

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

GABRIEL PIETA AGNOLIN

**AVALIAÇÃO E ESTUDO DE TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E INDÚSTRIA 4.0
COM MEDIÇÃO DO NÍVEL DE MATURIDADE EM DUAS DIFERENTES
EMPRESAS**

BENTO GONÇALVES

2023

GABRIEL PIETA AGNOLIN

**AVALIAÇÃO E ESTUDO DE TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E INDÚSTRIA 4.0
COM MEDIÇÃO DO NÍVEL DE MATURIDADE EM DUAS DIFERENTES
EMPRESAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador Prof. Dr. Gabriel Vidor

BENTO GONÇALVES

2023

GABRIEL PIETA AGNOLIN

**AVALIAÇÃO E ESTUDO DE TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E INDÚSTRIA 4.0
COM MEDIÇÃO DO NÍVEL DE MATURIDADE EM DUAS DIFERENTES
EMPRESAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Aprovado em

Banca Examinadora

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

Prof. Mateus Panizzon
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Luis Fernando Moreira
Universidade de Caxias do Sul – UCS

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a minha base da vida, que são meus pais, Assis e Marlice, por todo o apoio a mim concedido em todo esse tempo de vivência neste plano terreno, e por permitirem e apoiarem para que eu fizesse a graduação a qual tanto desejava.

Ao meu irmão Rafael, pelo companheirismo e conselhos, apesar da distância, o sentimento sempre será o mesmo, gratidão por tudo.

Aos amigos e colegas, pelo conhecimento adquirido e compartilhado, além da descontração em meio ao turbilhão atual do mundo em um novo período, o pós pandemia.

Aos professores, com menção honrosa ao Prof. Me. Gabriel Vidor, por toda a assessoria e sempre estar presente e pronto para sanar dúvidas em questão a tudo.

*O que sabemos é uma gota,
o que ignoramos é um oceano.*

Sir Isaac Newton

RESUMO

O mundo está um ritmo acelerado jamais visto, seja em avanço tecnológico, seja na parte social entre seres humanos. Desde os primórdios, ainda com e revolução industrial, especula-se e tanto debatido a famosa indústria 4.0. Para que a mesma seja instaurada, incorporada, implementada, alguns fatores terão que ser obedecidos, como é o caso dos famosos pilares tecnológicos. A transformação digital recorrente requer deles, tais quais o big data, computação na nuvem, integração vertical e horizontal, internet das coisas, manufatura aditiva, robôs autônomos, realidade aumentada, segurança digital, simulação e sistemas ciber físicos são os ingredientes da indústria 4.0. Este trabalho visa descrever a maturidade do uso dessas tecnologias em duas empresas de diferentes ramos, sendo uma no mercado de lentes, óptico, e a outra no ramo alimentício. Para cada pilar tecnológico, foi utilizado e inspirado em modelos como referência. Por fim, identificou-se quais foram as tecnologias que se sobressaem nas organizações e onde estão os gargalos, ou lugares onde devem receber mais atenção e investimentos. Analisadas as empresas, constatou-se que existem sistemas que ainda tem que evoluir em dada empresa e na outra e também a experimentação de novas tecnologias traria benefícios maiores.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Transformação digital; Pilares tecnológicos; Modelo de maturidade.

ABSTRACT

The world is at an unprecedented pace, whether in technological advancement or in the social aspect among human beings. Since the early days, even during the industrial revolution, the famous industry 4.0 has been speculated and extensively debated. For it to be established, incorporated, implemented, some factors will have to be followed, as is the case with the famous technological pillars. Recurrent digital transformation requires them, such as big data, cloud computing, vertical and horizontal integration, internet of things, additive manufacturing, autonomous robots, augmented reality, digital security, simulation, and cyber-physical systems are the ingredients of industry 4.0. This work aims to describe the maturity of the use of these technologies in two companies from different sectors, one in the optical lens market and the other in the food industry. For each technological pillar, models were used and inspired as references. Finally, it was identified which technologies stand out in the organizations and where the bottlenecks are, or places that need more attention and investment. After analyzing the companies, it was found that there are systems that still need to evolve in a given company and in the other, and also the experimentation of new technologies would bring greater benefits.

Keywords: Industry 4.0; Digital Transformation; Technological pillars; Maturity models.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Big Data.	15
Figura 2 – Passo a passo para a Manufatura Aditiva.....	15
Figura 3 – Robôs autônomos da fabricação de peças.....	17
Figura 4 - Participação de Mercado Relativa	Erro! Indicador não definido.
Figura 5 - Cinco domínios da transformação digital.....	22
Figura 6 - Guia da transformação digital.....	24
Figura 7 - Os estágios da revolução industrial.	25
Figura 8 - Pilares tecnológicos	27
Figura 9 - Modelo de Maturidade.....	32
Figura 10 - Roteiro para a incorporação da Indústria 4.0.....	36
Figura 11 – Modelo Proposto	39
Figura 12 – Resultado Fábrica Alimentícia.....	56
Figura 13 – Resultado ConceptLab Laboratório Ótico LTDA.....	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Modelo de maturidade M2DDM.....	29
Quadro 2 – Modelo de Maturidade Schumacher et al. (2016).	31
Quadro 3 – Modelos de Maturidade	33
Quadro 4 – Resultado da Fábrica Alimentícia de Veranópolis	55
Quadro 5 – Resultado da ConceptLab Laboratório Ótico LTDA	59
Quadro 6 – Comparativo entre as empresas.	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CCAA	Código de Catalogação Anglo-Americano
TCC	Trabalho de Conclusão do Curso
TGI	Trabalho de Graduação Interdisciplinar
UCS	Universidade de Caxias do Sul
Vol.	Volume

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 JUSTIFICATIVA.....	18
1.2 OBJETIVOS.....	19
1.2.1 Objetivo geral.....	19
1.2.2 Objetivos específicos.....	20
1.3 ABORDAGEM E DELIMITAÇÃO DO TRABALHO.....	20
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1 Transformação digital.....	21
2.2.1 Clientes	22
2.2.2 Competição.....	22
2.2.3 Dados	23
2.2.4 Inovação.....	23
2.2.5 Valor	24
2.3 INDÚSTRIA 4.0.....	25
2.4 PILARES TECNOLÓGICOS	26
2.4.1 Incorporação do sistema horizontal e vertical.....	27
2.5 SISTEMAS CIBERFÍSICOS	27
2.6 REPRESENTAÇÕES DE MATURIDADE	28
2.6.1 Modelo para manufatura com base em dados.....	28
2.6.2 Modelo de avaliação de maturidade para a Indústria 4.0	30
2.6.3 Modelo de Avaliação para a Indústria 4.0	31
2.6.4 Resumo dos modelos.....	33
2.7 MODELOS ESTRUTURAIS DA INDÚSTRIA 4.0	34
2.7.1 Roteiro de implantação da Indústria 4.0.....	34
2.7.2 Roteiro de incorporação da Indústria 4.0	35
2.8 CONSEQUÊNCIAS DA INCORPORAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0	36
3 METODOLOGIA.....	38
3.1 MODOS PARA MEDIÇÃO DE MATURIDADE DO USO DAS TECNOLOGIAS	38
3.1.1 Big Data	39
3.1.2 Computação na Nuvem.....	41

3.1.3 Integração Vertical e Horizontal	42
3.1.4 Internet das Coisas (IoT)	44
3.1.5 Manufatura Aditiva	44
3.1.6 Robôs Autônomos	45
3.1.7 Realidade Aumentada	46
3.1.8 Segurança Digital	47
3.1.9 Simulação	48
3.1.10 Sistemas Ciberfísicos	49
3.2 Aplicação do Método.....	50
4 RESULTADOS	52
4.1 ANÁLISE E DESCRIÇÃO	52
4.1.1 Empresa Alimentícia de Veranópolis	52
4.1.1.1 Big Data.....	52
4.1.1.2 Computação na Nuvem	53
4.1.1.3 Integração Vertical e Horizontal	53
4.1.1.4 Internet das Coisas (IoT)	54
4.1.1.5 Manufatura Aditiva.....	54
4.1.1.6 Robôs Autônomos	54
4.1.1.7 Realidade Aumentada.....	54
4.1.1.8 Segurança Digital	54
4.1.1.9 Simulação	55
4.1.1.10 Sistema Ciberfísico.....	55
4.1.2 ConceptLab Laboratório Ótico LTDA	56
4.1.2.1 Big Data	57
4.1.2.2 Computação na Nuvem	57
4.1.2.3 Integração Vertical e Horizontal.....	57
4.1.2.4 Internet das Coisas (IoT)	57
4.1.2.5 Manufatura Aditiva.....	57
4.1.2.6 Robôs Autônomos	58
4.1.2.7 Realidade Aumentada.....	58
4.1.2.8 Segurança Digital	58
4.1.2.9 Simulação	58

4.1.2.10 Sistema Ciberfísico.....	59
4.2 DEBATE DOS RESULTADOS	61
5 CONCLUSÃO.....	62
6 REFERÊNCIAS	65

1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios, é de instinto do ser humano evoluir, ter curiosidade, aprimorar tudo que existe ao seu redor, se adaptando conforme o passar do tempo e seus desafios impostos. A transformação digital procura suprir mais do que somente desenvolvimento de mecanismos e tecnologias que tornam o cotidiano mais acessível. Busca moldar com as exigências de uma nova realidade, demandando ainda de mudanças radicais de como estruturar as empresas e também a sociedade, por vezes. A transformação digital é uma técnica que usufrui de tecnologias digitais a fim de criar novos jeitos de funcionamento de negócios, experiências e cultura do cliente, tendo como finalidade suprir às diferentes maneiras, mudanças de conduta e procuras do mercado, ou seja, uma forma de se reinventar na nova era moderna digital. Em suma, a transformação seria como um “jogo infinito”, do qual as empresas usufruem para acompanhar o *gap* tecnológico cuja tendência é somente aumentar com o passar do tempo.

Para que se realize a transformação digital desejada, existem três diferentes níveis exigentes nela, que são: Digitização, Digitalização e a Aplicação de Inteligência Artificial.

A digitização seria basicamente transformar tudo o que é analógico para a maneira digital. Conforme Baggio e Flores (2013, p.18), digitalizar significa “ser a ferramenta mais flexível para arquivamento, preservação e acesso a documentos pela forma de armazenar as imagens e outros arquivos em formato digital [...]”, pois assim, une e converte todo e qualquer extensão de arquivo em diferentes suportes, salvando de diversas maneiras. Além de tudo, facilita demais o acesso a todas as pessoas, tornando um avanço tecnológico de extrema importância.

A inteligência artificial, segundo Santiago e Guedes (2020), sempre fez parte do intelecto imaginário da sociedade e motivando, ao longo dos anos, especialistas e pesquisadores a procurarem implementações cujos componentes oferecessem resultados mais promissores que abordagens determinísticas.

Norvig e Russell (2013) descrevem que: “Se o próximo estado do ambiente é completamente determinado pelo estado atual e pela ação executada pelo agente, dizemos que o ambiente é determinístico”. Em outras palavras, o resultado de um algoritmo é determinado pelo estado inicial e pelas ações por ele empreendidas, fazendo que possam ser repetidos e verificados (NORVIG; RUSSEL, 2013, p 23.).

Diferente da inteligência humana, a artificial baseia-se nas metáforas de mecanismos relacionadas àquela, como a predição, o raciocínio, aprendizado, neurônios, sem dar ênfase a

replicação e representação do cérebro e da consciência humana. Segundo Turing, Alan (2015 p. 455) procurou obter resultados por meio do teste de Turing, de maneira que o interrogador somente observando as respostas, não conseguisse fazer distinção se aquelas eram fornecidas por um computador ou por ser humano. Se o computador passasse pelo teste, o tornaria, de fato, inteligente. Para Norvig; Russel (2013), para o computador ter sucesso no teste teria que cumprir tais etapas: Elaboração de linguagem natural, comunicando com êxito em um idioma naturalmente; demonstrar habilidade para conservar o que ouve ou sabe; automatizar o raciocínio, utilizando informações armazenadas para responder perguntas e conseguir novas conclusões; adaptar-se a novas situações, identificar e ultrapassar padrões e; robótica para movimentar-se e manusear objetos. Em suma, perante a tudo que fora descrito, isso é um assunto de conhecimento datado do fim da 2ª Guerra Mundial, suscitando em um enorme interesse em alguns pesquisadores da época, como Alan Turing, Walter Pitts, Donald Webb entre outros.

Um procedimento atual que mudou e ainda muda o patamar da tecnologia para empresas é a indústria 4.0. Ela muda o que era conhecido certa vez como o monopólio dos países desenvolvidos na produção de bens de consumos manufaturados. Diante do exposto, ela surge para elevar o nível de competitividade do mercado. Segundo Souza, Junior e Neto (2017), os pilares da implementação da indústria 4.0 são:

Big data e Analytics: é o armazenamento das informações que necessitam ser consignadas, salvando os dados formados, proporcionando análise após ou em tempo real. De certa forma, isso é de suma importância para a tomada de decisão dos equipamentos, cadeia de produção e máquinas, sendo as decisões, das mais simples, como a requisição de compra da matéria prima, até as mais requisitadas e complexas, parando uma linha de produção, por exemplo. (BLANCHET et al., 2014).

Figura 1 – Big Data.



Fonte: Adaptado de IBM (2017)

Manufatura aditiva: a manufatura aditiva refere-se ao uso de dispositivos que podem criar objetos adicionando material camada por camada, seguindo um modelo digital tridimensional (3D), geralmente criado por meio de um sistema CAD (Computer Aided Design). Dessa forma, o conceito fundamental é a produção através da adição de material, diferenciando-se dos métodos convencionais, nos quais a peça é obtida pela remoção de material (RODRIGUES, 2017).

Figura 2 – Passo a passo para a Manufatura Aditiva



Figura 1: as 8 etapas para o processo da MA.
 Fonte: Additive Manufacturing Technologies.

Fonte: THOMPSON (2011)

Internet das coisas (*Internet of thing; IoT*): é a conexão de rede mútua entre todos os objetos que coexistem nos ambientes, inclusive o próprio ambiente. Conexão essa realizada através de aparelhos eletrônicos, tornando fácil acesso à troca de dados entre o *software*, ambiente virtual, e o *hardware*, ambiente concreto. Isso é possível por causa dos atuadores e sensores, sendo eles a base da indústria 4.0, resultando, dessa forma, na criação de sistemas cyber-físicos. (MIORANDI et al., 2012).

Segurança cibernética: com o mundo cada vez mais “online”, tudo fará parte da rede na filosofia 4.0. Há informações confidenciais na internet industrial, mesmo locada em server próprio, como na nuvem. Com isso, ataques cibernéticos fazem parte do cotidiano e todos estão sujeitos a sofrer tal ato. Portanto, é de extrema importância proteger os sistemas contra ameaças externas (SADEGHI; WACHASMANN; WAIDNER, 2015).

