a-dia da organização. Neste momento, a empresa pode passar a automatizar todos os demais pontos de interesse, ainda não automatizados, bem como, passar para a autonomia, uma vez que a maturidade necessária já estaria em andamento.

Neste caso, é possível pensar em robôs nos mais variados pontos, como produção, pintura, manutenção, coleta de informações e até integrações entre estes. Outra tecnologia que estaria em ponto de ser utilizada seria a tecnologia de *machine learning* da SAP para incrementar e apoiar as decisões nos mais variados pontos da empresa.

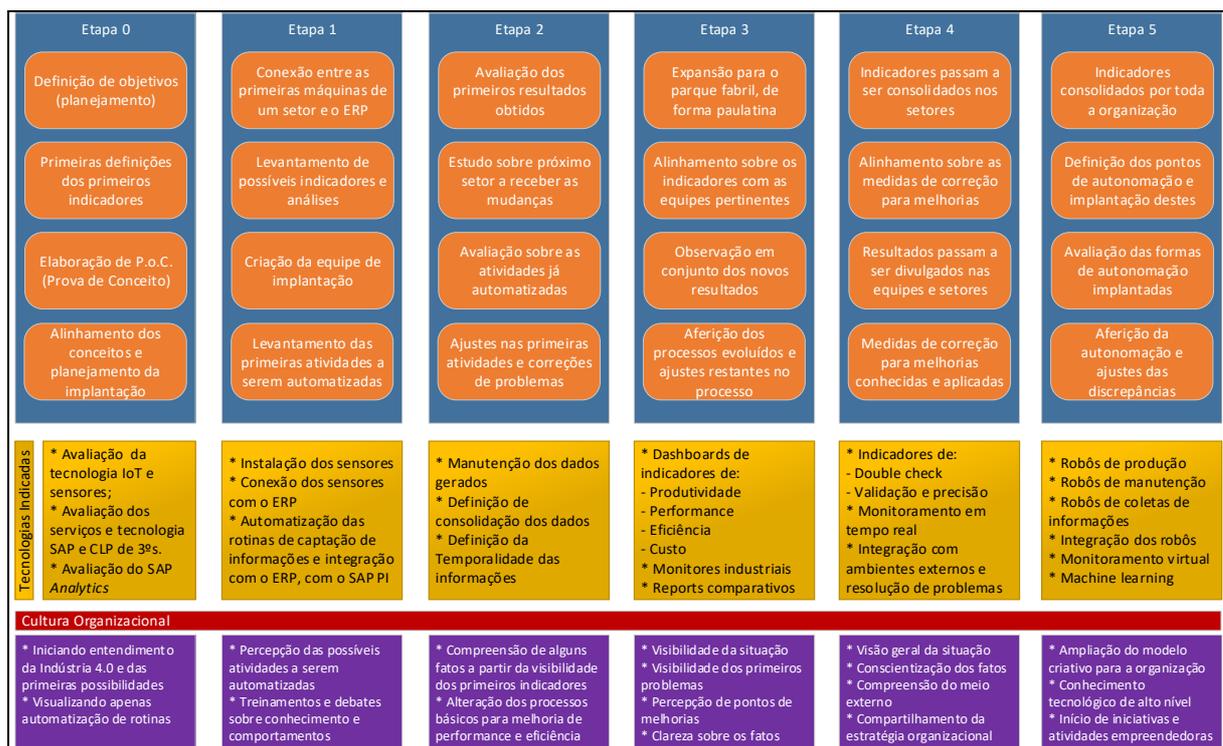
Neste momento, a cultura organizacional já estaria voltada também para a criatividade, com conhecimentos de alto grau em tecnologia com o ímpeto do empreendedorismo na organização. O trabalho operacional repetitivo estaria a cargo de máquinas robôs ou rotinas automatizadas, apenas uma supervisão humana, e as pessoas passam a realizar o trabalho criativo da organização.

4.3 VERSÃO 0.3 DO FRAMEWORK

A terceira versão do *framework* teve como base a segunda versão, mas agora focada, em uma *P.o.C.* (*Proof of Concept*, ou prova de conceito) nas etapas iniciais, antes de iniciar as implementações mais definitivas. Isto foi fruto da entrevista com a equipe da “Empresa B”, que por ser menor que as “Empresas A e C”, além de possuir uma experiência infinitamente menor nos conceitos da Indústria 4.0, decidiu por iniciar as ações provando, experimentando e ajustando conceitos básicos de forma prévia, antes de passar para etapas mais robustas.

A prova de conceito permitiu avaliar e validar pontos importantes que serviram de modelo para as etapas seguintes, inclusive permitindo um melhor faseamento de implantação, onde foi possível definir a tecnologia no início e depois apenas ampliá-la, o que facilitou inclusive a reutilização de equipamentos:

Figura 17 – *Framework* v.0.3



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Esta versão, o *framework* ficou muito semelhante à versão anterior, com os mesmos grupos de ações e as mesmas quantidades de etapas. Assim, ficou relatado nesta fase apenas o que mudou. Isto ocorreu, devido a Empresa B, conforme informado anteriormente, estar em um estágio inicial e ainda não ter

chegado à etapa 2 do processo, não podendo contribuir de forma mais completa e com mais experiências.

A Etapa 0 (etapa zero) desta versão, permanece correspondendo aos primeiros momentos da trajetória de implementação da Indústria 4.0, bem como na versão anterior, mas com a definição da elaboração de uma *P.o.C.*, que tem como objetivo validar a coleta de informações do parque de máquinas, dentro do tempo desejado, juntamente com a integração e disponibilização das informações junto ao sistema ERP da SAP. Esta validação de coleta e integração de informações, em tempo de prova de conceito, permite realizar a análise e encontrar a resolução de problemas da solução proposta, antes de ampliar a solução, portanto, o custo da correção tem a tendência de ser menor.

A equipe de implantação ficaria para a próxima etapa, pois a *P.o.C.* direcionaria como esta equipe deveria ser composta e como deveria ser sua atuação.

A Etapa 1 (etapa um) permanece com conceitos semelhantes a etapa correspondente da versão anterior, porém a equipe de implantação se materializa nesta etapa, onde a mesma continua com a função, agora de posse dos resultados da *P.o.C.*, planejar as próximas ações e avaliar os resultados, mas com um grau de confiança maior no sucesso que será alcançado. O planejamento prévio desta etapa continua, bem como a aplicação dos sensores nas primeiras máquinas de forma experimental, observando os comportamentos tal como descrito nesta etapa da versão anterior.

Todas as demais etapas permanecem as mesmas da versão 0.2.

4.4 VERSÃO 0.4 DO FRAMEWORK

A quarta versão do *framework* sofreu alterações consideráveis, visto que foi oriunda das versões anteriores e da entrevista com a equipe da “Empresa C”, que possui uma forte experiência no processo de implementação da Indústria 4.0 e que já enfrentou um série de dificuldades e desafios para chegar no estágio em que se encontra. Ela ainda não chegou ao fim do processo, mas está envolvido com ele desde o ano de 2015, quando iniciou as primeiras ações, entendendo como realizar cada passo, errando e ajustando, falhando e aprendendo.

As contribuições da “Empresa C” permitiram uma nova evolução considerável no *framework*, continuando a salientar a importância da **cultura organizacional**, mas adicionando o nível de maturidade da organização para absorver os conceitos e mudanças que a Indústria 4.0 gera na organização.

O número de etapas passou de cinco, da versão anterior, para sete nesta versão e agora o *framework* recebeu a indicação do nível de maturidade esperado que a empresa deve alcançar a cada etapa evoluída. Este indicador seria o resultado perceptível que a organização, como um todo, demonstraria ter atingido, quando comparado a um nível de maturidade máximo dos conceitos desta indústria. Ele não faz parte de nenhuma ação a ser realizada, mas serve, de forma ilustrativa e didática para demonstrar a evolução da maturidade da empresa, quando evolui nas etapas do *framework*. O resultado desta versão é exibido a seguir:

Figura 18 – Framework v.0.4

								Nível Necessário de Maturidade
Nível de Maturidade Organizacional								
Etapa 0	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5	Etapa 6	Etapa 7	
<ul style="list-style-type: none"> Primeiras definições dos primeiros indicadores Elaboração de P.o.C. (Prova de Conceito) Definição de objetivos (planejamento) Dashboard de resultados / indicadores (diretoria e gerência) 	<ul style="list-style-type: none"> Ampliação da Solução para mais 1, 2 ou 3 máquinas Validação da segunda fase da P.o.C. Comparação entre planejado X realizado e compreensão da realidade Definição das primeiras ações a serem automatizadas 	<ul style="list-style-type: none"> Ampliação da solução para as demais máquinas que compoem a solução P.o.C. validada e solução ampliada ao parque de máquinas Avaliação dos resultados, mediante ao processo existente Evolução dos processos resultantes das ações automatizadas 	<ul style="list-style-type: none"> Compartilhamento dos primeiros indicadores com equipe Alinhamento sobre os indicadores com as equipes pertinentes Observação em conjunto dos primeiros resultados Aferição dos processos evoluídos e ajustes restantes no processo 	<ul style="list-style-type: none"> Indicadores passam a ditar o que está ocorrendo na organização Alinhamento sobre as medidas de correção para melhorias Resultados passam a ser acreditados e divulgados nas equipes Evolução dos processos para correção e economia 	<ul style="list-style-type: none"> Indicadores consolidados por toda a organização Medidas de correção para melhorias conhecidas e aplicadas Resultados compartilhados com todas as equipes Aprimoramento dos processos de forma constante com simulação prévia 	<ul style="list-style-type: none"> Definição dos pontos de automação Aferição de tempos de prevenção para uso perfeito do parque Avaliação das formas de automação para o parque Aferição da automação e ajustes das discrepâncias 	<ul style="list-style-type: none"> Busca constante por otimização e uso racional de recursos Aplicação de segurança nos vários pontos do negócio Avaliação sobre o atual em relação a novas tendências e tecnologias Personalização da produção sempre que necessário 	
Tecnologias Indicadas <ul style="list-style-type: none"> * Sensores; * CLP (conexão com máquinas e geração de informação) * Avaliação do SAP Analytics 	<ul style="list-style-type: none"> * Automação das primeiras rotinas/ações no Sistema E.R.P., a partir de situação das máquinas, captadas pelo(s) sensor(es) 	<ul style="list-style-type: none"> * Manutenção dos dados gerados * Definição de Consolidação dos Dados * Definição da Temporalidade das Informações 	<ul style="list-style-type: none"> * Dashboards de indicadores de: <ul style="list-style-type: none"> - Produtividade - Performance - Eficiência - Custo * Monitores industriais * Reports comparativos 	<ul style="list-style-type: none"> * Indicadores de: <ul style="list-style-type: none"> - Double check - Validação - Precisão - Simulação * Monitoramento real-time 	<ul style="list-style-type: none"> * Simulação para melhorias * Integração com ambientes externos * Resolução de problemas externos (fornecedores, clientes, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> * Robôs de produção * Robôs de manutenção * Robôs de coletas de informações * Integração dos robôs * Monitoramento virtual * Machine learning 	<ul style="list-style-type: none"> * Robotização plena * Inteligência Artificial * Machine Learning * Blockchain * Medição da assertividade das ações preditivas 	
Cultura Organizacional								
<ul style="list-style-type: none"> * Iniciando entendimento das primeiras possibilidades * Visualizando apenas automação de rotinas 	<ul style="list-style-type: none"> * Percepção das possíveis ações a serem automatizadas * Entendimento sobre a necessidade de mudança em processos 	<ul style="list-style-type: none"> * Compreensão de alguns fatos a partir da visibilidade dos primeiros indicadores * Alteração dos processos básicos para melhoria de performance e eficiência 	<ul style="list-style-type: none"> * Visibilidade da situação * Visibilidade dos primeiros problemas * Percepção de pontos de melhorias * Clareza sobre os fatos 	<ul style="list-style-type: none"> * Visão geral da situação * Visão completa dos problemas existentes * Atuação forte nos pontos de melhorias * Conscientização dos fatos 	<ul style="list-style-type: none"> * Compreensão do meio externo * Compartilhamento da estratégia organizacional * Engajamento organizacional maduro 	<ul style="list-style-type: none"> * Ampliação do modelo criativo para a organização * Conhecimento tecnológico de alto nível * Início de iniciativas e atividades empreendedoras 	<ul style="list-style-type: none"> * Domínio e compreensão total das soluções utilizadas * Atitude empreendedora e criativa * Abertura para pesquisas e novos desenvolvimentos 	

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Como reforço, tem-se, então, que a primeira parte indica o “**Nível de Maturidade Organizacional**” e representa, de forma empírica, o quanto de maturidade a organização possui ou deverá possuir quando estiver na respectiva etapa de implementação. Este nível de maturidade atingido ou esperado seria um resultado, à medida que a organização avança nas implementações de processos,

indicadores e ferramentas, bem como aprimora a cultura organizacional para adentrar no “mundo” da Indústria 4.0.

