

INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

KARLA RICARDO CHAVES

**A MANUFATURA NO CONTEXTO DOS PRINCÍPIOS DA INDÚSTRIA 4.0:
BARREIRAS E IMPACTOS**

Vitória

2022

KARLA RICARDO CHAVES

**A MANUFATURA NO CONTEXTO DOS PRINCÍPIOS DA INDÚSTRIA 4.0:
BARREIRAS E IMPACTOS**

Monografia apresentada à Coordenadoria do Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Vitória, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Claudio Valério de Paula Brotto
Coorientador: Prof. Dr. José Barrozo de Souza.

Vitória

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Nilo Peçanha do Instituto Federal do Espírito Santo)

C512m Chaves, Karla Ricardo.

A manufatura no contexto dos princípios da indústria 4.0 : barreiras e impactos / Karla Ricardo Chaves. – 2022.

61 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Claudio Valério de Paula Brotto.

Coorientador: José Barrozo de Souza.

Monografia (graduação) – Instituto Federal do Espírito Santo, Coordenadoria do Curso de Engenharia Mecânica do Curso Superior em Engenharia Mecânica, Vitória, 2022.

1. Indústrias – Inovações tecnológicas. 2. Processos de fabricação. 3. Produtividade industrial. 4. Desenvolvimento sustentável. 5. Indústrias – Evolução. 6. Sustentabilidade. I. Brotto, Claudio Valério de Paula. II. Souza, José Barrozo de. III. Instituto Federal do Espírito Santo. IV. Título.

CDD 21 – 658.514

Elaborada por Ronald Aguiar Nascimento – CRB-6/MG – 3.116



Karla Ricardo Chaves

**A MANUFATURA NO CONTEXTO DOS PRÍNCÍPOS DA INDÚSTRIA 4.0:
BARREIRAS E IMPACTOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Ifes, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânica.

Aprovado em 04 de março de 2022.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Claudio Valerio de Paula Brotto

Prof. Msc. Claudio Valerio de Paula Brotto
Instituto Federal do Espírito Santo
Orientador

Documento assinado digitalmente

gov.br

José Barrozo de Souza

Data: 03/03/2022 11:38:13-0300

Verifique em <https://verificador.ifes.br>

Prof. Dr. José Barrozo de Souza
Examinador e Coorientador

Elizabeth Premoli Azevedo

Profa. Esp. Elizabeth Premoli Azevedo
Instituto Federal do Espírito Santo
Examinadora

AGRADECIMENTOS

Aos meus queridos pais Silvia e Arnaldo Jr., e minha irmã Kayla, aos quais serei eternamente grata por todo apoio, incentivo e dedicação para que eu chegasse à conclusão do curso. Pela criação com tanto amor e carinho, eles são peça fundamental dessa conquista.

Às amizades que foram criadas e cultivadas durante o curso, que me deram apoio e suporte para superar dificuldades.

Aos membros do corpo docente do curso de Engenharia Mecânica no Instituto Federal do Espírito Santo, por contribuírem para o meu crescimento pessoal e intelectual. A todos que de alguma forma contribuíram para o meu aprendizado e para a realização deste projeto.

Em especial ao meu orientador e professor Claudio Valerio de Paula Brotto e ao Prof. Dr. José Barrozo de Souza que não mediram esforços para me ajudar, sempre facilitando minha compreensão por meio de novas abordagens. Agradeço aos professores Orientador e Coorientador por toda as suas explicações e ajudas durante a realização do trabalho.