Computação em Nuvem (*Cloud Computing*): informações guardadas na nuvem, sendo possível o acesso remoto de qualquer localidade, composto por servidores, armazenamento, rede, computadores, entre outros. Ela tem como objetivo principal a facilitação do acesso a informações, proporcionando decisões estratégicas (YEN et al., 2014).

Robôs autônomos: com o objetivo de reduzir o uso da participação humana, sobretudo em trabalhos repetitivos, ocorrendo menos erros, acidentes e obtendo maior produtividade. Entretanto, estão ficando mais inteligentes. Dessa forma, a complexidade tem o nível aumentado na execução de tarefas exponencialmente a cada dia, resultando em uma maior

capacidade de processamento e autonomia nas tomadas de decisões. Atuarão seguramente junto com seres humanos e, ainda assim, aprendendo com eles (REHMAN; NECSULESCU; SASIADEKM, 2015).

Figura 3 – Robôs autônomos da fabricação de peças



Fonte: Motoman (2023)

Simulação: é algo corriqueiro no desenvolvimento de produtos, obtenção de matérias-primas e produção. Todavia, futuramente isso será corriqueiro no cotidiano dos colaboradores, unindo mundo real com virtual por sistemas ciberfísicos, sendo mais assertivos. Isso tornará os operadores capazes de otimizar os processos de setup das máquinas, o que reduz custos e aumenta notavelmente a qualidade (SHAO; SHIN; JAIN, 2014).

Realidade aumentada: é a relação de ação conjunta entra o envio de informações em tempo real com aparelhos conectados à internet. Dessa forma, é possível executar tarefas, como realizar um reparo em certa máquina usufruindo óculos de realidade aumentada que detalha o passo a passo para executar o reparo. Isso simplifica os processos, diminui os erros, não necessita de tanto treinamento e especialização, entre outros atributos (PAELKE 2014).

Integração Vertical e Horizontal: a integração horizontal conecta a fábrica à cadeia de valor externa, enquanto a integração vertical une todos os níveis da fábrica, permitindo práticas como manufatura em rede, logística adaptativa e engenharia integrada até o cliente (KAGERMANN et al., 2013).

Perante a tudo que fora descrito, em relação à empresa em que será feito o estudo: apresenta um índice um tanto quanto antiquado, pois ainda faltam alguns detalhes e passos para que seja possível estabelecer como altamente tecnológica. Desse modo, se relata que há atividades que ainda exigem da mão de obra humana para exercer certas atividades, contudo,

há programas, softwares que auxiliam na hora de elaborar tarefas e atividades, além da coleta de dados.

Por se tratar de uma empresa alimentícia, os produtos são originados da soja, por conseguinte, são obtidos alguns derivados, originando produtos tanto para serem vendidos, comercializados, quanto usados como matéria prima para outros.

1.1 JUSTIFICATIVA

Em suma, referente ao contexto e estudo da transformação digital e indústria 4.0, esse é um termo cuja utilização foi utilizada em 2011 e faz parte de um projeto estratégico liderado por Siegfried Dais e Kagermann, visando aumentar a produtividade de indústria alemã, na época, usando inovações de alta tecnologia. Já aquele foi criado em conjunto pelo Capgemini e MIT em 2011. Apesar de atual, o movimento existe há no mínimo 62 anos. Em 1948, o matemático Claude E. Shannon publicou *A Mathematical Theory of Communication*. Relata as bases de como produzir, transmitir, receber e interpretar sinais digitais, introduzindo também o termo bit. Com o passar dos anos, inovações foram surgindo e outros descobrimentos, como nos anos 70 e 80 o boom dos PCs e videogames. Entretanto, no mundo atual, as empresas e organizações buscam a transformação digital mas acabam passando por difíceis obstáculos, sendo os principais: o que fazer e como fazer.

Na sequência, serão apresentados estudos que utilizaram da Transformação Digital para aplicação.

O artigo "A importância da transformação digital para o controle de estoques na indústria" (Oliveira, 2022), apresenta como objetivo de relatar a importância da utilização de ferramentas digitais no controle de estoques. O método utilizado foi a implementação de sistemas integrados de gestão no contexto da indústria, nesse caso, o uso do ERP, que são softwares automatizados com a tendência de organizar os processos internos, ajustar a produção, controlando recursos e atividades, tais quais compras e envios de pedidos. Concomitantemente, a metodologia aplicada foi o levantamento bibliográfico.

Em "Implementação da inteligência artificial do processo de previsão de demanda" (Mattos, Scur 2022), o principal objetivo é investigar como a inteligência artificial (IA) está sendo implementada na gestão de demanda, tipificando os recursos necessários para a criação da capacidade de um Modelo de IA para o processo de prever a demanda. O método utilizado foi através de uma pesquisa, sendo os dados coletados por via de relatórios práticos e

entrevistas com os colaboradores profissionais da empresa, que atuam ou atuaram diretamente no projeto de implementação da tecnologia de IA.

Já no artigo “Transformação digital em modelos de negócios: Uma revisão sistemática da literatura” (Vimieiro, Silva, Bagno 2022), o objetivo é anotar as principais transformações alavancadas e aceleradas na transformação digital dos modelos de negócio ocasionada pela pandemia de Covid-19, relatando quais os fatores que levaram os caminhos da transformação digital, as inovações utilizadas em razão da pandemia e como a transformação digital mudou a redefinição dos modelos de negócio. Para tal, o estudo tem como principal estrutura apresentar o tema e objetivo, elaborar um plano metodológico, síntese a análise de resultados, e terminando com considerações finais. O estudo foi realizado em três etapas, que foram: extrair os dados, selecionar os artigos vigentes e analisar os dados.

Diante dos estudos apresentados, pode-se ter uma base, noção e analisar frente a frente com o presente momento da empresa, concluindo, por fim, em que estágio de transformação digital ela apresenta, além de ajudar a buscar evoluir ainda mais o sistema que nela vigora, sendo tanto como em um âmbito geral, como isoladamente, separando cada setor com suas exigências e nível de avanço.

Por fim, a transformação digital ajudaria a todos, desde os colaboradores, até os gestores que na empresa trabalham. Dessa forma, elevaria ainda mais o nível tecnológico, além de tornar acessível para todas as classes trabalhadoras, tornando o trabalho cada vez mais fácil e acessível.

1.2 OBJETIVOS

Nessa seção, vêm apresentados os objetivos geral e específicos do trabalho.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo do trabalho é desenvolver um estudo da maturidade digital em duas empresas de ramos diferentes, sendo um de grande porte do setor alimentício, tendo como matéria prima principal a soja, produzindo biodiesel, óleo neutro, farelo, casquinha, lecitina, glicerina, entre outros produtos, e a outra, sendo a ConceptLab Laboratório Ótico LTDA, empresa que conta com aproximadamente 45 funcionários, mas que busca atender o território nacional com seus produtos, que no caso são fabricação de lentes, óculos e armações.

1.2.2 Objetivos específicos

Do objetivo geral, derivam-se os específicos:

- Adaptar um modelo de análise da maturidade digital;
- Montar um diagnóstico de maturidade digital para empresa estudada;
- Estabelecer ações para mudar e implantar a transformação digital e indústria 4.0.

1.3 ABORDAGEM E DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Segundo Cauchick, (2007) a relevância metodológica de um trabalho pode ser descrita pela demanda de princípio científico adequado, enfatizado geralmente na busca da melhor interelação de pesquisa a ser usada para remeter os questionamentos da pesquisa, tais quais os métodos e técnicas para seus planos e construção conforme o andamento. A pesquisa racionalista tem como principal função a independência do contexto da pesquisa. Contudo, a gestão de operações é a respeito de natureza aplicada, formada com base na demanda de solucionar problemas que surgem nas organizações (FILIPPINI, 1997).

a) Quanto a transformação digital, há de ser elaborado nos mínimos detalhes um modelo para analisar a maturidade digital o qual se encontra. Com isso, denota-se o que será ou não necessário para futuramente ser alocado o modelo, programa no qual se encaixa melhor nos moldes da empresa que está sendo estudada.

b) Um diagnóstico analisando toda a “planta” da empresa, desde os menores processos até os mais importantes, traçando metas e objetivos a serem atingidos consequentes conforme a maturidade digital vir ocorrendo.

c) Primeiramente, para possível estabilização e implementação da possível transformação digital, uma das ações a serem tomadas é uma reunião com membros superiores, como gestores de setor e gerente, para que possam ser apresentados métodos, planos e ideias.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, são introduzidos os conceitos e definições essenciais para o desenvolvimento do trabalho. Inicialmente, são explorados os pontos de vista dos principais autores no campo da Transformação Digital, seguido pela apresentação dos fundamentos tecnológicos que abrangem esse tópico. São incluídos modelos relacionados à maturidade e implementação da Transformação Digital. O presente capítulo é concluído com uma análise dos impactos potenciais que a adoção dessas tecnologias pode ter nas organizações e na vida cotidiana das pessoas.

2.1 TRANSFORMAÇÃO DIGITAL

Segundo Rogers (2017), em um dado momento da história da humanidade, ocorreu a primeira Revolução Industrial e, com ela, as fábricas dependiam exclusivamente de fontes fixas de energia, sendo a energia hidráulica e a vapor. Além disso, tinham altas limitações, contudo, com o passar do tempo, ocorreu a eletrificação das fábricas em meados do fim do século XIX, eliminando todas as limitações que as anteriores provocavam, levando em consideração os acontecimentos daquela época. Isso obrigou, então, as empresas geradoras de energia, as famosas “startups”, a introduzir a inovação da manufatura. Essas empresas emprestavam às fabricas as suas novas tecnologias para que pudessem testar, gratuitamente, provando além de tudo para os gestores de como a energia elétrica poderia revolucionar e transformar o negócio.

Ainda, conforme Rogers (2017), o impacto na era digital é cada vez maior, pois altera tudo a todo instante no mundo. As tecnologias digitais provocaram mudanças de como é a relação com clientes, dando mais valor e atenção a eles. A relação ficou muito mais interativa e fácil para ambos. O chamado “*feedback*” influencia e muito na hora de confiar em uma empresa ou não. Conforme passam os anos, a competitividade no mercado aumenta cada vez mais, seja direta ou indiretamente. Dessa forma, a competição funciona além do que cada um pode oferecer contra o outro, mas também analisando e concluindo em até que ponto o concorrente pode chegar com suas ideias e inovações. Os recursos não mais ficam centralizados em uma única organização, mas sim em uma rede de parceiros, que podem por via reunir relações de negócios ainda mais difundidas. Em certa época, os dados eram difíceis

e trabalhosos de obter, o contrário do mundo atual, cujo artefato da “nuvem” permite acessar tudo a qualquer hora de qualquer lugar, facilitando a vida de todos.

Perante a tudo isso, Rogers exemplifica que existem cinco domínios presente na transformação digital, que são: clientes, valor, inovação, dados e competição.

Figura 5 - Cinco domínios da transformação digital



Fonte: Rogers, 2017

2.2.1 Clientes

Para Rogers (2017), antes de tudo, o principal fator para fazer acontecer a transformação digital, é a relação com clientes. Antigamente, não se dava muita atenção a eles, visto que o principal era conquistar economias de escala, produzindo em massa e comunicação de massa. Atualmente, o que controla são as redes de clientes, eles interagem de forma dinâmica, mudando drasticamente sua relação com as empresas. Além de tudo, influenciam e ajudam a moldar as reputações das empresas e marcas. Dessa forma, as empresas hão de repensar sobre seus marketings tradicionais, analisando os caminhos dos clientes para as compras, transformando-os não apenas em alvo de vendas, mas reconhecendo que os clientes em rede podem ser o melhor grupo, melhor campeão da marca ou o melhor parceiro de inovação.

2.2.2 Competição

Tradicionalmente, competição e cooperação eram vistas como opostos binários: as empresas competiam com empresas rivais muito parecidas com elas mesmas e cooperavam com parceiros da cadeia de fornecimento que distribuía seus bens ou forneciam os inputs necessários para a sua produção. (Rogers, 2017).

Segundo Rogers (2017), no mundo atual, os principais concorrentes das empresas podem ser empresas “estranhas” ao setor, podendo elas oferecer valores concorrentes aos clientes. Sendo assim, parceiros de longo período podem vir a se tornar concorrentes. Sugere-se, então, a cooperação com um rival, isso pelo fato de os modelos de negócios mudarem conforme o passar do tempo. Como finalidade e resultado, causa disputa por influência entre empresas, tendo em vista conquistar maior alcance junto ao consumidor final.

2.2.3 Dados

O domínio seguinte da transformação digital são os dados: como as empresas produzem, gerenciam e usam a informação. Até algum tempo atrás, os dados eram produtos de ações deliberadas a pesquisas de clientes e de inventários físicos, que eram parte dos próprios processos de negócios – fabricação, operações, vendas, marketing. Os dados resultantes eram usados principalmente para previsões, avaliações e tomada de decisões. (Rogers, 2017).

Conforme Rogers (2017), uma enxurrada de dados toma conta das empresas, que são formados por uma quantidade sem precedentes de conversas, interações ou processos, interna ou externa às empresas. Com mídias sociais, os aparelhos móveis e objetos de uma cadeia de fornecimento de empresa, todos têm acesso a essa alta demanda de dados que não tem estrutura alguma, obtida sem planejamento, podendo ser usada alimentando novas ferramentas de análises. As famosas ferramentas de “*big data*” fazem com que as empresas obtenham novas previsões, novos padrões nos negócios e novas fontes de valor. Os dados se transformam em uma força vital de todas as unidades organizacionais e ativos estratégicos, sendo explorados. Dessa maneira, os dados são nada mais, nada menos, que componentes fundamentais de funcionamento das empresas, se diferenciando perante o mercado.

2.2.4 Inovação

O quarto domínio da transformação digital é a inovação: o processo pelo qual novas ideias são desenvolvidas, testadas e lançadas no mercado. Tradicionalmente, a inovação era gerenciada com foco exclusivo no produto acabado. Como os testes de mercado eram difíceis, e custosos, a maioria das decisões sobre inovações se baseava no tirocínio e na intuição dos gestores. Como o custo do fracasso era alto, evitar o fracasso era fundamental. (Rogers 2017)

Segundo Rogers (2017), as startups manifestaram que as tecnologias digitais enfrentem a inovação de modo diferente, aprendendo continuamente por experimentação rápida, recebendo *feedback* do mercado desde o primórdio do processo de inovação, se mantendo regular até lançar e após. Isso visa maximizar o aprendizado e minimizar custos, ocorrendo sucessivos testes, sendo validadas por clientes reais as decisões finais do projeto. Por fim, o produto é desenvolvido por excessivas repetições, economizando tempo no processo, diminuindo custos do fracasso e ascendendo organizacionalmente.