A Etapa 0 (etapa zero) corresponde aos primeiros momentos em que a organização se mostra interessada e inicia as primeiras ações. Neste ponto, o *framework* prevê o início com definições de alguns indicadores, como por exemplo, indicadores de produção (de produtividade) e eficiência operacional. Para validar as tecnologias que começam a ser empregadas, o *framework* prevê uma ação em formato de *P.o.C.*. Neste ponto, pode-se validar as primeiras tecnologias a serem utilizadas e em formato de *P.o.C.*, permite-se que os gastos sejam, relativamente, pequenos. Em caso de algo estar equivocado, os custos tendem a não ser comprometedores.

Neste momento, também, a definição dos objetivos para esta etapa permite que se crie um planejamento mais objetivo e “simples”, permitindo que a organização comece a visualizar o que pode ser feito e gerar as primeiras ideias, bem como visualizá-las se concretizando. Como visualização dos resultados, cria-se, para estes casos, dashboards de indicadores com números para a diretoria e para o nível gerencial. Assim, se tem como um resultado inicial, a diretoria e gerência visualizando em tempo real (ou com um mínimo de alguns minutos de diferença) a produtividade da empresa.

As tecnologias a serem utilizadas nesta etapa compreende alguns sensores, que são conectados às máquinas para capturar a produtividade em si. Um hardware, conhecido como C.L.P. (Controlador Lógico Programável; em inglês: P.L.C. - *Programmable Logic Controller*), para conectar e interpretar a leitura destes sensores transformando tais leituras no primeiro nível da informação. Ao final, utiliza-se o *SAP Analytics* para gerar as informações gerenciais e os dashboards, a partir das informações primárias.

Neste momento, as informações que anteriormente eram obtidas, trabalhadas e, então, apresentadas em sessões ou reuniões, agora passam a ser visualizadas com defasagem de poucos minutos, pela diretoria, permitindo ações corretivas de forma mais ágil. Outro ponto é que as reuniões que, antes exibiam os números e explicavam os fatos, agora passam a discutir alternativas de sobre a melhoria dos mesmos, pois as informações já estão expostas todo o tempo.

Neste momento, a organização começa a perceber que seria possível automatizar os primeiros processos, conforme a produção ocorre ou conforme sofre alguma anomalia.

A Etapa 1 (etapa um) deve permitir que a organização perceba se a solução aplicada na **Etapa 0** possui escalabilidade. Desta forma, ampliação de aplicação da solução em algumas outras máquinas, por exemplo, pode ser uma boa alternativa para validar tal solução. Neste momento, o *framework* passa a contemplar uma segunda fase da *P.o.C.*, em que prevê esta ampliação da solução imaginada na etapa anterior. Neste momento, a organização pode começar a trabalhar de forma mais afinada com o previsto da produção em comparação com o realizado. É neste momento que, normalmente, de uma forma mais natural começam a surgir as primeiras iniciativas de automatização de alguma parte do processo. Algumas das ações mais simples são, normalmente, as candidatas a serem automatizadas.

As tecnologias a serem utilizadas, nesta etapa, normalmente dizem respeito à construção de alguns programas dentro do Sistema ERP da SAP, no caso, neste momento estamos falando do sistema SAP S/4 Hana. O interessante é que a automatização inicia uma fase na organização, de repensar os seus processos, principalmente, aqueles que serão automatizados ou que sofrerão com os resultados desta automatização, pois caso não estejam em acordo e coerentes entre si, o sistema passará a gerar informações que as áreas não conseguirão dar conta de atender ou responder.

A maturidade da organização, neste momento, se eleva para o patamar da possibilidade de: as primeiras ações poderem ser automatizadas, mas com a observância nos processos atuais e sua validação no atendimento dos resultados gerados pela automatização.

A Etapa 2 (etapa 2) compreende a aplicação da *P.o.C.* ao parque fabril como um todo, visto que o conceito da solução até o momento se mostrou válido. Neste momento, os primeiros indicadores estão validados e já passam a fazer parte do cotidiano da organização. Já se trabalha com a previsão em comparação com a realização. Os números apresentados são do entendimento dos responsáveis e a organização trabalha para melhorar a eficiência e seus processos, identificando gargalos e atuando na melhoria contínua.

Nesta etapa, mais ações passam a ser identificadas como passíveis de serem automatizadas, o que envolve o redesenho de alguns processos, novos

treinamentos e alinhamentos de como proceder no trabalho, havendo assim uma evolução na forma de trabalho e de como produzir.

É nesta etapa que a organização começa a perceber como ela precisa e deseja armazenar as informações quanto a sua temporalidade. É possível, por exemplo, que guardar as informações de produção segundo a segundo, ou mesmo hora a hora, não seja mais tão interessante. Normalmente, o mais natural a ocorrer é que as empresas guardem as informações de forma consolidada, de um período, como por exemplo, a produção do mês de janeiro de 2020, para, no ano seguinte, comparar com a produção do mês de janeiro de 2021.

Esta definição de armazenamento de dados ocorre, normalmente, nesta fase. As tecnologias utilizadas para esta ações voltam a serem o *SAP Analytics* e a programação personalizada, dentro do sistema ERP da SAP, para poder eliminar os dados que não são mais necessários.

A maturidade da organização, nesta etapa, se encontra no nível de melhoria contínua dos processos, na compreensão das informações pertinentes e naquelas que podem ser eliminadas, pois já permitiram a composição da informação relevante, de fato. É neste momento, também, que normalmente as organizações começam a perceber que os indicadores precisam ser abertos aos colaboradores, a fim de que estes tenham a ciência de como está o seu trabalho, sua eficiência, seus equívocos, na forma de ineficiência ou desperdício ou mesmo na forma de perdas.

A Etapa 3 (etapa três) permite a evolução da organização no que diz respeito ao compartilhamento dos primeiros indicadores com a equipe, como um todo. Estes indicadores são explicados e passam a ser exibidos como forma de indicar a distância que a equipe está de atingir a meta, ou a quanto tempo determinada máquina está sem manutenção ou mesmo parada. O objetivo nesta etapa não é constranger o colaborador, mas demonstrar que ele pode obter a informação de forma mais rápida e fidedigna, quando a máquina passa a informá-lo o que está ocorrendo com ela. Neste momento, novas evoluções no processo ocorrem e estas passam a ser aferidas em prol da evolução da eficiência.

Para a gestão, os *dashboards* passam a ser comparativos em relação aos períodos e situações passadas ou entre informações distintas, como produtividade em relação ao custo, ou eficiência em relação ao tempo de manutenção. As informações neste nível de maturidade começam a fazer sentido, quando cruzadas, pois iniciam-se a fase das “descobertas”.

Para as equipes, os dashboards com indicadores de produtividade, eficiência, performance, custo, tempo de parada, dentre outros começam a fazer sentidos e serem demonstrados em alguns pontos da fábrica.

Este nível de maturidade consiste na organização passar a dar certa visibilidade à equipe sobre o que é esperado dela, bem como mostrar onde os problemas estão ocorrendo. A equipe começa a contribuir, mesmo que de forma singela, sobre pontos de melhoria e começa a ter mais clareza sobre os fatos.

A Etapa 4 (etapa quatro) consiste no momento em que os indicadores possuem total confiança da organização e passam a ser “respeitados” como aqueles que indicam o que está ocorrendo na organização. Eles estão, neste momento, com um total nível de confiança, pois estão maduros e a organização os entende de forma plena e ampla. Nesta etapa, as equipes passam a fazer parte das reuniões de soluções, sendo visualizadas como solucionadoras de problemas. Os resultados passam a ser divulgados entre equipes.

Os processos entram em uma fase de busca por evolução, no que diz respeito a correções, economias, performance e precisão. A organização, neste momento, já se apercebeu de usar indicadores complementares, para validar a produtividade e eficiência, bem como para fazer uma checagem dupla em alguns processos ou pontos do processo. O monitoramento, de forma geral, acontece como um todo e em tempo real. Neste momento, se inicia as primeiras ações de simulação ou de virtualização de partes do processo produtivo.

As ferramentas utilizadas aqui se focam principalmente no *SAP Analytics*, mas agora sobre a parte de Big Data, onde a grande massa de informações permite que se analise hipóteses, sem ter que esperar pela sua concretização real.

A maturidade da organização está ampliada no que diz respeito a criação de indicadores, a divulgação dos mesmos de forma geral, onde todos entendem que esta divulgação não é para gerar punição, mas sim para melhorar a visibilidade de problemas e permitir que soluções eficazes sejam encontradas mais rapidamente.

A Etapa 5 (etapa cinco) consiste na consolidação final dos indicadores, por toda a organização. As medidas de correção para melhorar o desempenho são aceitas e aplicadas de forma natural. Nesta etapa, os resultados são compartilhados com as equipes e estas participam das criações e co-criações das melhorias. Nesta fase, a organização percebe que, internamente, as ações que até dependiam dela foram realizadas. É neste momento, que ela se volta para o seu ecossistema e

percebe que precisa melhorar e evoluir os seus parceiros, para ela continuar na busca do crescimento. Nesta etapa, se inicia o processo de conscientização de fornecedores, clientes, prestadores de serviços e parceiros em geral, no que diz respeito à melhoria deles para que a organização possa continuar sua melhora.

É possível que se inicie projetos de “desenvolvimento de fornecedores” o mesmo de “melhoria da qualidade da entrega externa”, por exemplo. Mas em nível tecnológico, inicia-se o processo de integração dos sistemas organizacionais com fornecedores, parceiros, clientes, etc.

As ferramentas de integração da SAP (PI/PO) são de grande ajuda neste processo de integração e podem melhorar performance e eficiência produtiva. É possível começar a entender quando o cliente precisará ser suprido pelos produtos da organização ou quando o fornecedor deverá realizar a entrega de sua matéria prima, por exemplo, para a empresa.

A maturidade da organização, neste momento, começa a se situar na compreensão da importância do meio externo, mas não apenas de forma superficial, mas de fato, de forma mais profunda e consistente. Começa então a existir o compartilhamento da estratégia organizacional, de forma cautelosa e estudada. O Engajamento organizacional, neste momento começa a apresentar os sinais de maturidade necessários que uma organização “saudável” e prospera precisa.