RESUMO

As pesquisas sobre a adoção dos princípios da Indústria 4.0 nos processos de manufatura em economias emergentes estão progredindo lentamente. Apesar disto, os pesquisadores e profissionais enfatizam a necessidade de sua adoção. Esta pesquisa busca elencar os impactos e barreiras nos processos de manufatura. A abordagem metodológica utilizada foi qualitativa, descritiva-narrativa e bibliográfica. As descobertas apresentam uma visão crítica das barreiras e impactos da adoção dos princípios da Indústria 4.0 na implantação dos processos de manufatura nas fábricas. Desses impactos, seis se destacam: a redução da oferta de empregos para atividades manuais e repetitivas e o surgimento de novas profissões de alto valor agregado; o surgimento de negócios inovadores; a redução dos acidentes de trabalho devido à ampliação do uso de robôs em tarefas perigosas para o ser humano; problemas com o ritmo de qualificação dos funcionários nas mudanças de modernização necessárias; a integração de todas as atividades da cadeia de valor, permitindo uma melhor análise dos impactos ambientais, sociais e econômicos; e melhorias na ergonomia física e cognitiva devido ao uso de sensores. Quanto as barreiras, evidencia-se os recursos humanos e circunstâncias do trabalho, escassez de recursos financeiros, problemas de padronização, preocupações com questões de segurança cibernéticas e propriedades de dados, riscos de fragilidade e resistência organizacional.

Palavras-chave: Produção mais limpa. Manufatura enxuta. Manufatura sustentável. Produção sustentável. Empresas de manufatura.

ABSTRACT

Although research on the adoption of Industry 4.0 principles in manufacturing processes in emerging economies is progressing slowly, researchers and professionals have emphasized its implementation. Research in this scope is therefore limited, particularly when compared to the vast amount of academic studies that have contributed to the successful implementation of manufacturing processes in developed countries. To achieve the purposes of the research question and the objectives drawn from that question and to support the narrow body of knowledge in this scope, this End of Course Paper listed the impacts and barriers on manufacturing processes. To resolve these issues, a methodological approach was implemented, based on a comprehensive narrative literature review of cutting-edge literature on the problems to complete the research. The findings present a critical view of the barriers and impacts of adopting Industry 4.0 principles in the implementation of manufacturing processes in factories. Of these impacts, six stand out: the reduction in the offer of jobs for manual and repetitive activities and the emergence of new professions with high added value; the emergence of innovative businesses; the reduction of work accidents due to the increased use of robots in tasks that are dangerous to human beings; problems with the pace of qualification of employees in the necessary modernization changes; the integration of all activities in the value chain, allowing for a better analysis of environmental, social and economic impacts; and improvements in physical and cognitive ergonomics due to the use of sensors. As for barriers, we highlight human resources and work circumstances, scarcity of financial resources, standardization issues, concerns with cyber security issues and data properties, risks of fragility and organizational resistance.

Keywords: Cleaner Production. Lean Manufacturing. Sustainable manufacturing. Sustainable production. Manufacturing enterprises.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desenvolvimento do TCC	23
Figura 2 - Quadro de observação da pesquisa	46
Figura 3 - A estrutura da entrega de valor sustentável no cenário Indústria 4.0	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Pilares da Indústria 4.0 a.....	25
Quadro 2 - Pilares da Indústria 4.0 b.....	26
Quadro 3 - Princípios da Indústria 4.0.....	27
Quadro 4 - Impactos positivos da Indústria 4.0	38
Quadro 5 - Impactos negativos da Indústria 4.0.....	38
Quadro 6 - Impactos com consequências desconhecidas da Indústria 4.0.....	39
Quadro 7 - Principais barreiras à Indústria 4.0 identificadas na literatura	40
Quadro 8 - Impactos da indústria 4.0 na sustentabilidade dos negócios a	41
Quadro 9 - Impactos da indústria 4.0 na sustentabilidade dos negócios b	42
Quadro 10 - Matriz do projeto de pesquisa	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	OBJETIVOS	21
2.1	OBJETIVO GERAL.....	21
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3	DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	22
3.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – O ESTADO DA ARTE	24
3.1.1	Indústria 4.0.....	24
3.1.2	Manufatura mais limpa	29
3.1.4	Manufatura <i>green</i>	30
3.1.5	Manufatura ágil.....	31
3.1.6	Manufatura aditiva.....	32
3.1.7	Manufatura avançada.....	33
3.1.8	Barreiras e impactos à adoção da indústria 4.0	34
4	ABORDAGEM METODOLÓGICA	44
4.1	FORMULAÇÃO: PROBLEMA DE PESQUISA E PALAVRAS-CHAVE	44
4.1.1	Formulação do problema de pesquisa	44
4.1.2	Construção da árvore de palavras-chave.....	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
6	CONCLUSÕES	49
7	CONSIDERAÇÕES CONCLUSIVAS	50
7.1	RESGATE DO PROBLEMA DE PESQUISA.....	50
7.2	RESGATE DOS OBJETIVOS	50
7.3	CONTRIBUIÇÕES GERAIS DO TCC	50
	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