2.2.5 Valor

Do domínio final da transformação digital é o valor que o negócio entrega aos clientes – a proposta de valor. Tradicionalmente, a proposta de valor da empresa era considerada duradoura ou quase constante. Os produtos podiam ser atualizados; as campanhas de marketing, revigoradas; ou as operações, melhoradas; mas supunha-se que o valor básico oferecido pelo negócio aos clientes era constante, definido pelo setor de atividade (por exemplo, as empresas automobilísticas ofereciam transporte, segurança, conforto e *status*, em diferentes graus). O negócio de sucesso era aquele que tinha uma proposta de valor clara, que estabelecia alguma diferenciação no mercado (por exemplo, preço ou marca), e que focava na execução e na entrega na melhor versão da mesma proposta de valor aos clientes, durante vários anos. (Rogers 2017)

Para Rogers (2017), a melhor maneira para não ser “atropelado” na era digital é evoluir constantemente, levando em consideração que isso tudo é para melhorar a proposta de valor aos clientes finais. As empresas têm que aproveitar as oportunidades que surgem, adaptando-se o mais rápido possível, deixando as vantagens decadentes e obsoletas para trás, mantendo, dessa forma, um passo a frente no mercado.

Figura 6 - Guia da transformação digital

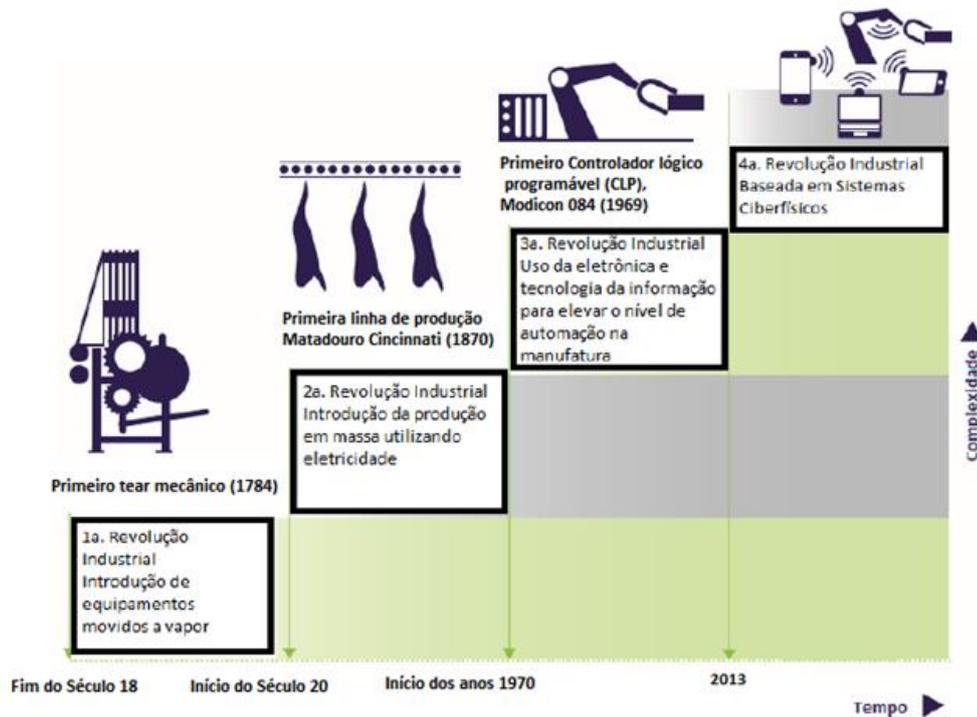
Domínios	Temas Estratégicos	Conceitos-Chave
 CLIENTES	Explore as redes de clientes	reinvenção do funil de marketing jornada de compra principais comportamentos das redes de clientes
 COMPETIÇÃO	Construa plataformas, não apenas produtos	modelos de negócio de plataforma efeitos de rede (in)diretos (des)intermediação Trens de Valor Competitivos
 DADOS	Converta dados em ativos	padrões de valor dos dados drivers para o <i>big data</i> tomada de decisão baseada em dados
 INOVAÇÃO	Inove por experimentação rápida	experimentação divergente experimentação convergente MVP (produto mínimo viável) caminhos para escalar
 VALOR	Adapte a sua proposta de valor	conceitos de valor de mercado caminhos de saída de um mercado em declínio passos para a evolução da proposta de valor

Fonte: Rogers, 2017

2.3 INDÚSTRIA 4.0

A era da industrialização teve início com a introdução da fabricação mecânica no final do século XVIII, marcando a Primeira Revolução Industrial e transformando a produção de bens. Um exemplo notável foi a máquina mecânica de tear, que impulsionou significativamente a produtividade. A Segunda Revolução Industrial começou por volta da virada do século XX e se caracterizou pelo uso da energia elétrica e pela divisão de trabalho, exemplificada pelo motor a combustão. A Terceira Revolução Industrial, a partir do início dos anos 70, foi marcada pelo emprego de componentes eletrônicos e tecnologia da informação para automatizar ainda mais os processos de fabricação, uma tendência que perdura até hoje. Por fim, a Quarta Revolução Industrial, conhecida como "Indústria 4.0" pelo governo alemão, representa uma nova fase na indústria, focada na utilização intensiva de recursos de informação e tecnologia da comunicação. Essa abordagem visa aprimorar os processos de fabricação e os aspectos comerciais, marcando uma evolução significativa na forma como os negócios são conduzidos (KARGERMANN et al., 2013).

Figura 7 - Os estágios da revolução industrial.



Fonte: adaptado de Kagermann, Wahlster, Helbig (2013)

2.4 PILARES TECNOLÓGICOS

Conforme Rüßmann et al. (2015), o relatório da Boston Consulting Group (BCG) destaca nove tendências tecnológicas que são consideradas os fundamentos da Indústria 4.0. De acordo com os autores, essas tendências representam os alicerces do progresso tecnológico na indústria 4.0. Esses nove avanços, já mencionados no trabalho, que já estão em uso na fabricação, serão transformadores na era da Indústria 4.0. As células de produção, inicialmente isoladas e otimizadas, serão integradas de forma completa, automatizada e otimizada no fluxo de produção. Isso resultará em eficiências aprimoradas e mudanças significativas nas dinâmicas tradicionais de produção entre fornecedores, fabricantes e clientes, assim como nas interações entre humanos e máquinas. A figura 8 do relatório da BCG fornece uma descrição detalhada dos nove elementos fundamentais da Indústria 4.0.

Figura 8 - Pilares tecnológicos



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

2.4.1 Incorporação do sistema horizontal e vertical

É uma etapa que diz respeito à ligação entre a fábrica e toda a cadeia de valor que se estende além das instalações fabris. Já a integração vertical possibilita a conexão de todos os níveis da fábrica, desde o chão de fábrica até os executivos. Nesse contexto, é viável implementar uma manufatura em rede, logística adaptativa, auto-organizada e uma engenharia integrada até o cliente (KAGERMANN et al., 2013).

De acordo com Wang et al. (2015), a implementação da Indústria 4.0 requer a consideração de três características principais: a) conectividade horizontal por meio de redes de valor; b) integração vertical e adoção de sistemas de manufatura em rede; e c) integração digital abrangente ao longo de todo o processo. No contexto da integração vertical, o foco está na fábrica, implicando na criação da fábrica inteligente, caracterizada por alta flexibilidade e configurabilidade.

2.5 SISTEMAS CIBERFÍSICOS

Segundo Lee (2008), os sistemas ciberfísicos são ambientes nos quais sistemas integrados utilizam sensores inteligentes para ajustar automaticamente os processos de produção de forma descentralizada, com base em dados coletados e analisados em tempo real,

integrando o mundo virtual com o físico. O termo "Cyber-Physical Systems" (CPS), ou sistemas ciberfísicos, foi introduzido por Helen Gill, da National Science Foundation (NSF) dos Estados Unidos, em 2006.

Coelho (2016) define CPS como sistemas que integram computação, redes de comunicação, computadores embutidos e processos físicos, interagindo e influenciando-se mutuamente. Essa integração resulta da evolução tecnológica de computadores, sensores e tecnologias de comunicação, permitindo uma combinação efetiva em tempo real. Os sistemas ciberfísicos estão relacionados a termos como IoT, Indústria 4.0, Internet Industrial, M2M e Computação em Nuvem, todos refletindo a visão de uma tecnologia que conecta profundamente o mundo físico ao mundo da informação.

Esses sistemas possibilitam que as fábricas se adaptem a variações e fatores, como demanda por produtos, níveis de estoque, defeitos em equipamentos e atrasos imprevistos, promovendo a integração da cadeia com soluções inteligentes para logística, mobilidade, rede, construções, marketing e mais, gerando valor para o cliente e permitindo a produção personalizada. Em suma, os sistemas ciberfísicos representam a integração de computação e processos físicos, capacitando operações flexíveis e eficientes.

2.6 REPRESENTAÇÕES DE MATURIDADE

São apresentados alguns moldes a fim de avaliar o nível de maturidade da Indústria 4.0, apresentando versões e formatos diferentes de avaliação. Para o trabalho em questão, foram considerado modelos medindo a maturidade dos pilares tecnológicos da Indústria 4.0, colocando em fator também um padrão de medição e níveis.

2.6.1 Modelo para manufatura com base em dados

Weber et al. (2017) propôs um modelo de maturidade para arquiteturas de Tecnologia da Informação (TI) na manufatura baseada em dados. Esse modelo foi desenvolvido considerando três arquiteturas essenciais para a Indústria 4.0: a) Arquitetura de Referência da Internet Industrial; b) Modelo de Arquitetura de Referência da Indústria 4.0; e c) Arquitetura de TI de Stuttgart para a Manufatura. Os autores examinaram e avaliaram cada abordagem, resultando na definição de níveis de maturidade para a obtenção de dados que podem orientar

as empresas na adaptação ao contexto da Indústria 4.0. Além disso, foram estabelecidos critérios para atingir esses níveis de maturidade.

Quadro 1 - Modelo de maturidade M2DDM

0.	Nenhum
1.	Sistema de integração de Dados
2.	Integração de Dados
3.	Orientação do Serviço
4.	Gêmeo Digital
5.	Fábrica Auto-Otimizada

Fonte: Adaptado de Weber et al. (2017)

Ele é por cinco diferentes níveis, como ilustrado na tabela. A descrição dos níveis é composta a seguir:

a) Nível 0: Nenhum. Inexiste TI, os equipamentos de fabricação, como máquinas, ferramentas e peças, não estão conectados à Tecnologia da Informação (TI). Essa falta de integração exige que os trabalhadores revisitem vastas quantidades de informações para identificar erros, encontrar soluções e sugerir melhorias no processo de fabricação. Isso torna praticamente impossível realizar melhorias rápidas em um ambiente dinâmico e desafiador.

b) Nível 1: Integração de Dados e Sistemas. Na ausência de integração de dados e sistemas, ocorre a impossibilidade de correlacionar informações e realizar análises. Nesse estágio, surge a poluição tradicional de dados de manufatura, onde as máquinas são centralmente gerenciadas por um Sistema de Execução de Manufatura (MES). As ordens de produção são controladas por um ERP, conectado diretamente ao MÊS para otimizar o tempo e alocar recursos. Os dados relevantes para a produção são integrados aos aplicativos corporativos e analisados por meio de planilhas. Os dados operacionais do chão de fábrica como valores dos sensores, crescem rapidamente em volume. Além disso, muitos conhecimentos estão dispersos em documentos, tais quais manuais de máquinas com instruções.

c) Nível 2: Integração de Dados. Os dados estão concomitantemente juntos com outros dados de negócios de pós-venda, redes sociais e logística. Obtido através de planilhas usando dados exportados manualmente de sistemas originários e dados agregados.

d) Nível 3: Orientação do Serviço. São homologados, juntos, dados entre sistemas empresariais e de chão de fábrica por um barramento de serviço empresarial. Dados para análise simples são obtidos e agregados em um banco de dados, permitindo consultas futuras.

e) Nível 4: Gêmeo Digital (*Digital Twin*). Na fábrica baseada em dados, a comunicação e cooperação entre os ativos são viabilizadas por meio de um modelo de dados unificado. A eficiência na tomada de decisões só é possível quando todos os estados são conhecidos em tempo real por sistemas e humanos. Uma abordagem para alcançar isso é através do conceito de "gêmeo digital", onde uma réplica virtual idêntica da empresa é criada, permitindo a simulação das operações em um ambiente digital. Embora esse conceito ainda esteja em desenvolvimento, representa um caminho para o autocontrole descentralizado dos ativos no chão de fábrica.

f) Nível 5: Fábrica de Auto Otimização. Neste estágio, a análise avançada é crucial para extrair informações valiosas dos dados. Para possibilitar análises em tempo real, é necessário implementar um novo nível de hierarquia na nuvem da fábrica. A previsão de informações inclui agora o fornecimento sensível ao contexto de dados relevantes para os trabalhadores. A composição dos serviços ocorre durante a execução, não durante o design. As análises avançadas e as análises de bordo são integradas em um ciclo de feedback automatizado entre trabalhadores e máquinas. Esses conceitos viabilizam a autoaprendizagem na fábrica inteligente (Weber et al., 2017).

2.6.2 Modelo de avaliação de maturidade para a Indústria 4.0

Conforme constatado, o modelo em questão foi proposto por Schumacher et al. (2016), que tende a avaliar a maturidade da Indústria 4.0 em empresas industriais focadas na fabricação discreta de um produto específico. O objetivo principal desse trabalho foi ampliar o foco tecnológico presente em modelos recentes, incorporando também aspectos organizacionais. O modelo consiste em nove dimensões e 62 itens para avaliar a maturidade da Indústria 4.0. As dimensões produtos, clientes, operações e tecnologia foram desenvolvidas para avaliar os facilitadores básicos, enquanto as dimensões estratégia, liderança, governança, cultura e pessoas permitem incluir aspectos organizacionais na avaliação. No quesito objetivo científico obtêm-se dados sólidos sobre o atual estado das empresas de manufatura e suas estratégias, a fim de obter possíveis resultados altamente positivos. Por outro lado, o objetivo prático do trabalho tende a permitir que uma empresa avalie de forma rigorosa sua própria

maturidade da Indústria 4.0, permitindo refletir com respeito à adequação de suas estratégias atuais.

Quadro 2 – Modelo de Maturidade Schumacher et al. (2016).

Clientes	Obtenção de dados dos clientes, vendas e serviços digitalizados, capacidade de mídia digital do cliente.
Cultura	Partilhar conhecimento, inovação aberta e coparticipação entre empresas, TI e seu valor na empresa.
Estratégia	Adaptação de modelos de negócios, implementação de um roteiro (<i>roadmap</i>), verificar disponibilidade de recursos para a realização.
Governança	Regras trabalhistas para a Indústria 4.0, adaptação de padrões tecnológicos, proteção de propriedade intelectual.
Liderança	Disponibilidade dos líderes, métodos e competência de gestão, subsistência de coordenação central para a Indústria 4.0.
Operações	Não centralização de processos, modelagem e simulação, cooperação interdisciplinar, entre departamentos.
Pessoas	Capacidades em TI dos colaboradores, permissão dos funcionários às novas tecnologias, autonomia dos mesmos.
Tecnologia	Existência de TI moderna, prestabilidade de dispositivos móveis, usufruir de comunicação máquina-máquina
Produtos	Produtos individualizados, produtos digitalizados, integração de produtos em outros sistemas mais.