A Etapa 6 (etapa seis) delimita o que a organização fazia como operacional e o que ela pode fazer com a ajuda de robôs. Nesta etapa, a organização começa a perceber sobre as possibilidades, não apenas de automação, mas também de autonomia, onde os robôs começam a fazer as atividades. Neste momento, se percebe a necessidade do uso do tempo de forma perfeita e começa-se a avaliar as possibilidades de deixar o parque fabril mais autônomo. As discrepâncias são tratadas de forma a serem eliminadas.

Neste momento, o monitoramento virtual passa a ser vital e a utilização de robôs é pensada em escalas maiores. O uso de *Machine Learning* da SAP pode ajudar nesta fase de forma a permitir consolidar esta fase que pode ser uma das mais longas neste processo.

A equipe neste momento, começa a entrar no patamar da criatividade e do empreendedorismo. O conhecimento tecnológico já se encontra em um nível bastante alto e as equipes debatem não mais em resolver os problemas, mas sim

em como resolvê-los, uma vez que a resolução, agora, se apresenta em várias alternativas possíveis.

A Etapa 7 (etapa sete) consiste na busca constante da otimização e no uso racional dos recursos. Uma vez estabelecidas as conexões com os sistemas dos parceiros, inicia-se a fase de aplicação de toda a segurança necessária. Neste momento, a organização sempre está atenta as evoluções tecnológicas e procura ter um atendimento o mais personalizado possível para os clientes.

Com a robotização em pleno uso, bem como o uso da tecnologia de *Machine Learning*, a empresa passa a empregar, também, Inteligência Artificial, de modo a buscar a ações preditivas mais corretas.

Neste momento, a SAP consegue suportar com etapa com as soluções de Inteligência Artificial para a parte preditiva e de Blockchain para a parte de segurança por exemplo. O uso da robotização se torna pleno e dominado na organização.

A maturidade da empresa se concentra no domínio e compreensão total das soluções utilizadas. As atitudes dos colaboradores se consolidam em torno de ações empreendedoras e criativas e a organização se abre para as ações de pesquisas e desenvolvimentos.

4.5 VERSÃO 0.5 DO FRAMEWORK

O *framework* recebeu esta versão a partir das contribuições do Especialista A, que, para este *framework*, ele considerou a entrada de um ambiente ou sistema MES, que faria a conexão, propriamente, entre os ambientes de produção da fábrica e o sistema ERP. Uma de suas considerações faz jus ao fato de as tecnologias SAP não chegarem até o “chão de fábrica” (até as máquinas) em si, mas ficam em uma camada mais acima.

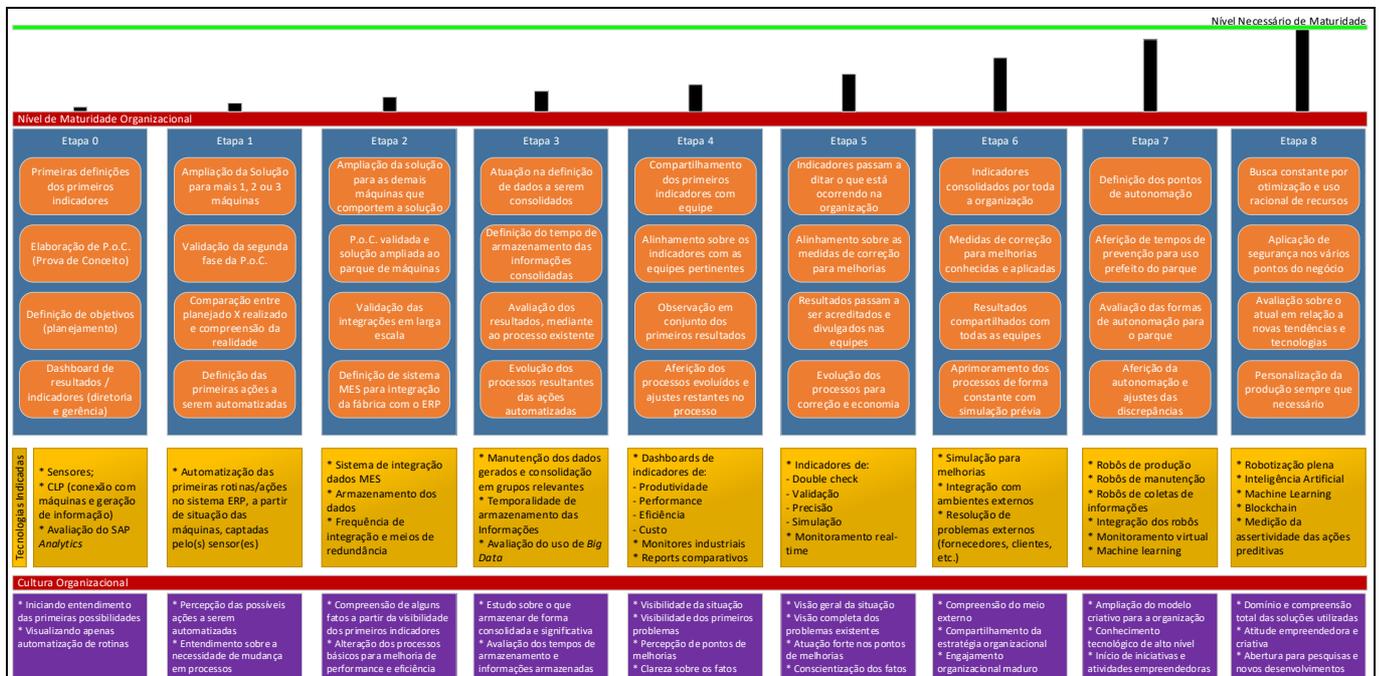
Segundo ele, isto se justifica, pois um parque fabril, como no caso da empresa em que ele atua, pode ter máquinas com mais de 20 anos de idade e ainda em pleno funcionamento. Assim, o parque fabril de algumas empresas pode ser muito diversificado e até peculiar, quando são consideradas diversas gerações de máquinas. Desta forma, para uma única empresa de tecnologia (ou de soluções tecnológicas) tentar possui soluções para todas as possíveis variações de máquinas ainda não é algo viável, conforme a colocação desse profissional.

Sendo assim, ele sugere uma camada intermediária de tecnologia (sistema MES) que conecte a máquina em si aos dispositivos que possam receber suas informações e transmitir da forma adequada para uma camada superior, até que estas informações sejam devidamente compiladas e, assim, cheguem ao sistema ERP da empresa no formato necessário para serem trabalhadas.

Outra colocação importante, realizada pelo Especialista A, refere-se ao volume de dados gerados. As máquinas podem gerar, em um período relativamente curto, um volume muito grande de dados e, portanto, seu armazenamento pode vir a se tornar um problema. Como recomendação, ele sugeriu que um estudo, no momento adequado, seja realizado para que os dados sejam consolidados, conforme as necessidades do negócio e, assim aqueles dados de menor nível possam, então, ser eliminados regularmente, pois as informações consolidadas é que deveriam as importâncias necessárias.

As contribuições do Especialista A, desta forma, permitiram a evolução do framework para a sua quinta versão, onde estas indicações foram abordadas e consideradas.

Figura 19 – Framework v.0.5



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O “**Nível de Maturidade Organizacional**” gerado na última versão continua a existir nesta versão, com o mesmo conceito: a representação empírica do quanto de maturidade a organização possui na respectiva etapa de implementação.

Busca-se continuar com as informações mais precisas e reais possíveis, com um mínimo de diferença entre o ocorrido e o demonstrado, objetivando as discussões sobre evolução e não apenas sobre problemas passados, tal como exposto na versão anterior.

A Etapa 0 (etapa zero) continua a corresponder aos primeiros momentos em que a organização se mostra interessada na Indústria 4.0, tal como na versão anterior e, portanto, semelhante a versão anterior, se inicia as primeiras ações, nesta empreitada. As mesmas percepções sobre automatização, conforme a respectiva etapa citada na versão anterior, começam a surgir.

As tecnologias e a cultura organizacional permanecem correspondentes à respectiva etapa da versão anterior.

A Etapa 1 (etapa um) também se mantém semelhante à respectiva etapa da versão anterior, onde tem como o objetivo a percepção, por parte da organização, sobre os níveis de escalabilidade que as soluções adotadas precisam ter.

As tecnologias permanecem idênticas às citadas na respectiva etapa da versão anterior, ou seja, visando as primeiras rotinas e processos a serem programadas, ainda de forma experimental, dentro do sistema ERP da SAP.

A maturidade continua a corresponder à da respectiva etapa anterior, ou seja, visando as primeiras ações que poderiam ser automatizadas, considerando os processos, suas validações e seus resultados.

A Etapa 2 (etapa 2) continua a compreender a aplicação da *P.o.C.* ao parque fabril como um todo, mas de forma gradativa, pois agora se percebeu que se faz necessário validar a integração também em larga escala, o que envolverá certamente uma solução de sistema M.E.S que suporte esta integração e este poderá possuir uma ou mais camadas de conversão de informações para depois disponibilizar ao sistema ERP.

Neste momento, diferente desta etapa na versão anterior, alguns dos indicadores são experimentados em nível de coleta de informação, mas ainda não são validados na sua totalidade, pois isto será feito em uma etapa futura. Isto ocorre também com as demais ações que passariam a ser identificadas como passíveis de serem automatizadas: elas o serão mais adiante.

Esta etapa passou a considerar um importante ponto que contempla a comunicação entre o “chão de fábrica” e a parte da empresa que toma decisões. Para que as informações cheguem em tempo e com eficiência bem como possam ser contempladas em qualquer ponto ou máquina do parque fabril, a solução deve ser escolhida e implementada com muito cuidado, para que não sejam geradas, por exemplo, “áreas de sombra”.

A maturidade da organização, nesta etapa, se volta fortemente para a parte técnica de como e o que implementar na solução de comunicação entre os níveis de diferentes entre fábrica, gestão e alta gestão. A experiência técnica é de grande valia nesta etapa.

A Etapa 3 (etapa três) teve a maior mudança, quando comparada com sua equivalente da versão anterior, pois nesta etapa, passou a necessitar que precisa ser definido o tempo de armazenamento das informações, bem como o formato das consolidações das informações obtidas, pois no momento que as ações de coleta de dados se iniciam, é possível que sejam geradas uma considerável quantidade de informações, em nível de detalhe muito grande e estas informações normalmente, não fazem muito sentido nem são muito necessárias nesta granularidade. Portanto, é previsto nesta etapa a consolidação, seja por ação, seja por tempo, seja por produção, etc. para que se armazene a informação que terá relevância.

Se o menor nível de granularidade for armazenado para todo o parque, provavelmente, não haverá espaço suficiente de armazenamento ou o custo deste armazenamento será muito elevado. As tecnologias a serem usadas aqui podem envolver também o uso de *Big Data*, para o armazenamento de informações, mesmo depois de tratados e consolidados. Como o mais natural seria a o armazenamento de forma consolidada, este armazenamento, conforme explicado na versão anterior, poderia conter, por exemplo, informações de produção de períodos para serem comparados com períodos equivalentes do futuro.

A maturidade da organização, nesta etapa, se encontra, portanto, na definição de armazenamento do que e como se deseja manter. Este é um momento de reflexão, mas que pode ser revisitado para ser ajustado conforme novas necessidades ou demandas.