Fonte: Adaptado de Schumacher (2016)

Ao contrário de outras abordagens, a contribuição significativa desta pesquisa reside na incorporação de diversos elementos organizacionais, resultando em um modelo mais abrangente. As primeiras aplicações práticas indicam que as empresas de manufatura podem utilizar os resultados de sua autoavaliação como uma base sólida para implementar outras medidas estratégicas. Adicionalmente, serão criados roteiros para aprimorar a maturidade de aspectos específicos e dimensões relacionadas, permitindo a identificação de programas e projetos estratégicos (SCHUMACHER et al. 2016).

2.6.3 Modelo de Avaliação para a Indústria 4.0

Estruturado, observado e colocando em prática por Gökalp et al. (2017), no decorrer do estudo, os autores identificaram e analisaram seis modelos de maturidade, comparando características como alcance, clareza, completude, propósito e objetividade. Concluíram que nenhum desses modelos atendia plenamente todos os critérios esperados. Observaram que a Indústria 4.0 adota uma abordagem holística na avaliação de áreas como transformação de processos, gestão de aplicativos, gerenciamento de dados, gestão de ativos e alinhamento organizacional. O propósito do estudo foi estabelecer uma base comum para avaliar

tecnologias da Indústria 4.0 e orientar as empresas na busca por um estágio de maturidade mais avançado.

Figura 9 - Modelo de Maturidade



Fonte: Adaptado de Gökalp et al. (2017)

a) **Nível 0: Incompleto.** Sem incorporação. A empresa foca em operações fundamentais, como aquisições, análise de requisitos, produção e venda.

b) **Nível 1: Realizado.** Começa a implementação. A estrutura tecnológica para a Indústria 4.0 é obtida, com ela, a organização inicia a instauração de tecnologias avançadas e inteligentes como a IoT (Internet das Coisas). Há roteiro e visão para a Indústria 4.0, mas não está implementada.

c) **Nível 2: Gerenciado.** Funcionalidades ainda não atuam de forma concomitante nas operações, entretanto, o conjunto de dados relacionados são definidos.

d) **Nível 3: Estabelecido.** As atividades principais do negócio, que incluem operações de valor agregado, são bem definidas e seguem padrões estabelecidos para processos e operações. Os conjuntos de dados são identificados de forma clara em cada operação, sendo coletados e armazenados de maneira organizada em um banco de dados bem gerenciado. Adicionalmente, foi alcançada integração vertical, que engloba a incorporação de sensores e atuadores nas máquinas, estendendo-se até a integração com os sistemas de planejamento de recursos empresariais.

e) **Nível 4: Previsível.** Ferramentas de análise de dados são incorporadas, visando melhorar a produção fabril. A integração horizontal é alcançada por meio da integração da cadeia de suprimentos, estendendo-se da produção ao nível dos negócios. No futuro, essa

integração pode ampliar-se, envolvendo a troca de informações em tempo real sobre produtos ou processos específicos para aprimorar a otimização na fabricação distribuída, elevando o nível de detalhe e qualidade.

f) Nível 5: Otimização. Atingido o objetivo da integração para com a engenharia e vida útil do produto, produção. Sendo assim, permitindo usufruir de conhecimento de pouco esforço e sincronicidade entre desenvolvimento de produtos e serviços, com os ambientes de fabricação. Com os dados coletados, a tendência é melhorar e progredir, evoluindo sempre, se tornando, futuramente, uma estrutura totalmente inovadora (GÖKALP et al., 2017).

2.6.4 Resumo dos modelos

A seguir, o quadro 3 apresenta os modelos de maturidade utilizados para a realização das pesquisas e execução do trabalho.

Quadro 3 – Modelos de Maturidade

Artigo	Autor/Ano	Intenção do Estudo	Colaborações
M2DDM – Modelo de maturidade para manufatura baseada em dados	Weber et al. (2017).	É proposto um modelo de maturidade visando avaliar a integração entre os membros da cadeia de valor, juntamente com o ciclo de vida do produto.	Análise da maturidade da integração horizontal, vertical. Acrescenta todo o ciclo de vida do produto e a cadeia de valor.
Modelo de maturidade para avaliar a Indústria 4.0	Schumacher et al. (2016).	Analisa a maturidade da Indústria 4.0 de indústrias no domínio da fabricação discreta. Exalta aspectos estratégicos.	Avaliação cuja atenção é voltada para a estratégia da organização.
Modelo de Avaliação para Indústria 4.0	Gökalp et al. (2017)	A proposta é iniciar uma base comum a fim de avaliar as tecnologias da Indústria 4.0, direcionar as empresas as elevando para um nível mais alto de maturidade.	Modelo de maturidade com base em outros modelos.
Modelo de maturidade Sistemas ciberfísicos.	Monostori et al. (2016).	É proposta medição de maturidade de sistemas ciber físicos pelo meio do modelo do Laboratório da RWTH Aachen University.	Parecer de maturidade para sistemas ciberfísicos.
Modelo de maturidade e seleção de softwares em manufatura	Guimarães (2016).	É um conjunto de critérios propostos que será utilizado como base para selecionar e analisar softwares para simulações	Parecer de maturidade para simulação computacional.
Modelo de Maturidade de Gartner	David Newman, Debra Logan (2011).	Auxiliar líderes de TI para ajustarem seus trabalhos com o intuito de educar a alta administração, expondo a eles as fraquezas da organização para que as ações necessárias	Parecer de maturidade para diversas aplicações.

		sejam realizadas.	
Modelo guia de Maturidade para Big Data do TDWI	Fern Halper and Krish Krishnan (2014).	Notar a evolução para gerenciar, integrar e fomentar todas as fontes de informações relevantes tanto internas quanto externas. Auxiliar na criação de estrutura ao redor de um programa de big data e determinar onde começar.	Parecer para avaliação de maturidade para <i>Big Data e Analytics</i> .
Modelo de Maturidade para Manufatura Aditiva	LAMONTAGNE (2016)	Elaborar um modelo de maturidade cuja finalidade é deixar mais fácil a integração fábrica aditiva ao processo de desenvolvimento de produtos.	Parecer da maturidade da manufatura aditiva.
Modelo de Maturidade para a Segurança da Informação	Malik F. Saleh (2011)	O procedimento adotado para avaliar a maturidade da segurança digital é o modelo de maturidade de segurança da informação, concebido como uma ferramenta destinada a auxiliar as organizações na consecução de seus objetivos de segurança.	Parecer da maturidade para a segurança digital

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

2.7 MODELOS ESTRUTURAIS DA INDÚSTRIA 4.0

A seguir são apresentados alguns modelos de estrutura para a implantação das tecnologias da Indústria 4.0.

2.7.1 Roteiro de implantação da Indústria 4.0

Para colocar em prática os princípios da Indústria 4.0, é de suma importância levar em consideração três características fundamentais: i) integração horizontal por meio de redes de valor, ii) integração vertical e sistemas de fabricação em rede, e iii) integração digital abrangente de engenharia em todo o percurso da cadeia de valor.

Abaixo, são conhecidos os três moldes de integração expostas pelos autores:

a) Integração vertical: uma fábrica é composta por diversos subsistemas, tanto físicos, quanto informativos, como atuadores, sensores, controle, gerenciamento de produção, fabricação e planejamento corporativo. A integração vertical dos sinais provenientes de atuadores e sensores ocorre em vários níveis, alcançando até o nível de planejamento de recursos da empresa (ERP). Essa integração é fundamental para possibilitar um sistema de fabricação flexível e de fácil reconfiguração. Através desse processo, as máquinas inteligentes formam um sistema auto-organizado capaz de se reconfigurar dinamicamente para se adaptar

a diferentes tipos de produtos. Além disso, ocorre a coleta e o processamento massivo de informações, tornando o processo de produção transparente.

b) Integração horizontal: Uma empresa tem a possibilidade de se apresentar e colaborar com várias outras corporações correlacionadas. Ao estabelecer uma integração horizontal entre essas corporações, é possível criar um ecossistema eficaz. Nesse contexto, informações, transações financeiras e materiais podem fluir livremente entre essas empresas. Como resultado, surgem novas redes de cooperação, permitindo o desenvolvimento de modelos de negócios inovadores.

c) Integração de engenharia de ponta a ponta (*end to end*): No processo de geração de valor centrado no desenvolvimento, diversas atividades compõem a cadeia, abrangendo desde a identificação das necessidades do cliente, o design e desenvolvimento de produtos, o planejamento da produção, a engenharia de produção, a própria fabricação, até os serviços, manutenção e reciclagem. Um modelo de produto consistente e contínuo pode ser reutilizado em cada uma dessas etapas, sendo integrado de maneira eficiente. O impacto do design do produto não se limita apenas à fase de produção, mas também, exerce influência sobre a prestação de serviços. (WANG et al., 2015).

2.7.2 Roteiro de incorporação da Indústria 4.0

O plano de implementação da Indústria 4.0 foi examinado por Pessl et al. (2017). No referido artigo, é delineado um modelo composto por processos que capacitam as empresas a avaliar seu nível de maturidade específico, identificar objetivos próprios e elaborar um plano de ação direcionado para a implementação da Indústria 4.0. Os autores recomendam o emprego de uma equipe interdisciplinar para concretizar de forma efetiva o trabalho.

É oferecida uma análise minuciosa, tanto teórica quanto prática, para o modelo de procedimento relacionado à atividade humana. A proposta apresentada neste estudo não tem como objetivo impor uma avaliação geral rigorosa, mas sim permitir que as empresas construam seu próprio processo de transformação. Isso se mostra fundamental para reconhecer, avaliar e tirar proveito dos potenciais exclusivos da Indústria 4.0 que tenham relevância específica para cada empresa individualmente.

Na Indústria 4.0 o roteiro (*roadmap*) é dividido em 6 etapas. O roteiro abrange produção, campos de compras, vendas, intra-logística e recursos humanos. O processo compreende seis etapas: i) análise global da Indústria 4.0; ii) avaliação de maturidade; iii)

estabelecimento do estado desejado; iv) criação e avaliação de ações para cada área de atuação; v) transposição de metas e ações para um Balanced Scorecard; e vi) elaboração do *roadmap* específico.

Figura 10 - Roteiro para a incorporação da Indústria 4.0



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

2.8 CONSEQUÊNCIAS DA INCORPORAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0

De acordo com Fischer et al. (2016), a Indústria 4.0 altera a natureza das atividades laborais. A utilização da automação para auxiliar os trabalhadores em tarefas manuais torna-se particularmente valiosa para enfrentar as demandas decorrentes do envelhecimento da força de trabalho, uma questão prevalente em muitos países desenvolvidos. Por exemplo, ocupações na linha de montagem automotiva, que envolvem o manuseio de componentes pesados e posturas físicas desfavoráveis, podem se beneficiar significativamente da Indústria 4.0. Esta abordagem aprimorará de maneira drástica a eficiência dos técnicos de serviço em campo, possibilitando manutenção assistida por tecnologia e preditiva. Quando em um local específico, o técnico receberá apoio para realizar reparos por meio da tecnologia de realidade aumentada e poderá contar com orientação remota de especialistas.

Conforme Rüßmann (2015), as melhorias na eficiência de produção, considerando apenas os custos de conversão (excluindo os custos dos materiais), apresentam uma variação

de 15 a 25%. Ao levar em conta os custos dos materiais, os ganhos de produtividade ficam na faixa de 5 a 8%. É importante observar que essas melhorias podem variar dependendo do setor industrial específico.

A Indústria 4.0 não apenas melhora a eficiência de produção, mas também impulsiona o crescimento da receita, estimado em cerca de 30 bilhões de euros anualmente, representando aproximadamente 1% do PIB da Alemanha. Uma análise conduzida por Rüßmann et al. (2015) indica que esse crescimento resultará em um aumento de 6% no emprego nos próximos dez anos na Alemanha, embora novas habilidades sejam necessárias. No curto prazo, a automação intensiva pode deslocar trabalhadores em tarefas simples, especialmente aqueles com qualificações limitadas. A otimização dos processos de produção através de sistemas de TI integrados ao longo da cadeia de valor substituirá as atuais células de fabricação por linhas totalmente automatizadas, permitindo maior flexibilidade na produção em lotes menores. Essa evolução contínua levará a um cenário em que robôs, máquinas e produtos inteligentes podem se comunicar e tomar decisões autônomas sem intervenção humana. (Rüßmann et al., 2015).

3 METODOLOGIA

Este capítulo irá tratar com base nos objetivos já descritos durante o trabalho. A proposta será desenvolvida e inspirada conforme o referencial apresentado. Em seguida, é relatado a proposta de forma detalhada, tal qual a metodologia utilizada a fim de medir a maturidade do uso das tecnologias da Indústria 4.0

3.1 MODOS PARA MEDIÇÃO DE MATURIDADE DO USO DAS TECNOLOGIAS

O objetivo deste trabalho é avaliar a maturidade na implementação dos pilares tecnológicos em um contexto de Indústria 4.0. Para isso, foram identificadas as tecnologias que compõem o modelo, utilizando como referência o trabalho de Rüßmann, presente em um relatório do Boston Consulting Group (BCG) de 2015. Nesse relatório, os autores abordam os pilares tecnológicos da Indústria 4.0, compreendendo nove tecnologias distintas.

De acordo com Mueller et al. (2017) Rüßmann et al. (2015) os pilares são: i) integração vertical e horizontal; ii) internet das coisas (IoT); iii) robôs autônomos; iv) simulação; v) big data; vi) computação na nuvem; vii) manufatura aditiva; viii) realidade aumentada; e ix) segurança digital. Contudo, durante a pesquisa para este trabalho, foi identificada uma lacuna em relação a esses nove pilares tecnológicos. Para preencher essa lacuna, propõe-se a inclusão da tecnologia de sistemas ciberfísicos.

Conforme sugerem Lachenmaier et al. (2017), Mueller et al. (2017) e Monostori et al. (2016), os sistemas ciberfísicos desempenham um papel crucial na integração entre a computação e os processos físicos, sendo essenciais para tornar a Indústria 4.0 uma realidade. Eles funcionam como o elo tecnológico fundamental para conectar toda a Internet das Coisas (IoT) e facilitar a fusão dos mundos real e virtual. Conforme destacado por Kagermann et al. (2013), a Indústria 4.0 tem como base as fábricas inteligentes, que integram seus processos tanto no ambiente físico quanto no virtual. Portanto, o objetivo deste estudo é avaliar o nível de maturidade de dez pilares tecnológicos, adicionando os sistemas ciberfísicos aos nove mencionados anteriormente.