A Etapa 4 (etapa quatro) corresponde à etapa 3 da versão anterior, na sua íntegra, tanto em nível de ações, quanto tecnologias ou mesmo maturidade. É nesta etapa que se planejam e avaliam os indicadores, se define os dashboards e, na

questão da maturidade, se permite que os colaboradores passem a ter visibilidade dos indicadores, tal como descrito na etapa 3 da versão anterior.

A Etapa 5 (etapa cinco) também corresponde, na sua integralidade, à etapa 4 da versão anterior do *framework*, onde os indicadores já estão consolidados e os processos entram na sua fase de evolução. O uso da ferramenta de *Analytics* da SAP continua a ser utilizado junto com o *Big Data* e a maturidade da organização evolui para novos indicadores e sua visualização pelas equipes, conforme citado na etapa 4, também da versão anterior.

A Etapa 6 (etapa seis) consiste, da mesma forma, na correspondência da etapa 5 da versão anterior do *framework*, consolidando os indicadores e partindo para a parceria de clientes e fornecedores quanto às evoluções de integração e processos. As mesmas ferramentas, citadas na versão anterior correspondente, são utilizadas, bem como o grau de maturidade voltado ao meio externo.

A Etapa 7 (etapa sete) refere-se a etapa 6 da versão anterior do *framework*, visando a busca pela ajuda de robôs, tal como descrito naquela versão, na etapa indicada. As ferramentas seriam as mesmas, frente à virtualização e *Machine Learning*. E a maturidade teria a mesma descrição de referente à criatividade e empreendedorismo, tal como descrito naquela etapa.

A Etapa 8 (etapa oito) também corresponde a uma etapa da versão anterior: a etapa 7, que seria a última, fazendo as mesmas menções quanto a robotização e demais ferramentas, como *Machine Learning* e *Blockchain*, além de manter a mesma descrição sobre a maturidade organizacional, principalmente, no que se refere ao pleno domínio das soluções utilizada que a empresa estará apresentando nesta etapa.

4.6 VERSÃO 1.0 DO FRAMEWORK

O *framework* recebeu esta última versão a partir das contribuições do Especialista B. Dentre as contribuições advindas dele, uma delas consiste em definir uma identificação para cada uma das etapas do *framework*, com o objetivo de facilitar a leitura e o entendimento. Outro ponto seria a ampliação da compreensão entre o Sistema Empresarial e suas conexões com o Sistema de Produção.

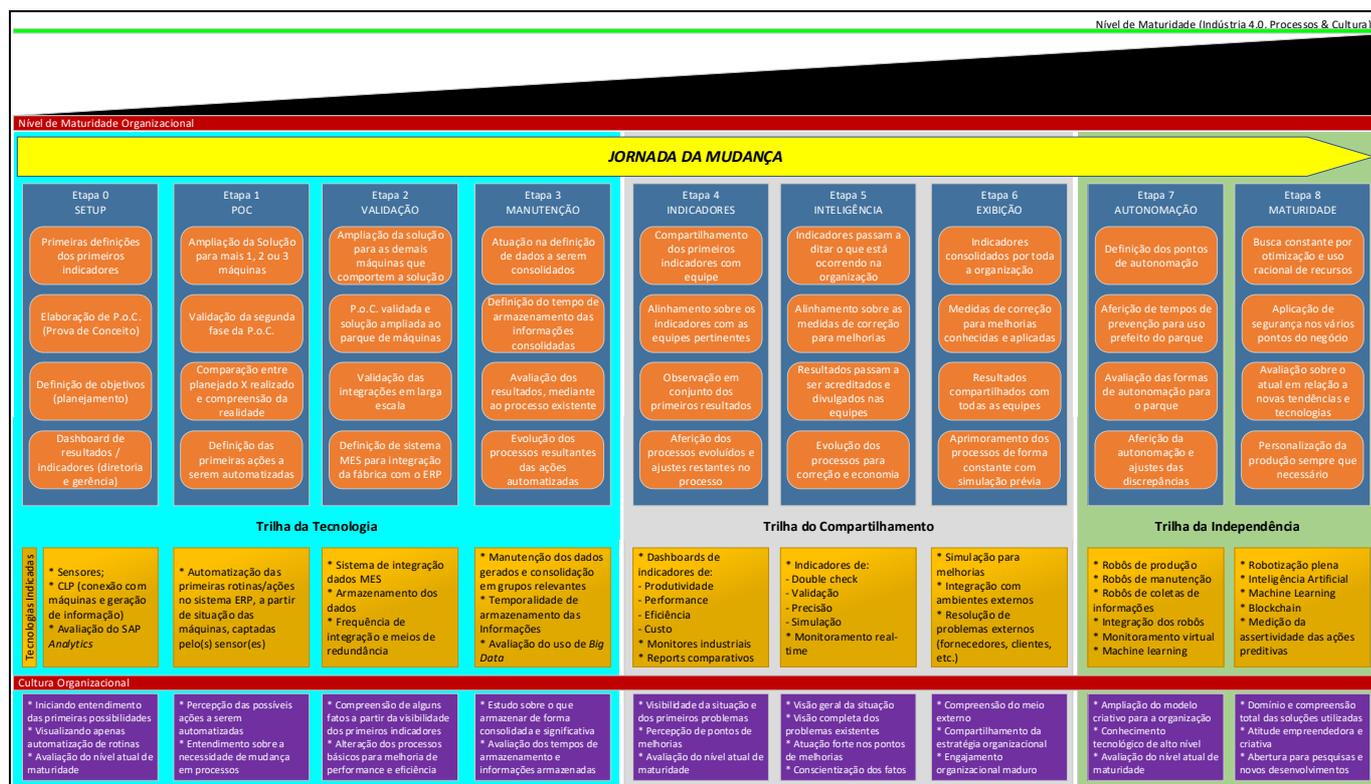
Na sequência, ele sugeriu o estabelecimento de uma “jornada de implantação” dos elementos da digitalização, envolvendo um diagnóstico do nível de

maturidade atual, representando a situação atual, um objetivo que represente o futuro, que seria conhecido como a “estrutura da mudança” e que representaria onde se deseja chegar, bem como, com quais elementos.

Por fim, ele sugere a conexão com o processo de mudanças em si, que pode ser denominado como “jornada da mudança” ou “jornada da transformação”, onde é explicado como se dá a trajetória de todo o processo e onde o envolvimento de fornecedores se faz necessário, gerando um ambiente colaborativo desde o sistema MES até o sistema ERP, envolvendo nos níveis intermediários, que são muito relevantes, uma vez que na Indústria 4.0 seria, praticamente, impossível se trabalhar com um único fornecedor em todo este processo.

As contribuições do Especialista B permitiram os ajustes necessários para finalizar a primeira versão *framework*, onde as indicações realizadas estão consideradas.

Figura 20 – *Framework v.1.0*



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O “**Nível de Maturidade Organizacional**” gerado nesta versão ganhou pequenos ajustes. Além da sua representação gráfica ter sido alterada, para simbolizar o crescimento desta maturidade, esta pode ser vislumbrada sobre três

pilares principais: os conceitos da Indústria 4.0 em si, e as tecnologias aplicáveis à organização; os processos organizacionais e suas melhoras; e a evolução da cultura organizacional, e nível de colaboração, profissionalismo, qualidade de entrega, importância na sociedade, dentre outros.

O *framework* passou a transcorrer um caminho que, em jus a contribuição, ficou denominado como “Jornada da Mudança”. Ele permanece com as nove etapas (etapa 0 até a etapa 8), já descritas nas versões anteriores, porém cada uma destas foi denominada, conforme as ações que estão envolvidas em cada uma.

A **Jornada da Mudança** representa a evolução, por meio das ações que a organização precisaria realizar, considerando todos os seus pontos fortes e seus pontos de melhoria para implementar a Indústria 4.0. Todos esses pontos, nas respectivas etapas, terão de ser reavaliados e alguns certamente sofrerão ajustes para que possam ser acoplados ao processo ou para que possam acomodar as demandas que forem necessárias.

Em relação às etapas, que já haviam sido elencadas, elas foram agrupadas em trilhas, conforme as atividades, ações, processos, cultura e tecnologias envolvidas. As trilhas, portanto, consolidam um conjunto de ações, agrupadas nas etapas que estão relacionadas entre si e que ajudam a posicionar a organização em um determinado “momento” do processo, ajudando na identificação, inclusive, do nível de maturidade em que a empresa se encontra.

As primeiras etapas de cada trilha receberam como uma indicação no *frame* de “Cultura Organizacional” a ação de avaliar o nível atual de maturidade. Esta ação compreende a realização da reflexão de como a empresa se encontra, não apenas em nível de tecnologias ou de boas práticas, mas também em níveis de processos produtivos e de questões comportamentais, com o objetivo de validá-los e identificar os pontos de mudanças que serão necessários para suportar toda a trilha. Esta não é uma ação que deve ocorrer apenas na etapa inicial de cada trilha, mas em todas as etapas. Entretanto, colocar ela em evidência nestes momentos indicados, evidencia que há reflexões e ações a serem realizadas.

A primeira trilha, denominada “**Trilha da Tecnologia**”, compreende as primeiras quatro etapas do *framework*. que a organização realiza, quando está sob ela. Ela representa o início do processo, compreendendo a implantação técnica de algumas tecnologias, bem como a avaliação e a validação dos processos

operacionais envolvidos além de iniciar, com os primeiros passos, a compreensão da cultura organizacional existente e identificando os primeiros pontos de mudança.

A Trilha da Tecnologia é composta das seguintes etapas:

Etapa 0 – SETUP continua a corresponder aos primeiros momentos e às primeiras ações a serem feitas, bem como, iniciar os primeiros pensamentos e estratégias sobre o que pode ser realizado, principalmente, para validar algumas iniciativas.

Etapa 1 – POC permanece com o objetivo de validar as iniciativas e entender as barreiras encontrada até o momento. Ela compreende também a materialização das intenções de ações futuras.

Etapa 2 – VALIDAÇÃO segue centrada na validação do que se conseguiu evoluir e inicia os planejamentos da expansão destas primeiras ações, envolvendo os possíveis fornecedores e as tecnologias que poderão ser adotadas.

Etapa 3 – MANUTENÇÃO mantém o objetivo de viabilizar que as ações e atividades realizadas até o momento permaneçam sendo válida, tanto em nível de resultados obtidos quanto em nível de manutenção de toda a solução implementada até o momento.

A segunda trilha foi denominada de “**Trilha do Compartilhamento**”, devido às suas ações visarem, em sua última etapa a publicação de dos resultados obtidos, dos indicadores de produção, bem como da maturidade e da cultura organizacional e compartilhar estas informações, visando evoluções constantes.

A Trilha do Compartilhamento se constitui das seguintes etapas:

Etapa 4 – INDICADORES permanece voltada a extrair informações dos dados que são produzidos na organização, inclusive confrontando uns com os outros para que se gere informações consistentes e aferidas entre si.

Etapa 5 – INTELIGÊNCIA segue a contemplar o uso dos indicadores para a tomada de decisão, de forma mais ágil e mais assertiva, divulgando resultados às equipes e permitindo que o rumo seja corrigido.

Etapa 6 – EXIBIÇÃO continua a compor as ações de divulgação dos resultados e indicadores, compartilhando informações para que as equipes entendam o que está ocorrendo e possam reagir ou agir de forma proativa sem a necessidade da cadeia de “comando-controle”.