A fim de medir a maturidade tecnológica conforme anteriormente mencionadas e definidas, foi determinado como modelo de medição de maturidade exposto por Gökalp et al. (2017). Neste estudo, os pesquisadores procuraram avaliar as tecnologias da Indústria 4.0 e orientar as empresas em direção a um nível mais avançado de maturidade. Diante da ausência

de um trabalho abrangente que cobrisse todas as dimensões da Indústria 4.0, os autores criaram um modelo otimizado combinando diferentes modelos de maturidade. Esse modelo otimizado, reconhecido por seus benefícios superiores, foi adotado como padrão para conduzir o estudo.

6 níveis são propostos, são eles: Nível 0 – Nenhum; Nível 1 – Realizado; Nível 2 – Gerenciado; Nível 3 – Estabelecido; Nível 4 – Previsível; Nível 5 – Otimizado.

A figura 11 representa o modelo de avaliação, contendo cinco níveis de avaliação e nove tecnologias.

Figura 11 – Modelo Proposto

P I L A R E S T E C N O L Ó G I C O S	Modelo de medição de maturidade dos pilares tecnológicos da Indústria 4.0					
	Níveis					
	0	1	2	3	4	5
Big Data	Nenhum	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
Computação na Nuvem	Nenhum	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
Integração Vertical e Horizontal	Nenhum	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
Internet das Coisas (IoT)	Nenhum	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
Manufatura Aditiva	Nenhum	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
Robôs Autônomos	Nenhum	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
Realidade Aumentada	Nenhum	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
Segurança Digital	Nenhum	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
Simulação	Nenhum	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado
Sistemas Ciber Físicos	Nenhum	Realizado	Gerenciado	Estabelecido	Previsível	Otimizado

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

3.1.1 Big Data

O estudo de *big data* requer a capacidade de coletar, gerenciar e analisar imensos volumes de dados variados, de forma eficiente e rápida, fornecendo análises e *insights* no momento correto para os consumidores finais. Para avaliar a maturidade desse pilar tecnológico, fora adotado o modelo proposto por TDWI Halper e Krishnan (2014). A maturidade em *big data* refere-se à evolução de uma organização integrando, gerenciando e aproveitando todas e quaisquer fontes de dados relevantes, tanto de forma externa quanto interna. O modelo de maturidade de Big Data TDWI é composto por cinco estágios: nascente, pré-adoção, adoção antecipada, adoção corporativa e madura/visionária. Esses níveis foram conforme a proposição de Gökalp et al. (2017).

a) Nível 0: Nenhum.

b) Nível 1: Realizado. No estágio inicial, as empresas ainda não adotaram plenamente o Big Data. A maioria delas possui uma compreensão limitada do valor do Big Data para a maior parte de suas operações. O suporte executivo efetivo para o Big Data é escasso, embora haja indivíduos interessados no potencial do Big Data em diferentes áreas da empresa. A organização pode ter introduzido a análise de dados e até possuir um armazenamento de dados, mas ainda não começou a exploração de análises avançadas ou embarcou em sua jornada de dados. Além disso, a estratégia de governança pode estar mais centrada em TI do que nos aspectos de negócios e TI.

c) Nível 2: Gerenciado. Nesta fase inicial, a organização inicia a implementação do Big Data. Em empresas mais tradicionais, há geralmente um patrocinador executivo envolvido, mas o suporte em toda a empresa pode ser irregular, muitas vezes vinculado à área de TI. A abordagem é experimental, com a equipe explorando o Big Data para identificar desafios de negócios. Pode haver participação de parceiros de negócios. A organização usa análises em algumas decisões departamentais, mas não possui uma orientação analítica abrangente. A organização está empenhada em compreender melhor o Big Data e as análises durante a fase de pré-adoção.

d) Nível 3: Estabelecido. Neste estágio, é comum ter ao menos um patrocinador executivo, mas mais executivos podem começar a se envolver. À medida que a organização se entusiasma com as oportunidades do Big Data, mais pessoas aderem, formando uma equipe dedicada a planejar estratégias para uma implementação mais ampla. Já há dados coletados em vários formatos, mas ainda não há uma estratégia completa de gerenciamento de Big Data em toda a empresa.

e) Nível 4: Previsível. Na fase de adoção corporativa do Big Data, as organizações atingem um ponto crucial em sua evolução. Nesse estágio, os usuários finais participam ativamente, ganham insights e promovem mudanças significativas nas operações e nos aspectos do negócio. Por exemplo, podem redefinir a abordagem para a tomada de decisões ao incorporar o Big Data nas operações da empresa. Muitas organizações que buscam esse nível de maturidade enfrentam desafios recorrentes relacionados à estrutura organizacional, infraestrutura, gerenciamento de dados, análises e governança. Nesta fase, a empresa reconhece a análise como uma ferramenta competitiva, com a inovação em análise de dados tornando-se um valor central e promovendo uma cultura analítica predominante.

f) Nível 5: Otimizado. A empresa visionária é caracterizada por um comprometimento total dos executivos com a análise de dados e Big Data, reconhecendo-os como elementos

essenciais nos negócios. A análise é considerada uma vantagem competitiva, com uma mentalidade voltada para a criatividade. Além disso, a análise não se limita a orientar estratégias; a empresa busca constantemente oportunidades para aplicá-la de maneiras inovadoras. A busca contínua por novas formas de utilizar e criar valor por meio da análise é uma característica central dessa empresa visionária. A colaboração desempenha um papel significativo em sua cultura organizacional.

3.1.2 Computação na Nuvem

Computação na nuvem (*Cloud Computing*) são dados armazenados na nuvem, permitindo acesso remoto de qualquer lugar, são constituídos por servidores, armazenamento, rede, computadores, entre outros recursos. A principal finalidade da nuvem é tornar o acesso às informações mais fácil, facilitando a tomada de decisões estratégicas. (YEN et al. 2014). O padrão adotado para medir os níveis de maturidade foi o de Gökalp (2017). Nele, foram utilizados 6 níveis distintos: Nível 0 – Nenhum; Nível 1 – Realizado; Nível 2 – Gerenciado; Nível 3 – Estabelecido; Nível 4 – Previsível; Nível 5 – Otimizado.

a) Nível 0: Nenhum

b) Nível 1: Realizado. Nesse estágio inicial de adoção da nuvem, a abordagem envolve a experimentação com um único componente simples de um aplicativo, focando na compreensão dos serviços de nuvem. Geralmente, a primeira implementação é uma solução de armazenamento. Essa fase começa como uma experiência isolada, com equipes realizando migrações de forma independente. Nenhuma política de nuvem é estabelecida nesse momento; o foco está em explorar e compreender completamente as capacidades oferecidas pela nuvem.

c) Nível 2: Gerenciado. Esse nível marca um avanço significativo na cultura de nuvem de uma organização, pois passa a abranger diversas disciplinas em toda a empresa, incluindo áreas como jurídica, finanças e segurança. Nesse momento, começam a se estabelecer políticas sobre como a nuvem pode ser utilizada dentro da empresa. A participação envolve toda a organização, tendo todas as partes interessadas contribuindo ativamente, de forma proativa.

d) Nível 3: Estabelecido. Na terceira fase de maturidade da computação em nuvem, uma organização inicia a transição de seus servidores locais e recursos para serviços baseados na nuvem. Isso resulta em um entendimento abrangente do funcionamento da nuvem como

um sistema integrado. Nesse estágio, a organização começa a experimentar os benefícios da nuvem e pode aproveitar serviços gerenciados disponíveis na plataforma. Acesso à nuvem é estendido a toda a cadeia de operações, facilitando o compartilhamento de informações, enquanto softwares de planejamento e previsão são utilizados de maneira colaborativa.

e) Nível 4: Previsível. Sendo a empresa hábil para a nuvem, pode usufruir dos serviços únicos de nuvem de elevado valor. Nisso, é incluído computação sem servidor, bancos de dados e outros serviços mais. A concepção de nuvem dinâmica é acrescentada nos processos de desenvolvimento e gerenciamento de softwares dentro da organização.

f) Nível 5: Otimizado. Atingido esse nível, a nuvem atende à grande parte das necessidades do centro de dados, fornecendo serviços adicionais de valor agregado. Programas usam como padrão a efetuação na nuvem, ao invés de serem realizados em um data center. Decisões são tomadas de forma autônoma por softwares que são compartilhados na nuvem.

3.1.3 Integração Vertical e Horizontal

O componente tecnológico foi avaliado considerando a integração vertical e horizontal concomitantemente. Utilizou-se o modelo de 5 níveis proposto por Weber et al. (2017) para avaliar a integração vertical, enquanto o trabalho de Wang et al. (2017) foi referenciado para incorporar a integração horizontal. Wang propõe um modelo de implementação que inicia com a criação de condições para a integração vertical, evoluindo depois para a integração horizontal com outras organizações.

Os cinco estágios foram estabelecidos da seguinte maneira: no primeiro nível, há a presença de um Sistema de Execução de Manufatura (MES) instalado; no segundo nível, ocorre a integração de dados relacionados à produção, negócios e redes sociais; no terceiro nível, há a integração de dados provenientes de clientes e fornecedores; no quarto nível, ocorre a integração de sistemas e empresas, gerando informações de maneira conjunta; e, finalmente, no quinto nível, os sistemas estão integrados e capazes de tomar decisões de maneira autônoma.

Os níveis definidos são utilizados pelo modelo de Gökalp et al. (2017): Nível 0 – Nenhum; Nível 1 – Realizado; Nível 2 – Gerenciado; Nível 3 – Estabelecido; Nível 4 – Previsível; Nível 5 – Otimizado

a) Nível 0: Nenhum.

b) Nível 1: Realizado. Integração de Dados e Sistemas. Há um MES (Manufacturing Execution System) instalado. Na fabricação, a abordagem tradicional de gestão envolve a centralização e controle das máquinas por uma entidade central. O sistema ERP (Enterprise Resource Planning) gerencia as ordens de produção, conectando-se diretamente ao MES para otimização do tempo e alocação de recursos. Os dados de produção são integrados aos aplicativos corporativos e analisados por meio de planilhas. Os dados operacionais do chão de fábrica, como valores de sensores, estão crescendo rapidamente em volume. Além disso, informações essenciais são documentadas em manuais de máquinas.

c) Nível 2: Gerenciado. Unificação de dados ao longo do ciclo de vida, integrando informações cruciais da fabricação com dados de pós-venda, logística e redes sociais. Este processo é realizado por meio de planilhas, utilizando dados exportados manualmente de sistemas de origem, juntamente com dados agregados.

d) Nível 3: Estabelecido. Serviço Orientado. A integração e intercâmbio de informações entre os sistemas empresariais e as operações de chão de fábrica ocorrem por meio de um barramento de serviço corporativo. Dados pertinentes para análises básicas são requisitados e armazenados em um banco de dados para possibilitar a criação de históricos. Nesse estágio, se inicia a integração horizontal com a compartilhamento de dados entre a empresa, fornecedores e clientes.

e) Nível 4: Previsível. Gêmeo Digital (*Digital Twin*). A colaboração eficiente na fábrica, baseada em dados, depende de um modelo de dados consistente que permite a compreensão em tempo real por sistemas e humanos. Isso é alcançado através da criação do "gêmeo digital". Também é avaliada a comunicação e colaboração entre as empresas ao longo da cadeia produtiva.

f) Nível 5: Otimizado. Otimização automática de Fábrica. Aqui, a análise avançada é essencial para extrair informações valiosas dos dados em tempo real na fábrica inteligente. A implementação de uma nova hierarquia na nuvem é necessária para viabilizar essa análise. A disponibilização de informações inclui agora o fornecimento sensível ao contexto para os trabalhadores, e a composição dos serviços ocorre durante a execução. A integração de análises avançadas e análises de bordo é feita em um ciclo automatizado entre trabalhadores e máquinas, possibilitando a autoaprendizagem na fábrica. Essas análises também são aplicadas à cadeia de valor da organização.

3.1.4 Internet das Coisas (IoT)

Para medir e analisar qual nível de maturidade atingido na organização com o uso da Internet das Coisas, os níveis definidos são de Gökalp et al. (2017): Nível 0 – Nenhum; Nível 1 – Realizado; Nível 2 – Gerenciado; Nível 3 – Estabelecido; Nível 4 – Previsível; Nível 5 – Otimizado.

a) Nível 0: Nenhum.

b) Nível 1: Realizado. Nesta etapa a presença de uma rede de internet ou ethernet é averiguada. IoT é iniciado, ainda sem qualquer aplicação definida, contudo, há a presença da parte física instalada.

c) Nível 2: Gerenciado. Há de ter uma rede de comunicação, além de ser indispensável que ela esteja conectada em algumas máquinas e, ou equipamentos. São feitas experiências de forma isoladas.

d) Nível 3: Estabelecido. Aqui, a rede está em pleno funcionamento, havendo troca de informações. Os equipamentos usufruem da rede para receber tais dados e informações que são importantes para o funcionamento, ao mesmo tempo em que envia informações para o sistema.

e) Nível 4: Previsível. São interligados máquinas e equipamentos cujas coletas de informações são possíveis, ao mesmo tempo, estão conectados os sistemas computacionais da empresa, fazendo gerar somente uma única rede de comunicações.

f) Nível 5: Otimizado. IoT presente em tudo, sejam equipamentos e softwares, permitindo ampla comunicação entre todos. Ocorre intensa troca de dados entre máquinas e sistemas, permitindo tomada autônoma de decisão. Ocorre autocorreção e utiliza da rede para exercer ações.

3.1.5 Manufatura Aditiva

Método utilizado é o proposto por níveis de Gökalp et al. (2017). Utilizado também o trabalho de Lamontagne (2016) para descrever cada nível: Nível 0 – Nenhum; Nível 1 – Realizado; Nível 2 – Gerenciado; Nível 3 – Estabelecido; Nível 4 – Previsível; Nível 5 – Otimizado

a) Nível 0: Nenhum.

b) Nível 1: Realizado. A fabricação aditiva é empregada de forma esporádica, porém, não está integrada ao desenvolvimento de produtos ou processos. Os colaboradores têm conhecimento sobre usos mais comuns, materiais e possibilidades de formas. A empresa dispõe de uma impressora 3D ou utiliza serviços de terceiros. Os funcionários possuem uma compreensão básica de arquivos CAD, formatos e características, mas não estão familiarizados com software específico de fabricação aditiva.

c) Nível 2: Gerenciado. A manufatura aditiva é ocasionalmente usada em várias aplicações, com técnicas de prototipagem para análise dimensional. Uma abordagem integrada no desenvolvimento de produto e processo é adotada, aprofundando a compreensão dos colaboradores nos princípios da fabricação aditiva. Apesar do conhecimento sobre software específico para geração de processos 3D, sua utilização ainda não é amplamente difundida.

d) Nível 3: Estabelecido. A fabricação aditiva é amplamente empregada, sendo comum a criação de peças específicas para aplicações especiais por meio de técnicas como a impressão 3D. Ela é escolhida para diversos processos de fabricação, e existe uma abordagem metodológica para integrar a fabricação aditiva com outros métodos. Neste ponto, as impressoras 3D desempenham um papel significativo no conjunto de máquinas da empresa, contribuindo de maneira eficaz.

e) Nível 4: Previsível. Normas de design são empregadas para orientar a utilização da fabricação aditiva. Durante o processo de design, as peças são concebidas, e seu potencial é examinado através da experimentação com novos materiais associados à fabricação aditiva. Diversas ferramentas são empregadas para otimizar a contribuição dos engenheiros no desenvolvimento de novos produtos e processos. Neste contexto, as impressoras são integradas de maneira sinérgica com outros equipamentos e sistemas da organização.

f) Nível 5: Otimizado. Integração total da Manufatura aditiva junto aos processos de desenvolvimento de produtos. Aberta a possibilidade de troca de forma autônoma de peças.