A terceira trilha denominada de “**Trilha da Independência**”, tem o objetivo de tonar, através das duas últimas etapas, a organização mais autônoma,

principalmente em relação às situações já conhecidas, visando o mínimo de intervenção humana em atividades e ações repetitivas ou de pouca necessidade de subsidio intelectual.

A Trilha da Independência se consolida nas seguintes etapas:

Etapa 7 – AUTONOMAÇÃO continua com o objetivo de identificar os processos e ações candidatos a autonomia, bem como em viabilizar os meios para sua implantação, mantendo as aferições necessárias até que a consolidação de cada processo, com esta nova abordagem esteja consolidada.

Etapa 8 – MATURIDADE permanece imbuída do objetivo de buscar constantemente melhorias nos patamares mais elevados das indústrias, avaliando, entendendo e, por vezes, criando protótipos e testando soluções para serem aplicadas na organização.

A Jornada da Mudança não finalizaria na Etapa da Maturidade, mas a partir dessa, a organização deveria poder usufruir de melhores aspectos, em níveis tecnológicos e de processos, bem como deveria tornar-se (ou manter-se) como um local bastante interessante para se trabalhar, ao passo em que a sociedade, como um todo, possivelmente irá se beneficiar, sob aspectos diferentes, para além das formas conhecidas de impostos e número de empregos.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A pesquisa realizada a partir do referencial teórico, permitiu obter as informações sobre os conceitos, as características, os princípios e as tecnologias que são utilizadas na Indústria 4.0. Da mesma forma, foi possível identificar como uma série de autores e empresas estão olhando e definindo como aplicar estes conceitos de forma mais assertiva. Alguns autores indicam as aplicações em determinadas indústrias de seus países, o que permite uma visão mais ampliada sobre os pontos, tanto de práticas de sucesso, quanto de dificuldades a serem ultrapassadas em cada indústria e em cada cultura.

Constatou-se, no entanto, que a Indústria 4.0 não é apenas um conjunto de tecnologias colocadas para trabalhar de forma a reduzir erros e falhas humanas ou reduzir custos com o capital humano. Há uma série de considerações a respeito de sua implementação, onde a lente passa por processos e seus ajustes e pela cultura organizacional e quebras de crenças e hábitos. As empresas e suas equipes precisam angariar um nível diferente de maturidade, tanto em nível de processo, quanto em nível de exposição de informações. Os problemas passam a ser exibidos de forma direta, sem rodeios, e isto pode expor alguns setores e gestores. A ineficiência e os erros ficam evidenciados e demonstrados. A organização precisa tratar isto como parte do processo de melhoria e aprendizado. As pessoas precisam se sentir seguras com este grau de exposição. Neste ponto, uma mudança abrupta pode gerar resistência e contornos para resoluções não muito eficientes. É importante entender que estes pontos fazem parte do processo e, com as evidências corretas, eles poderão ser eliminados ou transmutados para a sua aplicação correta.

Ao pesquisar sobre a empresa SAP, foi evidenciado que há constância nas tecnologias, mas há mudança na identificação da marca que a representa, passando de SAP Leonardo, para SAP *Cloud Platform* e, mais recentemente, para *Enterprise Intelligence*. Independentemente disto, foi constatado que a SAP, uma grande empresa de software e sistemas, multinacional, possui uma série de tecnologias para apoiar a Indústria 4.0. Algumas destas tecnologias, já estão implementadas em empresas, mesmo sem o conceito de Indústria 4.0, mas ficou evidenciado que a empresa SAP não consegue atender de ponta-a-ponta todas as necessidades, tecnologias e melhorias nos processos organizacionais para a Indústria 4.0. Assim, um mínimo de parceiras com outros fornecedores se faz necessário para que as

informações geradas no parque fabril (no chão de fábrica) cheguem até a camada em que podem ser consumidas pelos sistemas que estão em um nível mais alto e assim iniciarem a geração de informações de negócios e de gestão.

Outro ponto evidenciado é que se faz necessário planejamento a cada etapa, tanto para implementá-la, quanto pelo que ela irá gerar de mudanças nos processos seguintes, portanto, revisar e ajustar, ou mesmo criar novos processos, podem fazer parte de cada uma das etapas do *framework*. Da mesma forma, ficou perceptível que um projeto de implantação da Indústria 4.0 necessita de um considerável tempo para ser realizado e se chegar a um nível relativamente bom de maturidade.

As empresas A e C estão neste processo desde 2015 e ainda precisarão de mais tempo para conseguir chegar a um nível mais interessante de evolução. Com isto, pode se perceber que não é tão rápido se implantar estes conceitos, mesmo se desejando e possuindo os recursos financeiros que permitem acesso aos artefatos tecnológicos. As mudanças geradas normalmente são relativamente consideráveis e mudam o *status quo* de um conjunto de processos e formatos de trabalho, que podem deixar alguns colaboradores desconfortáveis, com um nível de desconforto bastante variado.

5.1 IMPLICAÇÕES GERENCIAIS

As contribuições deste trabalho para a gestão compreendem a possibilidade de que os gestores, no processo de implantação da Indústria 4.0, tenham a visibilidade do que cada etapa deve cumprir, permitindo ter uma visão mais clara de onde a equipe se encontra exatamente no processo, bem como permite que a equipe se certifique que nenhuma ação deixou de ser executada.

Ao avançar pelas primeiras etapas, consegue-se medir o progresso referente a evolução do processo de implantação, avaliando o desempenho da equipe para superar os obstáculos e impedimentos durante o processo, assim como identificar em quais pontos existem maiores chances de haver bloqueios que impeçam a evolução do trabalho.

À medida que a organização avança nas etapas de evolução do *framework*, as informações sobre o parque fabril passam a ser disponibilizadas, de forma automática e quase em tempo real, para a alta direção, sem a inferência de nenhum colaborador, estando disponíveis a qualquer momento em que os administradores

desejarem consultar. Isto corresponde aos primeiros resultados que podem ser obtidos pela implementação da Indústria 4.0. Estes resultados vão além das informações disponibilizadas, fazendo parte de uma gama de possíveis benefícios que a Indústria 4.0 promete em seus vários pontos de implementação.

Deve ser ressaltado, entretanto, que a Indústria 4.0 compreende pontos além da tecnologia que emprega, pois os processos precisam ser pensados de forma a serem otimizados, melhorados e evoluídos, reduzindo as esperas e os gargalos, bem como as interações internas e externas devem ser observadas e incentivadas à evoluir, contemplando o máximo da cadeia produtiva em seu entorno. Com isto, a maturidade nas transações com seu ecossistema tende a evoluir para novos conceitos, mais eficientes e satisfatórios.

A relação entre gestão e subordinado tende a se tornar mais simples, pois fica evidenciado o que precisa ser feito nas várias posições de trabalho da empresa, bem como o colaborador percebe, de forma mais clara, seu papel e suas responsabilidades dentro do processo produtivo, o que, normalmente, gera um comprometimento maior com os seus afazeres e com suas entregas, bem como reduz a insegurança e, por consequência, o estresse no seu ambiente profissional.

Em relação às atividades e ao ambiente de trabalho, se torna mais simples a transição das atividades mais monótonas e repetitivas para atividades mais dinâmicas e criativas. As atividades que não exigem capacidade criativa, nem experimentação ou testes, passam a ser de alguma forma, conforme o estágio da implantação, automatizadas e realizadas por máquinas. As pessoas, desta forma, começam a ter outras incumbências, como gerar soluções criativas, experimentar novos pontos de vistas, desenvolver novas soluções para os diversos cenários, mesmo que estes já estejam sendo atendidos de alguma forma, bem como, se questionar se seria possível fazer diferente e melhor o que está sendo feito.

Um dos aspectos cruciais a ser observado refere-se à comunicação em todos os sentidos e aspectos, pois percebe-se que os conceitos da Indústria 4.0 impacta não apenas na comunicação máquina-máquina, ou sistemas produtivos frente aos sistemas de gestão, mas também na divulgação de informações de eficiência, por exemplo, o que passa a ser uma comunicação direta sobre a performance da organização, através da divulgação das informações. Isto que pode ser visto, de certa maneira, como um ato de transparência da comunicação organizacional.

Desta forma, é perceptível que um dos grandes pilares da Indústria 4.0 diz respeito à comunicação e algumas de suas características, tais como veracidade, relevância, temporalidade, dentre outras, bem como os impactos que ela gera, buscando-se sempre os resultados mais positivos possíveis.

5.2 OBSERVAÇÕES IMPORTANTES

Uma vez que a comunicação foi observada como um aspecto importante da Indústria 4.0, a importância em relação à proteção das informações segue no mesmo sentido de relevância. Assim observar a segurança dos dados nos momentos corretos da implementação desta iniciativa também é fator importante.

Além das certificações das transações realizadas, através do uso da tecnologia de *Blockchain*, por exemplo, outros pontos de segurança cibernética devem estar sempre em evidência, para garantir ao máximo possível a segurança das transações das informações organizacionais, tanto em nível de comunicação interna, quanto em nível de comunicação externa, bem como, referente à exposição de informações e de dados.

Outra característica importante a ser observada é a necessidade da existência de infraestruturas minimamente adequadas às necessidades do momento, pois conforme já indicado, as informações trafegam por meio de conexões baseadas, normalmente, na internet, o que implica que a organização precisa possuir acesso a uma infraestrutura de rede mínima, que suporte as transações que ela fará uso. Caso venha a ser utilizada as soluções de *Cloud Computing* (computação em nuvem), uma possível alternativa é ter uma infraestrutura que possua redundância de conexão à internet. Portanto, observar as necessidades de infraestrutura à medida que se evolui em qualquer ponto das ações pode vir a ser de grande relevância para o sucesso de cada etapa em que se avança.

Uma terceira consideração importante é evitar que se implemente um projeto de Indústria 4.0 concomitantemente com um projeto de implementação de um sistema ERP. Os esforços necessários e as mudanças caudadas em cada um dos projetos podem gerar impactos de difícil gestão e contorno. Uma boa prática é realizar o projeto de implantação do ERP primeiro, transcórrer pelo seu período de estabilidade em ambiente produtivo e, somente, após isto iniciar os preparativos para o projeto de implementação da Indústria 4.0.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As considerações finais deste trabalho compreendem um conjunto de contribuições – teóricas e práticas – que resultaram da realização deste projeto de pesquisa com compreensões e entendimentos sobre o tema da Indústria 4.0, viabilizando a construção de um *framework* que entende-se que atue como um importante elemento de orientação sobre “por onde começar” e quais as etapas, os recursos e os cuidados necessários para aumentar o grau de sucesso no atingimento dos objetivos, que decorrem da empreitada de implementação dos conceitos da Indústria 4.0, viabilizando um caminho mais seguro nesta jornada.

Estas considerações também contemplam a explicitação dos aprendizados obtidos durante a elaboração do estudo, bem como materializam uma ideia da complexidade e das associações que precisam existir em uma organização para que uma ação dessa magnitude possa ser realizada. Também são relatadas algumas limitações não indicadas no início deste trabalho, contendo ao final uma explicitação da lista de oportunidades vislumbradas para pesquisas futuras.

6.1 CONTRIBUIÇÕES GERAIS

As contribuições teóricas tiveram a intenção de explanar como a Indústria 4.0, de fato, veio a público, em 2011, bem como indicar o que os autores defendem sobre suas tecnologias e seus conceitos. Estas tecnologias são explicadas com bom nível de profundidade, quando pesquisadas individualmente. Desta forma, pretendeu-se aqui trazer uma visão mais generalista, integradora e simplificadora sobre cada uma delas, a fim de facilitar e possibilitar sua compreensão inicial, de forma a permitir uma equalização de conhecimento sobre estas.