3.1.6 Robôs Autônomos

A base utilizada para medir esse modelo tecnológico fora proposto por Gökalp et al. (2017). Proposto por 6 diferentes níveis de maturidade: Nível 0 – Nenhum; Nível 1 – Realizado; Nível 2 – Gerenciado; Nível 3 – Estabelecido; Nível 4 – Previsível; Nível 5 – Otimizado.

a) Nível 0: Nenhum.

b) Nível 1: Realizado. Nesse nível, é preciso que a empresa já tenha e faça uso de um robô em seu processo. Caso tenha, eles não detêm a capacidade de gerenciamento remoto ou sinalização de erro.

c) Nível 2: Gerenciado. Neste momento, um robô da empresa foi desenvolvido para colaborar com seres humanos, utilizando tecnologia de sensoriamento e programação que permite sua operação simultânea, sem a necessidade de sistemas de segurança convencionais. Embora não possa ser gerenciado remotamente, consegue sinalizar visualmente para operadores humanos quando detecta erros.

d) Nível 3: Estabelecido. Para implementar efetivamente essa tecnologia, é imprescindível que a empresa adote ambientes de trabalho colaborativos. Nessas configurações, máquinas e indivíduos operam conjuntamente no mesmo espaço, colaborando para a produção de seus produtos. O robô tem a capacidade de enviar um sinal digital ao detectar um obstáculo, contudo, é necessária uma intervenção manual no local para corrigir qualquer problema identificado.

e) Nível 4: Previsível. A robótica colaborativa está totalmente integrada ao processo da empresa neste estágio. Os robôs estão interligados internamente e com outros sistemas. Embora possam ser operados remotamente localmente, ainda não têm capacidade para operação à distância.

f) Nível 5: Otimizado. No nível mais avançado, os robôs aprendem por interação entre eles, aprimorando seu desempenho. Têm gerenciamento remoto para superar obstáculos e estão integrados aos equipamentos da empresa.

3.1.7 Realidade Aumentada

Conforme o método proposto para medir o nível de maturidade de Gökalp et al. (2017), fora utilizado o mesmo. Proposto por 6 diferentes níveis de maturidade: Nível 0 – Nenhum; Nível 1 – Realizado; Nível 2 – Gerenciado; Nível 3 – Estabelecido; Nível 4 – Previsível; Nível 5 – Otimizado.

a) Nível 0: Nenhum.

b) Nível 1: Realizado. No estágio inicial, a avaliação foca na existência de equipamentos ou software de realidade aumentada na empresa, buscando verificar a familiaridade dos funcionários com essa tecnologia através de exposições ou recursos online.

c) Nível 2: Gerenciado. Aqui, a empresa possui alguma aplicação. Mesmo que de forma isolada, fora da produção e de maneira experimental.

d) Nível 3: Estabelecido. Nessa fase, ela participa do sistema produtivo da empresa. Usada em operações de produção como instrutiva, na forma de inspeção, ou, ainda, em casos de manutenção.

e) Nível 4: Previsível. Há a possibilidade de verificação de integridade com outros sistemas. Visa obter as correções de forma mais ágil. Implementado um sistema de correção de problemas de maneira remota.

f) Nível 5: Otimizado. Aqui o sistema tem a capacidade de apontar falhas futuras e informar o colaborador. Integrada totalmente com os outros sistemas.

3.1.8 Segurança Digital

Conforme Saleh (2011), foi utilizado esse método para medir o nível de maturidade de segurança digital. Idealizado conforme os 6 níveis de maturidade de Gökalp et al. (2017): Nível 0 – Nenhum; Nível 1 – Realizado; Nível 2 – Gerenciado; Nível 3 – Estabelecido; Nível 4 – Previsível; Nível 5 – Otimizado.

a) Nível 0: Nenhum.

b) Nível 1: Realizado. Esse estágio marca o ponto de partida para qualquer organização. Quando uma organização está ciente das ameaças que seus sistemas de informação enfrentam, ela é considerada em um estágio inicial de conformidade. Nesse estágio, as organizações reconhecem os riscos associados às vulnerabilidades em seus negócios, mas ainda não estabeleceram políticas ou procedimentos definidos para proteção. Além disso, a implementação prática de sistemas de segurança é limitada, com controles sendo principalmente reativos e não planejados. Os objetivos nesse estágio inicial geralmente se concentram nas atividades comerciais da organização, com ênfase na proteção do negócio. Caracteriza-se pela ausência de políticas e procedimentos que garantam a segurança dos negócios. A administração não considera investir em sistemas de segurança necessários para as operações e não avalia o impacto comercial das vulnerabilidades, nem compreende totalmente os riscos associados a essas vulnerabilidades.

c) Nível 2: Gerenciado. Os sistemas e a rede têm medidas de segurança implementadas, mas as mudanças não são centralmente gerenciadas. As organizações confiam na interação direta entre usuários e sistemas, com programas de conscientização de segurança focados em recursos essenciais. Os procedimentos de segurança de TI são informais, algumas

avaliações de risco são realizadas, e as responsabilidades de segurança de TI foram atribuídas, mas com implementação inconsistente. Algumas avaliações de intrusão são conduzidas, mas as organizações não consideram seus usuários como ameaças para os sistemas.

d) Nível 3: Estabelecido. Neste nível, as questões e políticas de segurança são gerenciadas centralmente. Embora os usuários sejam confiáveis, suas interações com os sistemas são consideradas pontos de vulnerabilidade. Existem políticas de segurança, procedimentos e controles de acesso rigorosos. As medidas de segurança são avaliadas com base no equilíbrio entre custo e benefício, e os usuários adotam práticas como o uso de senhas diferentes e alterações frequentes. A comunicação entre a equipe de segurança e os usuários é crucial para mantê-los informados sobre possíveis ameaças.

e) Nível 4: Previsível. Neste estágio, a organização tem controle sobre suas necessidades de segurança, com monitoramento ativo, conscientização de ameaças e comparação com padrões internacionais. Uma função de segurança eficiente foi estabelecida, com políticas formais, procedimentos e governança corporativa, alinhados às exigências de segurança.

f) Nível 5: Otimizado. Aqui são possíveis reparações de risco em forma autônoma. O sistema é tão capaz que melhora a proteção sem requerer intervenção humana alguma.

3.1.9 Simulação

Elas utilizam dados atualizados ao vivo refletindo o mundo físico em modo virtual, incluindo máquinas, produtos e seres humanos. Utilizado e proposto por Gökalp et al. (2017), conforme já fora descrito anteriormente, e adicionado com o modelo proposto por Guimarães (2015). São utilizados 6 níveis:

a) Nível 0: Nenhum.

b) Nível 1: Realizado. Os gestores têm interesse na metodologia de simulação, mas a implementação de padrões nos processos é limitada e incipiente. A organização está dando os primeiros passos na organização dos processos, com procedimentos sendo esboçados. A medição de desempenho é feita manualmente em pontos isolados, e as informações são compartilhadas de forma irregular. Ainda não foram adotados programas formais de gerenciamento e qualidade.

c) Nível 2: Gerenciado. O conhecimento sobre simulação é adquirido por meio de apresentações, leituras técnicas ou internet. Os processos são formalmente descritos, e a

implementação de padrões, procedimentos, ferramentas e métodos está em andamento. Com esse conhecimento, especialistas começam a surgir. Há uma análise mais aprofundada de medição, controle e planejamento das atividades. Inspeções e manutenção de qualidade são iniciadas, e os processos de engenharia são aplicados nesse nível. Práticas de gestão da qualidade estão sendo introduzidas.

d) Nível 3: Estabelecido. O conhecimento sobre simulação foi adquirido por meio de cursos e treinamentos. Existe um gerenciamento abrangente de projetos e processos, incluindo a organização e controle dos produtos. Um planejamento e programação de produção foram estabelecidos com o objetivo de atender à demanda dentro do prazo, visando maior rendimento e produtividade. A equipe de gestão tem visibilidade completa sobre o status dos processos. Alguns processos foram selecionados para serem controlados e gerenciados estatisticamente e quantitativamente. Causas especiais de variação no processo são identificadas e analisadas. Programas de gerenciamento estão totalmente implementados.

e) Nível 4: Previsível. Processos são melhorados ininterruptamente por meio de inovações e ações incrementais. Metas numéricas são definidas e revisadas visando aprimorar os processos. Nesse estágio, toda a operação da empresa é simulada em um ambiente virtual, incluindo uma cópia digital da empresa, conhecida como (*Digital Twin*). Isso permite simular os impactos de qualquer mudança em toda a organização

f) Nível 5: Otimizado. A simulação é realizada de maneira contínua e integrada em tempo real. Os resultados gerados alimentam outros sistemas da empresa e interagem com eles para otimizar o desempenho organizacional.

3.1.10 Sistemas Ciberfísicos

A análise dessa tecnologia foi baseada na proposta do Laboratório de Máquinas-Ferramenta e Engenharia de Produção da RWTH Aachen University. Esse estudo avalia em cinco níveis a maturidade dos sistemas ciberfísicos, conforme definido por Monostori et al. (2016): i) estabelecimento dos princípios básicos; ii) criação de transparência; iii) aumento da compreensão; iv) melhoria da tomada de decisões; e v) auto-otimização. O primeiro nível se concentra na criação das condições organizacionais e estruturais para a implementação do CPS (*ciber physical system*), enquanto os quatro níveis subsequentes representam a maturidade nas realizações relacionadas ao processamento de informações e conhecimento, bem como aspectos de cooperação e colaboração.

Os seis diferentes níveis são:

a) Nível 0: Nenhum.

b) Nível 1: Realizado. Nesta parte, verifica-se se os equipamentos da empresa estão equipados com sensores. Esses sensores são os que permitem a coleta de dados e o uso desses dados em um ambiente externo à máquina. O objetivo neste nível é estabelecer as condições gerais para a coleta de informações.

c) Nível 2: Gerenciado. Neste nível ainda não há execução dos dados gerados em integração total da fábrica, porém, as informações e dados são gerados em tempo real. São utilizados em algum sistema que fica isolado. Busca saber se a organização já utiliza o sistema ciberfísico de forma nem que seja isolada.

d) Nível 3: Estabelecido. Os dados capturados pelos sensores e monitorados pelo sistema ciberfísico são empregados como suporte para as decisões tomadas na organização. Embora o sistema ciberfísico esteja atualmente concentrado nos equipamentos, ele integra o sistema de informações da empresa. Há um processamento das informações ocorrendo nesse contexto.

e) Nível 4: Previsível. Neste estágio, o sistema ciberfísico atinge um nível avançado quando está totalmente integrado com os demais sistemas da empresa, permitindo a interação em tempo real, a troca de informações e a emissão de alertas para possíveis falhas, todos dentro de uma rede colaborativa.

f) Nível 5: Otimizado. Sistema totalmente integrado e já se autocorrige, melhorando o desempenho sem qualquer interferência de inteligência humana. Resolve problemas de forma independente.

3.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO

Foram propostos em dois diferentes ambientes para a aplicação da metodologia descrita, utilizando da medição de maturidade no usufruto de tecnologias em duas diferentes empresas, sendo uma do ramo alimentício da cidade de Veranópolis, Rio Grande do Sul, e a outra na ConceptLab Laboratório Ótico LTDA, empresa de fabricação de lentes e armações da cidade de Vila Flores, Rio Grande do Sul.

A escolha por ambas foi pelo fator de até, por certo ponto, comparar os dois diferentes mercados em que ambas atuam e ter um parâmetro se ambas estão, de certa forma, preparadas e evoluindo para atender a demanda e as mudanças nas quais o mercado passa a exigir

diariamente. A empresa do ramo alimentício surgiu em 1979 e, desde então, expandiu em diversas filiais espalhadas pelo sul, nordeste e norte do Brasil. Ela tem como principal fonte de matéria-prima a soja e seus derivados, como óleo, farelo e a lecitina. Já a Lentes PRIME, é uma empresa que atua no ramo laboratorial há mais de 50 anos. Busca atender todo o território brasileiro, produzindo há seis anos os mais diversos tipos de lentes, abastecendo com o que há de mais avançado em *freeform* e antirreflexo. Possui, portanto, equipamentos de alta tecnologia e avançados.

Após a verificação em planta de ambas as empresas, o fechamento fora feito entre o autor e gestor das respectivas empresas e setores. A averiguação e medição ocorreu entre os meses de outubro e novembro de 2023.

4 RESULTADOS

Primeiramente, serão apresentados e analisados a medição de maturidade na qual fora constatado e logo em seguida, comparando os resultados entre as duas empresas. Há ainda, um parecer sobre os resultados obtidos e ainda, constam as ramificações de gestão relacionadas às sugestões para a empresa em relação aos passos futuros.

4.1 ANÁLISE E DESCRIÇÃO

Foi desenvolvido o trabalho perante a verificação em planta e em campo no processo fabril de cada empresa. Neste tópico, serão apresentados os resultados referentes as pesquisas e estudos feitos nas duas empresas.

4.1.1 Empresa Alimentícia de Veranópolis

O primeiro será o resultado obtido na empresa do ramo alimentício de Veranópolis. A mesma é responsável pela fabricação e comercialização de farelo de soja, casca, lecitina, biodiesel, glicerina, entre outros produtos. Atende tanto o mercado interno quanto externo. Tem como característica essa unidade, que a mesma começou datada no ano de 1979 e perdura desde então. A fabricação e setor de biodiesel começou no ano de 2007. Nesse período, a empresa passou por diversas mudanças, sejam elas de equipamentos ou mesmo de processos. É possível encontrar ainda, equipamentos de alta geração operando concomitantemente com alguns mais antigos. A empresa conta, ao todo, com mais de 300 funcionários, desde motoristas até colaboradores no processo de produção. Nela, encontram-se diversos setores, tais quais: i) carregamento, recebimento e expedição; ii) administrativo; iii) extração; iv) caldeira; v) manutenção, automação e elétrica; vi) tratamento de matéria graxa; vii) secador de soja; viii) biodiesel e tratamento de óleo; ix) laboratórios; x) outras funções.

Consequente, apresentados os níveis de maturidade de cada pilar tecnológico:

4.1.1.1 Big Data

Na empresa, o Big Data atualmente exerce a maturidade de nível um, ou seja, realizado. Tem algumas tecnologias presentes, mas a organização está ainda em busca para evoluir ainda mais nesse conceito. Alguns dados são extraídos através de programas e checklists feitos manualmente, de forma diária. Os dados, como por exemplo, de algumas máquinas e equipamentos, são obtidos em supervísório, através de gráficos e telas por vezes mostrando o nível atual dos tanques que se encontram em plantas ou contenções. Tudo ocorre através de um servidor via rede Ethernet, servidor esse que é próprio da empresa. Para evoluir, a empresa ainda discute e avalia algumas maneiras de evoluir e instaurar certos programas e evoluções.