As contribuições teóricas também permearam alguns autores sobre os princípios da Indústria 4.0, quais as suas características, o que as organizações precisariam observar, bem como trazem à tona a maturidade e a estrutura corporativa que deverá ser desenvolvida ao longo de sua implementação.

O estudo sobre a empresa SAP viabiliza entender como uma grande empresa de software, detentora de tecnologias diferenciadas, pode ajudar na implementação dos conceitos e práticas da Indústria 4.0. Fica evidente nesta pesquisa também que, mesmo uma empresa com o porte e as tecnologias que a SAP possui, não

consegue contemplar todos os aspectos que uma jornada desta complexidade precisa considerar.

O *framework* foi elaborado a partir dos conhecimentos teóricos adquiridos e da obtenção das informações, oriundas das experiências das organizações pesquisadas, quando estas relatam: (i) suas dificuldades; (ii) seus erros e acertos, (iii) suas perspectivas quando do início da jornada; (iv) o aprendizado advindo de experimentar o que deu certo disto e o que não deu. Estes relatos tornam possível conjecturar um caminho mais seguro, com mais acertos do que de equívocos, para a implementação da Indústria 4.0, bem como é possível também, quando do início de um projeto desta envergadura, possuir uma visão geral sobre as etapas que serão palmilhadas.

A percepção sobre as mudanças a serem causadas em uma empresa, quando se decide pela implantação dos conceitos e práticas da Indústria 4.0 bem como suas proporções e impactos, é algo relevante. Ao se ter uma melhor ideia do que está por vir, a organização consegue se preparar melhor para as ações e mudanças necessária, pois, conforme relatado, as organizações pesquisadas neste estudo não tinham muito claro estes pontos, nem mesmo os conceitos iniciais disto situação que se entende que os aprendizados desta pesquisa, organizados e sistematizados na forma de um *framework*, irão minimizar. As barreiras e mudanças que as empresas mais experientes tiveram que transpassar puderam ser visualizadas.

Desta forma, almeja-se que o *framework*, bem como este trabalho como um todo, possa apoiar as indústrias, principalmente as de transformação, que queriam iniciar ou realizar, mesmo que parcialmente, a implementação dos conceitos da Indústria 4.0. As mudanças que serão necessárias, bem como a predisposição a realizá-las deverá entrar no planejamento da organização para esta ação e o *framework* poderá contribuir, indicando o que pode ser utilizado e o que se esperar em cada etapa. Compreender estas facilidades, assim como as limitações da solução estudada, permitem uma maior assertividade na jornada de implementação dos conceitos da Indústria 4.0 em uma organização.

6.2 LIÇÕES APRENDIDAS

Dentre as lições que se pôde obter com a realização deste trabalho, uma dentre as que se destacaram foi referente à cultura. As organizações, no geral, desenvolvem suas culturas ao longo dos anos de sua existência e para muda-la, se faz necessário uma série de ações e de quebras de paradigmas. O estudo teórico ajudou nesta compreensão, mas a dimensão prática observada nas organizações pesquisadas, conforme os relatos demonstraram, confirmam os aspectos não formais da cultura organizacional, onde as pessoas, frequentemente de forma involuntária, continuam realizando ações e mantendo práticas ou conceitos que não estão alinhados com a nova realidade. Isto foi percebido nos relatos das organizações pesquisadas, onde, por exemplo, o indicador de produção era diferente do que a literatura indica e, mesmo diante disto, alguns colaboradores entendiam que o indicador de produção utilizado até aquele momento é o que deveria continuar a ser empregado, reagindo às recomendações da literatura, ao que a consultoria pregava e ao que a direção da empresa desejava.

Exibir a produtividade das equipes, máquinas paradas, as perdas produtivas, os pontos ainda problemáticos no processo, sem o temor de represálias, punições ou demissões viabilizam a quebra destes paradigmas obsoletos nas organizações. Outros pontos como perda de matéria prima (ou de produção) ou postura profissional diante de algumas situações propícias a algum tipo de atitudes de “ter alguma vantagem” que até então poderiam até ser tidos como “normais” ou mesmo “comuns” e que precisam também fazer parte da mudança, tornam a implantação da Indústria 4.0 algo bastante complexo, área em que esta pesquisa pretende ter trazido contribuições relevantes, permitindo ao pesquisador entender que os objetivos desta dissertação foram plenamente atingidos.

Adicionalmente ao aprendizado, constatou-se também que pode ser muito difícil que a solução, do ponto de vista tecnológico, venha de um único fornecedor, pois o parque de máquinas pode ser bastante variado, assim como os contextos competitivos podem ser extremamente diversos, dificultando que um único fornecedor possa ter as melhores soluções para este ambiente de grande diversidade.

6.3 LIMITAÇÕES IDENTIFICADAS

O *framework*, depois de gerada sua versão 1.0, ainda precisa sofrer validações que dependem da sua aplicação operacional, o que não foi possível no horizonte temporal da construção desta pesquisa de mercado, pois isto depende de uma empresa estar disponível para iniciar um projeto desta envergadura.

Outra limitação é a abrangência pelo tipo de setor da indústria escolhida para a geração do artefato, pois em outros setores ou outras indústrias poderá haver necessidade de mudanças ou adaptações no *framework* elaborado.

As observações sobre a cultura organizacional podem vir a ser diferentes. Portanto, devido a estes pontos, além de possíveis outros não relatados, o *framework* pode não apresentar os resultados esperados, ou pelo menos, não ser aplicável de forma integral.

Ainda é possível que, ao pesquisar mais empresas, do mesmo ramo, poderiam surgir mais contribuições e pontos a serem considerados e aperfeiçoados. Neste mesmo raciocínio, empresas do setor público poderiam apresentar situações e necessidades distintas, complementares ou adicionais, implicando em necessidade de adaptações e incrementos no artefato gerado.

6.4 PESQUISAS FUTURAS

Como futuros estudos, o *framework* elaborado poderia ser aplicado a empresas do setor, observando-se que o projeto poderia levar mais de 02 (dois) anos para ser realizado. Em outros estudos, poderiam ser realizadas avaliações em outras áreas da indústria, no setor de serviços, em empresas públicas e em multinacionais, que normalmente apresentam culturas organizacionais, de certa forma, relacionadas à cultura do país em que se encontram.

Ao ampliar as possibilidades de novas pesquisas, poder-se-ia abranger outros sistemas de ERP e elaborar conexões com as tecnologias com o fornecedor deste sistema, bem como seria possível se estudar situações em que as organizações não tenham um único provedor de soluções em nível de sistemas de controle organizacional, avaliando-se como se deveria implementar a Indústria 4.0, sob um conjunto diversificado de soluções tecnológicas.

Outra sugestão de pesquisa seria entender como tratar a situação da nova demanda de empregos que está sendo gerada, assim como, dar um direcionamento aos colaboradores atuais que poderão vir a ficar sem seus empregos, tanto pelo desconhecimento técnico, quanto pela redução da necessidade de pessoas nas organizações, visto que o trabalho poderá ser realizado, em alguns casos, por máquinas, robôs e ações automatizadas ou autônomas.

Ainda como sugestão de pesquisa, que poderia ser muito interessante, surge a questão de como conectar, ajustar e aplicar a Indústria 4.0 aos processos de produção mais eficientes, como o Sistema Toyota de Produção, ou seja, o *Lean Manufacturing* e seus processos, tais como, análise “*kaizen*”, produção “*pull*” e falhas “*Poka-Yoke*”, por exemplo.

REFERÊNCIAS

- ACETO, Giuseppe; PERSICO, Valerio; PESCAPÉ, Antonio. Industry 4.0 and health: internet of things, big data, and cloud computing for healthcare 4.0. **Journal of Industrial Information Integration**, [S.l.], v. 18, 2020.
- BAHRIN, Mohd Aiman Kamarul; OTHMAN, Mohd Fauzi, AZLI, Nor Hayati Nor, TALIB, Muhamad Farihin. Industry 4.0: a review on industrial automation and robotic. **Jurnal Teknologi**, [S.l.], v. 78, n. 6 – 13, p. 137 – 143, 2016.
- BARBOSA, Gustavo F.; SHIKI, Sidney B.; SAVAZZI, José O. Digitalization of a standard robot arm toward 4th industrial revolution. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [S.l.], v. 105, p. 2707 – 2720, 2019.
- BELLI, Laura; DAVOLI, Luca; MEDIOLI, Alice; MARCHINI, Pier Luigi; FERRARI, Gianluigi. Toward industry 4.0 with IoT: optimizing business processes in an evolving manufacturing factory. **Frontiers in ICT**, [S.l.] v. 6, article 17, 2019.
- BISANDU, Desmond B. Design science research methodology in Computer Science and Information Systems. **International Journal of Information Technology**, [S.l.], 2016.
- CERUTI, Alessandro; MARZOCCA, Pier; LIVERANI, Alfredo; BIL, Cees. Maintenance in aeronautics in an industry 4.0 context: the role of augmented reality and additive manufacturing. **Journal of Computational Design and Engineering**, [S.l.] v. 6 p. 516 – 526, 2019.
- CHARRUA-SANTOS, F.M.B; SANTOS, B. P.; ALBERTO, A.; LIMA, T.D.F.M. Indústria 4.0: desafios e oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, [S.l.] v.4, n.1, p.111 – 124, 2018.
- CHIARELLO, Filippo; TRIVELLI, Leonello; BONACCORSI, Andrea; FANTONI, Gualtiero. Extracting and mapping industry 4.0 technologies using wikipedia. **Computer in Industry**, [S.l.] v. 100, p. 244 – 257, 2018.
- DELOITTE. Industry 4.0: challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies. **Deloitte AG**, [S.l.], p. 1 - 30. 2015.
- DRESCH, Aline; LACERDAS, Daniel P.; ANTUNES JÚNIOR, José, A. V. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- DUAN, Lian; XU, Li Da. Big data for cyber physical systems in industry 4.0: a survey. **Enterprise Information Systems**, [S.l.], v. 13, article 2, p. 148 – 169, 2019.
- FRANK, Alejandro Germán; DALENOGARE, Lucas Santos; BENITEZ, Guilherme Brittes; AYALA, Néstor Fabián. The expected contribution of industry 4.0 technologies for industrial performance. **International Journal of Production Economics**, [S.l.], v. 204, p. 383 – 394, 2018.

FRANK, Alejandro Germán; DALENOGARE, Lucas Santos; AYALA, Néstor Fabián. Industry 4.0 technologies: implementation patterns in manufacturing companies. **International Journal of Production Economics**, [S./], v. 210, p. 15 – 26, 2019.

GONÇALVES, Murilo Porto. **Proposta de implementação da indústria 4.0 na área de logística**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Transportes e Logística) – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016.

HALEEM, Abid; JAVAID, Mohd. Additive manufacturing applications in Industry 4.0: a review. **Journal of Industrial Integration and Management**, [S./], v. 4. n. 4, 2019.

HASEEB, Muhammad; HUSSIAN, Hafezali I., SLUSARCZYK, Beata; JERMSITTIPARSERT, Kittisak. Industry 4.0: a solution towards technology challenges of sustainable business performance. **MDPI Social Sciences**, [S./], v. 8, n. 154. 2019.

HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. Design principles for Industrie 4.0 scenarios: a literature review. **Working Paper**, [S./], n. 1, 2015.

HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. Design principles for Industrie 4.0 scenarios: a literature review. **IEEE Computer Society**, [S./], p. 3928 – 3937, 2016.