4.1.1.2 Computação na Nuvem

O serviço em nuvem é conhecido pela empresa, principalmente pela área de TI, entretanto, cada sistema utilizado e dados compartilhados são feitos através do servidor que a empresa possui, tendo cada gestor seu próprio acesso com seus dados e planilhas de cada setor em questão, sem usufruto dos demais e sem compartilhar com outros.

O nível de maturidade encontrado e definido fora o dois, até porque é um pilar que precisa ser aprofundado e melhorado, buscando sempre como objetivo utilizar o banco de dados na nuvem, tornando o acesso sem servidor cada vez mais real e próximo.

4.1.1.3 Integração Vertical e Horizontal

Para tal, é exigido o MES (*Manufacturing Execution System*), sem ele, não há a inclusão da fábrica com outros sistemas, formando a verticalidade e horizontalidade exigida.

Cada setor conta com rede tendo CLPs referente às áreas desejadas. Há uma arquitetura de rede que inclui protocolos como Profinet, Profibus DP e Modbus. Os CLPs se comunicam entre si, com seus motores (partida direta, inversores de frequência e Soft Starter) e com instrumentos (FIT, LIT, PHT, PT, etc). Os sistemas contam com supervisórios desenvolvidos pela Automasul em Eclipse, lendo informações dos CLPs e controlando acionamento de motores e válvulas. Não há ainda uma previsão de inclusão do projeto MES. Portanto, o nível de maturidade encontrado foi zero.

4.1.1.4 Internet das Coisas (IoT)

Aqui foi constatado o seguinte cenário, gestores tem acesso a rede externa de comunicação de internet e Ethernet. Cada setor utiliza de um sistema supervisor, como mencionado no item anterior.

Utilizando de forma um tanto quanto isolada, o nível constatado e encontrado foi o dois, para avançar, seria necessário que o que é obtido em gráficos e dados, não de ser armazenados, gerando informações e armazenando-as em tempo real, sem um histórico que se apresenta um tanto quanto confuso para tal, e utilizando, principalmente, em nuvem.

4.1.1.5 Manufatura Aditiva

O nível definido e encontrado foi o nível zero, visto que a empresa ainda não possui nenhuma impressora 3D, até pelo fato de a mesma não precisar utilizar de tal artifício, visto que o que produz e utiliza de matéria prima, não há necessidade de ter uma.

4.1.1.6 Robôs Autônomos

Existe o setor de automação, entretanto, não há presença de robôs autônomos, tendo cada equipamento sendo obedecido e controlado suas funções, como start e stop, por humanos. Portanto, o nível concluído para esta etapa é o zero.

4.1.1.7 Realidade Aumentada

A empresa conhece o pilar tecnológico da realidade aumentada, entretanto, ainda não faz uso de nenhum equipamento ou tecnologia que usufrui de tal. Todavia, já foram feitas palestras com colaboradores e gestores mostrando tal. Nível de maturidade encontrado, por fim, é o nível um.

4.1.1.8 Segurança Digital

Há regras e políticas internas vigentes definidas de rede. O sistema é totalmente monitorado pelo setor de TI. Controlam acesso tanto interno quanto externo, por vezes, realizando testes para medir o nível de segurança encontrado nesse sistema. Observado o nível dois de maturidade, visto que o setor de TI que cuida desta parte.

4.1.1.9 Simulação

Neste pilar, não há ainda nenhum sistema que ofereça refletir o mundo físico em um molde virtual, não utilizando da metodologia em suas ações. Entretanto, para isso, utiliza serviços de terceiros para realizar projetos de plantas e equipamentos. Observado nível um.

4.1.1.10 Sistema Ciberfísico

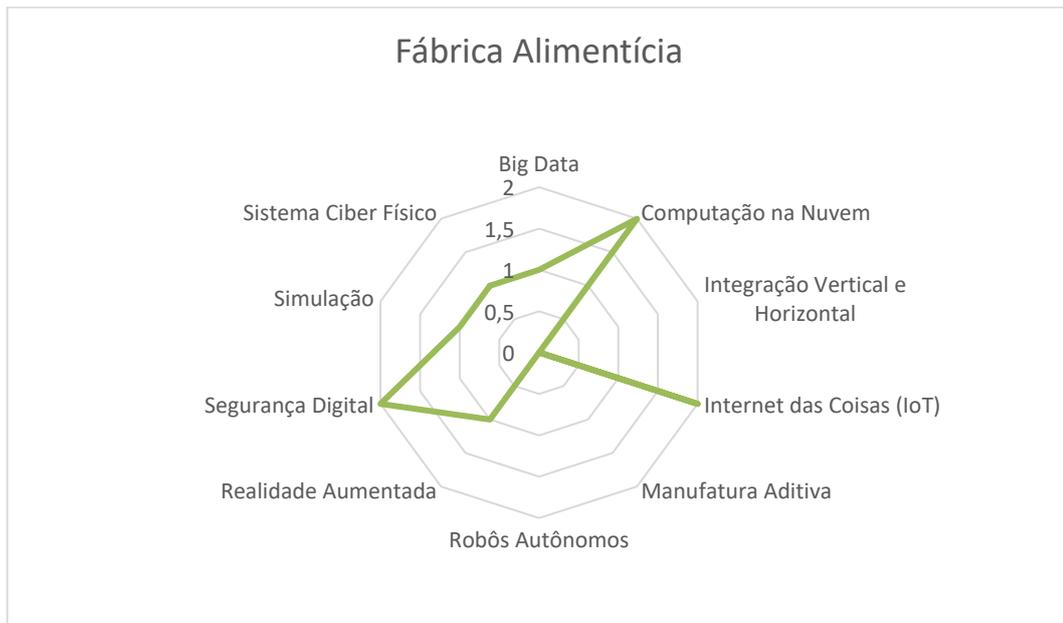
A simulação é um pilar tecnológico cujo o nível é um. A empresa possui alguns sensores instalados, principalmente nas contenções, com a finalidade de obter por segurança, aviso de limite de nível, sendo o mesmo espalhado por toda a empresa em questão. Os sensores possibilitam a coleta de dados em supervisão, mas o real aferimento de nível é feito manualmente, de forma presencial nessas contenções.

Quadro 4 – Resultado da Fábrica Alimentícia de Veranópolis

Medição de Maturidade dos Pilares Tecnológicos da Indústria 4.0			
P I L A R E S T E C N O L Ó G I C O S	Nível Encontrado		
	Big Data	1	Realizado
	Computação na Nuvem	2	Gerenciado
	Integração Vertical e Horizontal	0	Nenhum
	Internet das Coisas (IoT)	2	Gerenciado
	Manufatura Aditiva	0	Nenhum
	Robôs Autônomos	0	Nenhum
	Realidade Aumentada	1	Realizado
	Segurança Digital	2	Gerenciado
	Simulação	1	Realizado
	Sistema Ciber Físico	1	Realizado

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 12 – Resultado Fábrica Alimentícia



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No resultado da Fábrica Alimentícia, os destaques ficam por conta da computação na nuvem, internet das coisas e segurança digital. Elas são responsabilidades única e exclusivamente da área de TI. Os processos cujo o setor está incluso está mais avançado do que o restante dos pilares tecnológicos. O destaque negativo fica por conta da Integração Vertical e Horizontal, manufatura aditiva e robôs autônomos, pilares que ainda são inexistentes na empresa em questão.

4.1.2 ConceptLab Laboratório Ótico LTDA.

Buscando atender todo o território nacional, a empresa ConceptLab perdura por mais de 50 anos. Com o passar dos anos, foi evoluindo até chegar ao mais alto patamar no que diz respeito a tecnologia. Dessa forma, utiliza a Prime UltraForm, uma tecnologia já utilizada há mais de 6 anos, tem capacidade para produzir 100% da sua gama de produtos, utilizando de desenhos próprios de projetos, exclusivos e patenteados. A organização conta com o número atual de 45 funcionários, utilizando bastante da mão de obra automatizada e robotizada.

4.1.2.1 Big Data

O conceito de Big Data encontrado nesse pilar foi de nível dois. A empresa está começando a instaurar o processo de Big Data. Está começando a ter suporte em toda a organização, contudo, ainda é um pouco irregular. A tomada de decisão é ainda um pouco mais centralizada que o normal. A empresa está de acordo em evoluir nesse item.

4.1.2.2 Computação na Nuvem

Existem processos avançados e softwares utilizados de alto padrão tecnológico, como neste caso é o Sankhya, rodando em sistema ERP, em nuvem. Portanto, o nível de maturidade observado nesse caso foi o três. O avanço total da organização se dará quando usar serviços como computação sem servidor e banco de dados na nuvem.

4.1.2.3 Integração Vertical e Horizontal

Para obter tal pilar, há de se usufruir de um software MES (*Manufacturing Execution System*), sem ele, não há integração da fábrica com outros sistemas da empresa de forma vertical e horizontal. O MES está em processo de implementação na empresa, junto a ele, conta com o sistema ERP da Sankhya. A integração vertical está em processo de amadurecimento e acontecimento. Portanto, o nível adotado para a empresa neste pilar é o um.

4.1.2.4 Internet das Coisas (IoT)

Na IoT, é essencial que tenha rede de comunicação, seja ela interna ou externa, com ou sem uso de internet. Foi encontrado equipamentos ligados em rede, sendo ela Ethernet, interna. O exemplo disso é o uso do software Sankhya, que permite desenhar, fazer e modular peças em um setor, sendo reconhecida após pela máquina para realizar as tarefas exigidas, conforme o código lido, de forma ampla, e não somente isolada. O nível encontrado, portanto, foi o nível três.

4.1.2.5 Manufatura Aditiva

A empresa consta com uma impressora 3D, todavia, é de baixo porte, sendo usada ocasionalmente. Nível encontrado foi o um, isso quer dizer que o pilar é utilizado poucas vezes e não é totalmente integrado com o desenvolvimento de produto ou processo, somente para simulação, em alguns casos.

4.1.2.6 Robôs Autônomos

A empresa possui três robôs autônomos, visto que é uma empresa de pequeno porte, mas que atende a demanda exigida e produz de forma que atende seus clientes satisfatoriamente. Dois dos robôs são utilizados para fazer tratamento das lentes e cortes das mesmas, feitas pelo setor de cálculo, quando as mesmas necessitam, e o outro é para realizar o trabalho que dois humanos fariam, que seria o caso de organizar as caixas com o par de lentes e colocá-las em produção.

Por isso, o nível de maturidade encontrado foi o três, trabalhando junto com operadores, no mesmo espaço, visto que, ainda, esses robôs autônomos podem oferecer a tecnologia de sensoriamento e programação permitindo que seja operado ao mesmo tempo com pessoas e sem os sistemas de segurança tradicionais. Não é operado remotamente, mas ao menos fornece sinais visuais para operadores humanos ao encontrar algo errado.

4.1.2.7 Realidade Aumentada

A empresa tem conhecimento da tecnologia, contudo, acontece de forma experimental e isolada. A empresa está em busca de implementação desse pilar tecnológico. O nível cujo se encaixa é o um.

4.1.2.8 Segurança Digital

O sistema encontrado foi centralizado e monitorado por especialistas em TI presentes na empresa. Há a presença de controle interno e externo da empresa. São feitos alguns testes de forma periódica para medir e detectar possíveis falhas no sistema. O nível percebido nesse pilar foi o dois.

4.1.2.9 Simulação

A Conceptlab possui alguns setores que foram moldados e já passaram por simulações para determinar layout e capacidade. Não obstante, a empresa não adota uso regular dessa abordagem em suas práticas diárias. O nível de maturidade no qual foi atribuído é dois, indicando que a mesma gerencia esse aspecto. A organização possui ferramentas e métodos implementados, determinando um processo consolidado de simulação que faz parte do desenvolvimento dela.

4.1.2.10 Sistema Ciberfísico

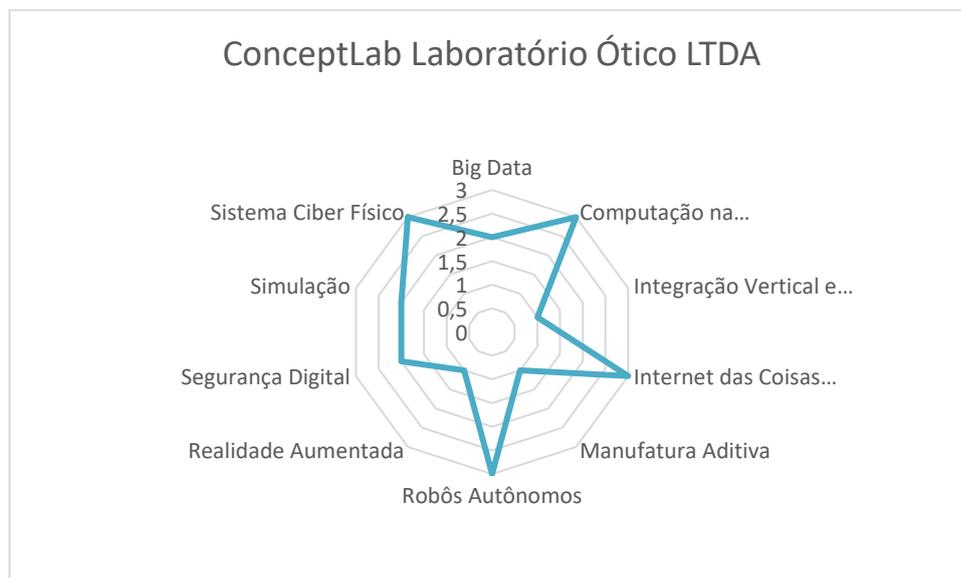
A empresa conta com alguns processos críticos, como estufa, cuja monitoração é feita através de um sistema de gerenciamento de sensores. Conta ainda com alguns recursos que melhoram a visibilidade, gerenciamento dos aspectos físicos para o virtual e transferência de dados. O nível de maturidade sugerido para este pilar é o três. As informações coletadas por sensores e monitoradas pelo sistema ciberfísico são utilizadas para suporte de tomada de decisões. O próximo nível somente será atingido caso consigam interagir e trocar informações em tempo real, emitindo alertas para possíveis falhas e prevendo situações de outros equipamentos.