KARAMPIDIS, Konstantinos; PANAGIOTAKIS, Spyros; VASILAKIS, Manos; MARKAKIS, Evangelos K.; PAPADOURAKIS, Giorgos. Industrial cybersecurity 4.0: preparing the operational technicians for Industry 4.0. **IEEE Computer Society**, [S./], p. 1 – 6. 2019.

LEZZI, Marianna; LAZOI, Mariangela, CORALLO, Angelo. Cybersecurity for Industry 4.0 in the current literature: a reference framework. **Computers in Industry**, [S./], v. 103, p. 97 – 110, 2018.

LIAO, Yongxin; DESCHAMPS, Fernando, LOURES, Eduardo de Freitas Rocha; RAMOS, Luiz Felipe Pierin. Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. **International Journal of Production Research**, [S./], v. 55, n. 12, p. 3609 – 3629, 2017.

MACDOUGALL, William. Industrie 4.0: smart manufacturing for the future. **Germany Trade and Invest**, [S./], 2014.

MADAPUSI, Arun; D'SOUZA, Derrick. Aligning ERP systems with international strategies. **Information Systems Management**, [S./], v. 22, article 1, p. 7 – 17, 2005.

MASOOD, Tariq; EGGER, Johannes. Augmented reality in support of industry 4.0 - implementation challenges and success factors. **Robotics and Computer Integrated Manufacturing**, [S./], v. 58, p. 181 – 195, 2019.

MAZZAFERRO, José A. E. Indústria 4.0 e a qualidade da informação. **LS&TC Soldagem e Inspeção**, [S./], v. 23, n. 1, p. 1 – 2, 2018.

MESICEK, Libor. Case study of SAP curriculum adoption and education process. **Journal of Systems Integration**, [S.I.], v. 9, n. 4, 2018.

MOHELKA Hana; SOKOLOVA, Marcela. Management approaches for industry 4.0 – the organizational culture perspective. **Technological and Economic Development of Economy**, [S.I.], v. 24, n. 6, 2018.

MOKTADIR, Md. Abdul; ALI, Syed Mithun; KUSI-SARPONG, Simonov; SHAIKH, Md. Aftab Ali. Assessing challenges for implementing Industry 4.0: implications for process safety and environmental protection. **Process Safety and Environmental Protection**, [S.I.], v. 117, p. 730 – 741, 2018.

MOSTAFA, Mohanad Mohamed Mahmoud. **Industry 4.0 (MES Implementation by SMEs)**. 2018. Tesi di laurea (Corso di laurea magistrale in Ingegneria Gestionale – Engineering and Management) – Politecnico di Torino, Italia, 2019.

O'DONOVAN, Peter; GALLAGHER, Colm; LEAHY, Kevin; O'SULLIVAN, Dominic T.J. A comparison of fog and cloud computing cyber-physical interfaces for industry 4.0 real-time embedded machine learning engineering applications. **Computers in Industry**, [S.I.], v. 110, p. 12 – 35, 2019.

PASQUALOTTO, Adalberto; BUBLITZ, Michelle. Desafios do presente e do futuro para as relações de consumo ante indústria 4.0 e a economia colaborativa. **Revista de Direito, Globalização e Responsabilidade nas Relações de Consumo**, [S.I.], v. 3, n. 2, p. 62 – 81, 2017.

PEFFERS, Ken; TUUNANEN, Tuure; ROTHENBERGER, Marcus A.; CHATTERJEE, Samir. A design science research methodology for information systems research. **Journal of Management Information Systems**, [S.I.], v. 24, n. 3, p. 45 – 77, 2007.

ROJKO, Andreja. Industry 4.0 concept: background and overview. **International Journal of Interactive Mobile Technologies**, [S.I.], v. 11, n. 5, p. 77 – 90, 2017.

RUBMANN, M.; LORENZ, M.; GERBERT, P.; WALDNER, M.; JUSTUS, J.; ENGEL, P.; HARNISCH, M. Industry 4.0: the future of productivity and growth in manufacturing industries. **Boston Consulting Group**, [S.I.], 2015.

THE INTELLIGENT enterprise: turning insight into action to win in the experience economy. *In*: SAP SE. [S.I.], ©2019a. Disponível em: <https://www.sap.com/products/intelligent-enterprise.html?pdf-asset=6a73bad3-707d-0010-87a3-c30de2ffd8ff&page=1>. Acesso em: 17 mar. 2020.

TECHNOLOGY & INNOVATION overview and outlook: business technology platform – the fastest way to turn data into business value. *In*: SAP SE. [S.I.], ©2019b. Disponível em: <https://www.sap.com/products/intelligent-enterprise.html?pdf-asset=fa09d6fc-4b7d-0010-87a3-c30de2ffd8ff&page=1>. Acesso em: 17 mar.2020.

FROM INVENTING the enterprise software sector to helping the world run better. *In*: SAP SE. [S.I.], ©2020a. Disponível em: <https://www.sap.com/corporate/en/company/history.html?pdf-asset=70eee289-847d-0010-87a3-c30de2ffd8ff&page=1>. Acesso em: 17 mar.2020.

SAP's strategy for Industry 4.0. *In*: SAP SE. [S.I.], ©2020b. Disponível em: https://www.sap.com/products/digital-supply-chain/industry-4-0.html?url_id=banner-glo-homepage-row8-industry4-0-mar20r2&pdf-asset=7eb945d8-777d-0010-87a3-c30de2ffd8ff&page=1. Acesso em: 17 mar.2020.

SCHUH, Günther; ANDERL, Reiner; GAUSEMEIER, Jürgen; HOMPEL, Michael ten; WAHLSTER, Wolfgang. Industrie 4.0 maturity index. Managing the digital transformation of companies. **Acatech National Academy of Science and Engineering** ("acatech STUDY"), [S.I.], 2017.

SLUSARCZYK, Prof. Beata – PhD. Industry 4.0: are we ready? **Polish Journal of Management Studies**, [S.I.], v.17, n. 1, 2018.

SRINIVASAN, Rengarajan; GIANNIKAS, Vaggelis; MCFARLANE, Duncan; THORNE, Alan. Customizing with 3d printing: the role of intelligent control. **Computers in Industry**, [S.I.], v. 103, p. 38 – 46, 2018.

STOJKIĆ, Željko; VEŽA, Ivica; BOŠNJAK, Igor. A concept of information system implementation (CRM and ERP) within Industry 4.0. **Danube Adria Association for Automation and Manufacturing – DAAAM**, [S.I.], p. 912 – 919, 2016.

STRASSBURGER, Steffen. On the role of simulation and simulation standards in Industry 4.0. **Information Technology in Production and Logistics**, [S.I.], v.12, 2019.

SUNG, Tae Kyung. Industry 4.0: a Korea perspective. **Technological Forecasting & Social Change**, [S.I.], v.132, p. 40 – 45, 2018.

ULLAH, Amm Sharif. Modeling and simulation of complex manufacturing phenomena using sensor signals from the perspective of Industry 4.0. **Advanced Engineering Informatics**, [S.I.], v. 39, p. 1 – 13, 2019.

WITZEL, Olaf; WILM, Stefan; KARIMANZIRA, Divas; BAGANZ, Daniela. Controlling and regulation of integrated aquaponic production systems: an approach for a Management Execution System (MES). **Information Processing in Agriculture**, [S.I.] v. 6, p. 326 – 334, 2019.

ZEBA, G. PhD; LUCIĆ J; Čičak M.Sc. M. ERP systems in croatian enterprises and Industry 4.0. **International Scientific Journal "Industry 4.0"**, [S.I.], v. 4, i. 6, p. 313 – 316, 2019.

ZIKRIA, Yousaf B.; YU, Heejung; AFZAL, Muhammad K.; REHMANI, Mubashir H.; HAHM, Oliver. Internet of Things (IoT): operating system, applications and protocols design, and validation techniques. **Future Generation Computer Systems**, [S.I.], v. 88, p. 699 – 706, 2018.

APÊNDICE A – QUESTÕES DE ENTREVISTA – SAP

Questões	Referências
1. Quais foram os primeiros motivos/indícios/fatos que levaram a empresa SAP a criar a plataforma SAP Leonardo? Apenas a indicação do governo alemão em 2011, por exemplo? Ou já existia demanda de clientes para isto? Ou ainda, a ideia de <i>smart factories</i> surgindo nos EUA, por exemplo?	HERMANN et al., 2015 MOHELSKA et al., 2018
2. Como o mercado reagiu em nível de viabilidade de implantação do SAP Leonardo? Consideraram a possibilidade como viável, ou ainda ficaram no nível de orçamentação, avaliando inclusive sua própria realidade?	SAP SE, 2019b SAP SE, 2020b
3. Quantas e quais implantações já foram realizadas, em nível de Brasil, de América Latina e Mundo? Quais as mais marcantes/relevantes/impactantes para a empresa SAP? Por quê?	SAP SE, 2019b SAP SE, 2020b
4. Quais os segmentos de empresas que o SAP Leonardo consegue atender com maestria? Quais aqueles segmentos que são atendidos minimamente? Qual o <i>roadmap</i> de segmentos previstos?	CHARRUA-SANTOS et al., 2018 CHIARELLO et al., 2018 FRANK et al., 2018 HASEEB et al., 2019 SLUSARCZYK, 2018
5. Quais os principais desafios para concretizar a venda da implantação do SAP Leonardo? Quais os argumentos/motivos são mais utilizados? Quais os maiores receios percebidos?	DELOITTE, 2015 MOKTADIR et al., 2018 PASQUALOTTO et al., 2017
6. Qual a previsibilidade de retorno sobre o investimento, vislumbrado pelas vendas realizadas? Como esta previsão é feita? O que ela considera em nível de cenário de mercado do cliente e em nível de realidade do cliente?	SAP SE, 2019a SAP SE, 2020a

Questões	Referências
7. Quais os principais desafios, em nível de planejamento de projeto, para a realização da implantação do SAP Leonardo?	SCHUH et al., 2017
8. Estes desafios se concretizaram no momento da execução ou surgiram outros? Quais seriam eles e quais os motivos de eles surgirem?	MESICEK, 2018
9. Após estes projetos, a empresa SAP revisa seus processos e tecnologias para gerar um novo nível maturidade da plataforma e do processo de implementação?	MADAPUSI et al., 2005 STOJKIĆ et al., 2016 ZEBA et al., 2019
10. Com os projetos já implantados, quais os pontos que a plataforma surpreendeu quanto ao resultado esperado e quais os pontos em que foram necessários mais esforço para atingir o objetivo?	SAP SE, 2019b SAP SE, 2020b
11. A empresa SAP possui uma metodologia já definida de implantação do SAP Leonardo, considerando todas as possíveis tecnologias que a Indústria 4.0 considera?	ROJKO, 2017
12. Nos projetos, já realizados quais foram os pontos considerados impactantes para a sua realização?	HERMANN et al., 2015 MOHELKA et al., 2018
13. Nos projetos já realizados, quais foram os cuidados, tomados ou não, para sua realização?	MADAPUSI et al., 2005 STOJKIĆ et al., 2016 ZEBA et al., 2019
14. Nos projetos já realizados, o que poderia ter sido feito de forma diferente para melhorar a sua realização?	MADAPUSI et al., 2005 STOJKIĆ et al., 2016 ZEBA et al., 2019
15. Os projetos realizados até o momento foram em quais segmentos da economia, no Brasil? E na América Latina? E em outros países ainda?	SCHUH et al., 2017
16. Quais são os próximos projetos previstos e com quais melhorias de processo de implantação e quais pontos de atenção eles serão realizados?	MACDOUGALL, 2014