Quadro 5 – Resultado da ConceptLab Laboratório Ótico LTDA

Medição de Maturidade dos Pilares Tecnológicos da Indústria 4.0			
P I L A R E S T E C N O L Ó G I C O S	Nível Encontrado		
	Big Data	2	Gerenciado
	Computação na Nuvem	3	Estabelecido
	Integração Vertical e Horizontal	1	Realizado
	Internet das Coisas (IoT)	3	Estabelecido
	Manufatura Aditiva	1	Realizado
	Robôs Autônomos	3	Estabelecido
	Realidade Aumentada	1	Realizado
	Segurança Digital	2	Gerenciado
	Simulação	2	Gerenciado
Sistema Ciber Físico	3	Estabelecido	

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 13 – Resultado ConceptLab Laboratório Ótico LTDA



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Na empresa ConceptLab Laboratório Ótico LTDA, os destaques encontrados foram a computação na nuvem, internet das coisas, robôs autônomos e sistema ciberfísico. Isso demonstra ser uma empresa altamente automatizada e tecnológica. Conta com uma especializada área de TI que faz com que a mesma sempre esteja em pleno processo de evolução e inovação. Nos próximos meses, está para ser implementado ainda mais um sistema MES, fazendo por assim, melhorar e elevar o nível da integração vertical e horizontal.

Quadro 6 – Comparativo entre as empresas.

Medição de Maturidade dos Pilares Tecnológicos da Indústria 4.0			
P I L A R E S T E C N O L Ó G I C O S	Resultados Encontrados		
		Fábrica Alimentícia	ConceptLab
	Big Data	1	2
	Computação na Nuvem	2	3
	Integração Vertical e Horizontal	0	1
	Internet das Coisas (IoT)	2	3
	Manufatura Aditiva	0	1
	Robôs Autônomos	0	3
	Realidade Aumentada	1	1
	Segurança Digital	2	2
	Simulação	1	2
	Sistema Ciber Físico	1	3

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

4.2 DEBATE DOS RESULTADOS

O objetivo deste estudo foi avaliar individualmente a maturidade dos componentes tecnológicos da Indústria 4.0. Os resultados obtidos indicam um nível avançado de maturidade no uso das tecnologias, mas não revelam a estratégia adotada pelas empresas para alcançar o estágio identificado. Como Schumacher et al. (2016), Gökalp et al. (2017) e Pessl et al. (2017), se sugere uma avaliação abrangente da Indústria 4.0 para ambas as empresas. Todavia, nessas circunstâncias, as iniciativas estão centradas na estratégia e, conseqüentemente, distantes das operações diretas no chão de fábrica. Em outros trabalhos como Weber et al. (2017), Halper e Krishnan (2014) e Monostori et al. (2016), os modelos de maturidade concentram-se em um único aspecto tecnológico, sem considerar os demais pilares.

Um dos resultados da avaliação de maturidade destacou a significativa influência de um software de MES (Manufacturing Execution System) nos indicadores relacionados aos pilares de IoT, integração vertical e horizontal, e sistemas ciberfísicos. Esse software desempenha um papel crucial para impulsionar a empresa na adoção dos princípios da Indústria 4.0. (Weber et al. 2017); (Monostori et al. 2016) e (Wang et al. 2017).

Os resultados do estudo evidenciaram os benefícios de possuir uma infraestrutura de tecnologia da informação corporativa. Nos pilares tecnológicos em que a TI desempenha um papel central, os resultados mostraram uma maturidade significativamente superior em comparação aos demais. Segundo Kagermann et al. (2013), evidencia que a integração da

Internet das Coisas (IoT) com os processos de manufatura unifica os sistemas da empresa, possibilitando os benefícios da Indústria 4.0. Isso reforça a crescente influência das áreas de Tecnologia da Informação (TI) na manufatura. Além disso, este trabalho destaca a importância de uma integração cada vez mais estreita no desenvolvimento entre as áreas de TI (Tecnologia da Informação) e TA (Tecnologia de Automação).

Em suma, os autores propõem estabelecer um laboratório dedicado à experimentação das tecnologias da Indústria 4.0 para resolver problemas reais da indústria. Esse laboratório seria resultado de uma colaboração entre empresas industriais, instituições acadêmicas e entidades governamentais.

O planejamento da Indústria 4.0 deve visar o aumento da competitividade das empresas estudadas, não apenas a automação por si só. Para alcançar esse objetivo, o nível de maturidade sugerido neste trabalho é essencial, pois permite que as organizações compreendam claramente sua posição atual e identifique os próximos passos para aprimorar sua produtividade e, conseqüentemente, fortalecer sua competitividade.

5 CONCLUSÃO

Este estudo foi elaborado com o propósito principal de avaliar o grau de maturidade na adoção de tecnologias em um contexto da Indústria 4.0. A medição proposta teve como foco duas empresas de diferentes setores. Após obter os resultados de maturidade, realizou-se uma análise do nível de implementação de cada tecnologia nas empresas participantes. Para alcançar esse objetivo, foi conduzida uma revisão bibliográfica abordando a Indústria 4.0, seus pilares tecnológicos, modelos de medição de maturidade e estratégias de implementação.

A revisão do material teórico também teve como objetivo identificar quais tecnologias compõem a Indústria 4.0. Isso foi feito para atender ao primeiro objetivo específico de reconhecer as tecnologias associadas à Indústria 4.0. Com base na literatura examinada, foram identificados dez pilares tecnológicos que representam as principais tecnologias que compõem a Indústria 4.0. Essas tecnologias incluem: i) sistemas ciberfísicos; ii) Internet das Coisas (IoT); iii) manufatura aditiva; iv) robótica autônoma; v) big data; vi) simulação; vii) integração vertical e horizontal; viii) realidade aumentada; ix) segurança digital; e x) computação em nuvem.

O segundo objetivo específico, que consiste em determinar quais modelos de medição de maturidade se aplicam a cada tecnologia selecionada, foi atingido por meio da

revisão do material teórico. Nessa etapa, a literatura foi explorada em busca dos modelos de medição de maturidade mais apropriados para cada pilar tecnológico a ser avaliado. Foi selecionado um modelo para ser adotado como referência na medição. O modelo escolhido foi proposto por Gökalp et al. (2017), composto por seis níveis de maturidade: a) nível zero – nenhum; b) nível um - realizado; c) nível dois - gerenciado; d) nível três - estabelecido; e) nível quatro - previsível; f) nível cinco - otimizado.

O terceiro objetivo específico, que envolvia a avaliação do nível de maturidade das tecnologias em empresas de ramos diferentes, foi concluído por meio da aplicação dos modelos de medição de maturidade. A medição foi realizada em duas diferentes empresas. Sendo as escolhidas: a) Fábrica alimentícia de Veranópolis; e b) ConceptLab Laboratório Ótico LTDA. A seleção dessas empresa levou em consideração características únicas, como a presença de uma combinação de equipamentos mais antigos junto aos mais recentes, como acontece na fábrica alimentícia, e na outra, um teor mais rebuscado e afinado de tecnologia, utilizando equipamentos altamente evoluídos e tecnológicos.

Após realizar a medição de maturidade e obter os resultados, procedeu-se à análise e comparação desses resultados. Essa fase visava cumprir o quarto objetivo específico do trabalho, que consistia em avaliar os níveis de maturidade das tecnologias e das empresas. O objetivo era identificar tanto os pontos fortes quanto as oportunidades de melhoria. Identificou-se que a empresa ConceptLab Laboratório Ótico tem níveis mais avançados de maturidade e está mais preparada para se aprofundar nos pilares tecnológicos. A TI é um setor que elabora e ajuda a melhorar bastante esses pilares. Ficou claro que em ambas as empresas a implementação de um MES se faz necessário, até para aprimorar ainda mais a integração vertical e horizontal.

Uma das limitações identificadas neste trabalho, que pode ser explorada em estudos futuros, diz respeito aos passos subsequentes após obter resultados da medição de maturidade. Uma possibilidade seria desenvolver um modelo abrangente de implementação da Indústria 4.0, começando com a medição de maturidade apresentada neste estudo. Esse modelo poderia incluir etapas adicionais, como a criação de um roteiro para implementação das tecnologias e a instituição de um ciclo contínuo de medição de maturidade para monitorar as evoluções ao longo do tempo.

Ao analisar os resultados, tornou-se evidente a existência de estágios distintos entre as empresas avaliadas. Notou-se que, mesmo em tecnologias ainda vinculadas à Indústria 3.0, a empresa com maior grau de automatização apresentou níveis superiores de maturidade.

Contudo, não foi possível determinar se há uma correlação entre essa maturidade e a estratégia adotada pela empresa. Uma possibilidade para futuras pesquisas seria medir a maturidade da empresa na Indústria 4.0 e investigar sua relação com a estratégia de negócios da organização. Isso permitiria compreender se uma maturidade mais elevada, combinada com uma estratégia de aumento da produtividade por meio da tecnologia, pode influenciar positivamente nos resultados financeiros da empresa.

Os resultados do estudo destacaram que as empresas participantes apresentam um desenvolvimento limitado em alguns pilares tecnológicos da Indústria 4.0. Estes pilares incluem realidade aumentada, manufatura aditiva, e integração vertical e horizontal, em uma, com estágio experimental, já em outra, ainda não consta resquício do pilar tecnológico. Há uma carência de experimentação dessas tecnologias, muitas vezes devido a outras prioridades que as empresas enfrentam. Diante disso, uma possível direção para futuras pesquisas seria explorar a viabilidade de parcerias entre empresas e instituições acadêmicas. A ideia seria criar um ambiente externo às empresas, onde essas tecnologias pudessem ser testadas para resolver desafios reais enfrentados pelas organizações.

Uma das conclusões possíveis após a conclusão deste trabalho, e uma área potencial para pesquisas futuras, é a relevância de conduzir projetos de desenvolvimento relacionados às tecnologias da Indústria 4.0 em colaboração entre a engenharia industrial e as áreas de Tecnologia da Informação (TI) nas empresas. O avanço da Indústria 3.0 para a Indústria 4.0 está intrinsecamente ligado à capacidade de integrar equipamentos, pessoas, sistemas e empresas. Isso só se torna possível quando essas áreas colaboram e trabalham em conjunto.

6 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6022**: Informação e documentação: artigo em publicação periódica científica impressa – apresentação. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. **NBR 6023**: Informação e documentação – referências – apresentação. Rio de Janeiro, 2005.
- BAGGIO, Claudia Carmem; FLORES, Daniel. **Documentos digitais: preservação e estratégias**. 2013.
- BLANCHET, M. *et al.* **THINK ACT: Industry 4.0 The new industrial revolution – How Europe will succeed**. Munique: Roland Berger, 2014.
- BOONE, Louis E.; KURTZ, David L. **Marketing contemporâneo**. Rio de Janeiro: LTC, 1998.
- FISCHER, Christian *et al.* **Enabling live data controlled manual assembly processes by worker information system and nearfield localization system**. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221282711630885X>. Acesso em: 03 nov. 2023.
- GÖKALP, Ebru; SENER, Umut; EREN, P. Erhan. **Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM**. 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/319640255_Development_of_an_Assessment_Model_for_Industry_40_Industry_40-MM. Acesso em: 29 out. 2023.
- HALPER, F.; KRISHNAN, K. **TDWI Big Data Maturity Model Guide: Interpreting your assessment score**. The Data Warehousing Institute, 2013
- IBM BIG DATA. Disponível em <https://www.ibmbigdatahub.com>. Acesso em 01 nov. 2023.
- KAGGERMAN, Henning; WAHLSTER, Wolfgang; HELBIG, Johannes. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0**. 2013. Disponível em: http://forschungsunion.de/pdf/industrie_4_0_final_report.pdf. Acesso em: 28 out. 2023.
- KOTLER, Philip. **Administração de Marketing**. São Paulo: Pearson Education, 2000.
- LAMONTAGNE, Stéphanie. **Development of a maturity model for effective additive manufacturing integration in the product development process**. 2016. Disponível em: https://espace.etsmtl.ca/id/eprint/1828/1/LAMONTAGNE_St%C3%A9phanie.pdf. Acesso em: 03 nov. 2023.
- LEE, Eduard. A. **Cyber Physical Systems: Design Challenges**. 11th IEEE International Symposium, 2008.
- MIORANDI, Daniele *et al.* **Internet of things: Vision, applications and research challenges**. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1570870512000674>. Acesso em: 01 nov. 2023.

MONOSTORI, L *et al.* **Cyber-physical systems in manufacturing.** CIRP Annals, 2016.

MOTOMAN. **Robôs industriais e autônomos.** Disponível em <https://www.motoman.com/pt-br>. Acesso em 01 nov. 2023.

NOGUEIRA, Pedro Miguel Coelho. **Rumo à Indústria 4.0.** 2016. Disponível em: <https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/36992/1/Tese%20Pedro%20Coelho%20Rumo%20%C3%A0%20Industria%204.0.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2023.

PAELKE, Volker. **Augmented reality in the smart factory: Supporting workers in an industry 4. 0. Environment.** 2015. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7005252>. Acesso em: 29 out. 2023.

RODRIGUES, João Paulo Lima; MELO, Maurílio Alves de; LEONE, Rodrigo José Guerra. **Gestão financeira em micro e pequenas empresas: um estudo no setor supermercadista de Mossoró-RN.** 2016. Disponível em: <https://repositorio.unp.br/index.php/connexio/article/view/1188>. Acesso em: 01 nov. 2023.

ROGERS, David L. **Transformação Digital: repensando o seu negócio para a era digital.** São Paulo: Autêntica Business, 2017. 336 p.

RÜßMANN, Michael *et al.* **DIGITAL TRANSFORMATION / FOCUS Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries.** 2015. Disponível em: https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries. Acesso em: 04 nov. 2023.

SADEGHI, Ahmad-Reza; WACHSMANN, Christian; WAIDNER, Michael. **Security and Privacy Challenges in Industrial Internet of Things.** Disponível em: <https://download.hrz.tu-darmstadt.de/media/FB20/Dekanat/Publikationen/TRUST/SnPinIoT.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2023.

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

SHAO, Guodong; JAIN, Sanjay; SHIN, Seung-Jun. **Data analytics using simulation for smart manufacturing.** 2014. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7020063>. Acesso em: 04 nov. 2023.

WANG, Shiyong *et al.* **Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook.** 2016. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1155/2016/3159805>. Acesso em: 28 out. 2023.

WEBER, Christian *et al.* **M2DDM – A Maturity Model for Data-Driven Manufacturing.** 2017. Disponível em: <https://pdf.sciencedirectassets.com/282173/1-s2.0-S2212827117X00073/1-s2.0-S2212827117304973/main.pdf?X-Amz-Security->. Acesso em: 04 nov. 2023.

WENDPAP, Marcos Vinicius; ALMEIDA, Robson Luciano de; SILVA, Adriana Aparecida Dambros da. **Implantação do gerenciamento da rotina do trabalho do dia a dia em uma indústria de luminárias de emergência: não conformidades**. 2020. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_345_1772_41114.pdf. Acesso em: 25 maio 2023.

YEN, Chun-Tai et al. **Advanced manufacturing solution to industry 4.0 trend through sensing network and Cloud Computing technologies**. 2014. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Advanced-manufacturing-solution-to-industry-4.0-and-Yen-Liu/7897df06e0f3be7e5bc8ac8e34bfcab8dd61f7d9>. Acesso em: 02 nov. 2023.