APÊNDICE B – QUESTÕES DE ENTREVISTA – EMPRESAS

Questões	Referências
1. Quais os principais indícios que surgiram para fazer a empresa se voltar para a implantação da Indústria 4.0 ou dos seus conceitos? Quando se percebeu que era necessário investir neste impulso/nível tecnológico?	CHARRUA-SANTOS et al., 2018 CHIARELLO et al., 2018 FRANK et. al., 2018 HASEEB et al., 2019 SLUSARCZYK, 2018
2. O que passou a ser considerado para a tomada da decisão de iniciar para esta ação? Como se deu este crescimento de movimento nesta direção de tecnologia?	GONÇALVES, 2016.
3. Qual a previsão de impacto cultural e estrutural foi percebida no momento de percepção da necessidade? Quais eram os atores previstos naquele momento?	SCHUH et al., 2017
4. Como se deu a busca pelo aprofundamento do conhecimento, dos conceitos e das respostas para as necessidades que estavam evidenciadas?	SCHUH et al., 2017
5. Como foi a tomada de decisão para a realização do projeto? Quais os fatores que foram decisivos? Quais as expectativas no primeiro momento?	DELOITTE, 2015 MOKTADIR et al., 2018 PASQUALOTTO et al., 2017
6. Quais os desafios vislumbrados para a execução do projeto e quais os pontos de maior necessidade de atenção, quando em tempo de planejamento?	BAHRIN <i>et al.</i> , 2016 RUBMANN et al., 2015 SUNG, 2018
7. Durante a execução estes pontos se concretizaram? Surgiram novos obstáculos a serem ultrapassados/riscos que perderam probabilidade de ocorrer durante a execução?	BAHRIN <i>et al.</i> , 2016 RUBMANN et al., 2015 SUNG, 2018
8. Qual foi o tempo de execução do projeto, desde sua contratação até seu término? E quanto tempo para definir e decidir por executá-lo e sua inicialização? O que foi definitivo para o uso destes tempos?	HERMANN et al., 2015 MOHELSKA et al., 2018

Questões	Referências
9. Quais foram as etapas definidas para a execução do projeto? Qual delas é a mais sensível e quais obstáculos que não estavam previstos surgiram?	SCHUH <i>et al.</i> , 2017
10. O custo do investimento ficou dentro do esperado? Houve outros custos para a empresa que não estavam diretamente ligados ao projeto, mas que eram relacionados a ele, tanto antes de sua execução como após sua execução?	SCHUH <i>et al.</i> , 2017 ROJKO, 2017
11. O retorno sobre o investimento ficou estipulado em quanto tempo e este planejamento se concretizou no prazo esperado (ou está para se concretizar no prazo definido)?	SCHUH <i>et al.</i> , 2017 ROJKO, 2017
12. Quais foram os pontos impactantes na realização do projeto?	SCHUH <i>et al.</i> , 2017
13. Quais foram os cuidados, tomados e não tomados, na realização do projeto?	MADAPUSI <i>et al.</i> , 2005 STOJKIĆ <i>et al.</i> , 2016 ZEBA <i>et al.</i> , 2019
14. O que desapontou no projeto em nível de tecnologia/ solução tecnológica escolhida?	SCHUH <i>et al.</i> , 2017
15. O que poderia ter sido realizado de forma diferente no projeto, afim de melhorar sua execução/realização?	BAHRIN <i>et al.</i> , 2016 RUBMANN <i>et al.</i> , 2015 SUNG, 2018
16. A partir deste projeto, quantos e quais outros projetos surgiram ou se tornaram passíveis de execução?	CHARRUA-SANTOS <i>et al.</i> , 2018 CHIARELLO <i>et al.</i> , 2018 FRANK <i>et al.</i> , 2018 HASEEB <i>et al.</i> , 2019 SLUSARCZYK, 2018
17. Quais foram os principais impactos organizacionais resultantes a partir da conclusão deste projeto?	SCHUH <i>et al.</i> , 2017 ROJKO, 2017

APÊNDICE C – TERMO DE CONSENTIMENTO – UNISINOS

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
Unidade de Pesquisa e Pós Graduação
Programa de Pós-Graduação em Gestão e Negócios

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Prezado (a) participante:

Meu nome é **ETELMIR BITENCOURT MACHADO** e sou estudante do curso de Mestrado Profissional em Gestão e Negócios na Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS. Estou realizando uma pesquisa, sob supervisão do professor **OSCAR RUDY KRONMEYER FILHO**, que tem por objetivo **A pesquisa da Indústria 4.0 e a tecnologia SAP Leonardo ou outras para este fim**.

Solicitamos sua participação, através de uma entrevista individual ou da equipe. Essa atividade ocorrerá em momento previamente combinado. Cabe mencionar que, preferencialmente, a entrevista será gravada em áudio. A sua participação nesse estudo é voluntária e se você decidir não participar ou quiser desistir, em qualquer momento, tem absoluta liberdade de fazê-lo.

Na publicação dos resultados desta pesquisa, sua identidade será mantida no mais rigoroso sigilo. Serão omitidas todas as informações que permitam identificá-lo(a). Mesmo que você não perceba benefícios diretos em participar, é importante considerar que, indiretamente, você estará contribuindo para a compreensão do fenômeno estudado e para a produção de conhecimento científico.

Quaisquer dúvidas relativas à pesquisa poderão ser esclarecidas pelo pesquisador, cujo o telefone é **(51) 98443-1562** e e-mail é etelmir@gmail.com ou pela Unisinos, no telefone **(51) 3591-1122**, ramal **3716**.

Porto Alegre, 24 de Setembro de 2019.
Local e Data

Atenciosamente,

Aluno: **Etelmir Bitencourt Machado**
CPF: **745.736.839-68**
Matrícula: **0414126**

Prof. Dr. Oscar Kronmeyer
(Professor Orientador)

APÊNDICE D – RESUMO FINAL DO PROFISSIONAL ESPECIALISTA

Eu acho que o framework deixa de abordar uns aspectos importantes de Tecnologia da automação e de tecnologia da informação... são dois mundos que se encontram mas não se conectam muito bem... Não há solução mágica, mas as etapas de 0 a 4 são Tecnologia da Automação quase exclusiva e as etapas de 3 a 7 são mais relacionadas a parte de Tecnologia da Informação (. veja a parte de integração com ambientes externos)... esse overlap compreendido pela 3 e 4 não tem uma solução elegante na camada do ERP e nem na camada de automação... elas precisam de um ambiente de conexão – por isso sistemas de manufatura MES conectados ao ERP existem... para atender de 0 a 4 e conectar com o resto do framework. Outra questão que pode te gerar perguntas na banca é que olhando o framework e as etapas a minha percepção é que parece que ele foi pensado somente ao redor do SAP... o que é uma restrição bem considerável e pode causar alguns desconfortos na tua defesa (justifique muito bem na abertura se for isso mesmo).

O volume de dados coletado e tratado dentro das camadas de 0 a 4 rapidamente pode virar astronômico... eles precisam ser consolidados em relação a um contexto específico (turno, dia, ordem de produção, ferramenta, máquina)... Imagine no nosso caso onde são produzidas 30.000 peças por dia e hoje estamos coletando coletando 50 variáveis por peça, são 150.000 por dia... num ano são 45.000.000 de registros e isso é só para 15 máquinas... nosso parque tem 600. Não faz o mínimo sentido armazenar essa infinidade num ERP. Somente o que tiver uma relevância muito grande para o processo e por um tempo definido... Ouvimos muito nos fóruns, palestras e conferências sobre essa abordagem de coletar tudo e armazenar tudo porque um dia esses dados vão produzir valor... Isso se provou um pouco exagerado na minha experiência... essa abordagem é especialmente estimulada pelos fornecedores de soluções de indústria 4.0... a percepção que eu tenho é de que o objetivo é a venda de soluções complexas de alto nível tecnológico e de alto valor agregado... e para essas funcionarem uma estrutura de dados muito muito rica e refinada precisa existir... É preciso estabelecer um equilíbrio econômico para essa abordagem e essa é uma questão que eu faria na tua banca...

A outra questão é que cada camada implantada do framework necessita de um nível de integração maior e cria uma dependência maior da camada anterior, o que nos traz a questão a confiabilidade e da robustez... a estabilidade de uma solução abrangente como essa é vida ou morte para a manufatura... basta um elemento falhar e uma fábrica toda pode parar... a descentralização hoje é uma estratégia de sobrevivência onde equipamentos operam sem muita dependência dos outros... a interdependência pregada pela Indústria 4.0 pode provocar um aumento do risco de ruptura de operação maior e uma flexibilidade menor... traz o ponto de que passa a existir a clara necessidade de planos de mitigação e contingência mais robustos para o universo integrado.

No mais é isso... boa sorte e muito café... essa é a fase mais complicada: escrever!

APÊNDICE E – RESUMO FINAL DO PROFESSOR ESPECIALISTA

- a) Olhei as páginas que tu recomendastes (me detive apenas nestas páginas);
- b) Uma primeira observação é que acho relevante que cada etapa tenha um nome específico para facilitar o leitor;
- c) De forma geral, senti falta de três aspectos: i) a ideia de uma compreensão maior do Sistema Empresarial e de suas conexões com o Sistema de Produção (isto é essencial para entender mais amplamente o problema em cena); ii) a partir da discussão de maturidade/diagnóstico é essencial estabelecer uma Jornada Geral de implantação dos diferentes elementos da digitalização. Por que? É preciso ter claro nos métodos de implantação três pontos gerais. Ponto 1 – como está hoje (diagnóstico/nível de maturidade; Ponto 2 - o desenho do futuro (eu tenho o costume de dizer que é a 'Estrutura da Mudança') – isto em geral é um framework com os elementos que queremos chegar; Ponto 3 – O processo da mudança, ou seja, como sair do Ponto 2 para o Ponto 3. É o que chamo de Jornada da mudança;
- d) A Figura 17 (e as outras) está de muito difícil visualização. Sugiro aumenta-las e torna-las mais claras;
- e) Acho que falar de 'produtividade' e 'eficiência' (páginas 77 e 78) eu acho muito genérico. Um ponto importante aqui é definir o que tu entendes por produtividade e eficiência - a questão da precisão conceitual. Ocorre que estas palavras tem múltiplas interpretações;
- f) Ver com o Oscar a afirmação da página 83 é: "... o 'framework' recebeu esta versão a partir do retorno de um especialista de mercado **(que não será identificado)**". No campo acadêmico isto me parece um pouco complicado. Teria que ter uma mínima identificação – quanto mais não seja dizendo 'especialista em que área etc...'. De resto, este especialista faz observações que me parecem muito pertinentes. No mundo da Indústria 4.0 me parece praticamente impossível um único ator no processo. É necessário estabelecer parcerias com outras empresas, se relacionar com as já existentes etc... (por isso torna-se relevante a ideia da Jornada de transformação e, de preferência, com a presença dos diferentes fornecedores envolvidos). Ou seja, o tema da Colaboração, do MÊS (chão de fábrica) aos ERPs (as transações da empresa) e os níveis intermediários envolvidos (que são, também, muito relevantes).
- g) No entanto, o trabalho é interessante e 'bola para frente';
- h) Estou à disposição para as conversas que se fizerem necessárias.

Fraternalmente,

APÊNDICE F – FRAMEWORK – V. 1.0 – FORMATO HORIZONTAL