O debate tecnológico sobre o tema deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) exigirá mais pesquisas antes que um consenso geral possa ser alcançado (KAMBLE et al., 2018).

Ao longo dos anos, a rápida industrialização em todo o mundo, por um lado, melhorou a qualidade de vida, enquanto, por outro lado, teve um efeito negativo significativo no meio ambiente (GEORGIADIS et al., 2006), o que tem obrigado as organizações a investir em redesenhar processos e produtos para torná-los mais sustentáveis e inteligentes.

Atualmente, as empresas estão considerando, dentro do escopo de suas operações, o estabelecimento de metas que considerem e tratem de preocupações ambientais. Isso foi influenciado principalmente pelo comportamento dos clientes, pela alteração das regulamentações ambientais e pela necessidade de buscar alternativas para reduzir custos e melhorar a qualidade (GARZA-REYES, 2015a; NISHITANI et al., 2011).

Os clientes estão cada vez mais exigentes com relação ao custo e qualidade dos produtos e, mais recentemente, ao impacto ambiental gerado por esses produtos e seus processos de produção.

A tecnologia Manufatura Mais Limpa, por exemplo, segundo Mantovani et al., (2017) se refere à aplicação contínua de uma estratégia econômica, ambiental e tecnológica integrada a produtos e processos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia por meio da não geração, minimização ou reciclagem de resíduos em toda a produção (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, UNEP, 2012), portanto, como uma estratégia avançada a Manufatura Mais Limpa busca fornecer ações preventivas com o objetivo de minimizar o impacto ao meio ambiente e evitar ações realizadas apenas na saída do sistema de produção. Por outro lado, outro conjunto de práticas que contribuíram para a sustentabilidade são as de Lean Manufacturing (GARZA-REYES, 2015a).

Estudos recentes demonstraram que a Lean Manufacturing (Manufatura enxuta) pode ser um colaborador significativo para abordar as questões atuais de

sustentabilidade (CHERRAFI et al., 2016, 2017a; NADEEM et al., 2017; GARZAREYES et al., 2016; CHIARINI, 2014; JABBOUR et al., 2013).

Frequentemente, as empresas não possuem uma estrutura focada na Manufatura Mais Limpa, mas, devido a ações no contexto da *Lean Manufacturing*, elas podem contribuir indiretamente para alcançar a Manufatura Avançada.

A formulação da pergunta científica foi conduzida pelas seguintes questões: Como os princípios da Indústria 4.0 estão impactando os processos de manufatura, e quais as barreiras à implantação dos princípios da Indústria 4.0 na manufatura.

Este TCC está organizado da seguinte forma: No capítulo **1**, a Introdução, no capítulo **2** falo sobre os objetivos geral e específico, no **3º** apresento o quadro de desenvolvimento da pesquisa, as barreiras e os impactos para o desenvolvimento de tecnologias da Manufatura. A metodologia da pesquisa é apresentada no capítulo **4**. Os resultados são discutidos no capítulo **5**. As conclusões são descritas no capítulo **6**. E finalmente, no capítulo **7** temos as considerações finais. Referencias no capítulo **8**.

2 OBJETIVOS

Com base nestas questões de pesquisa, este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem os seguintes objetivos:

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral da presente pesquisa é apontar os impactos e as barreiras à implantação dos princípios da Indústria 4.0 na manufatura.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Dessa forma, três objetivos específicos são propostos:

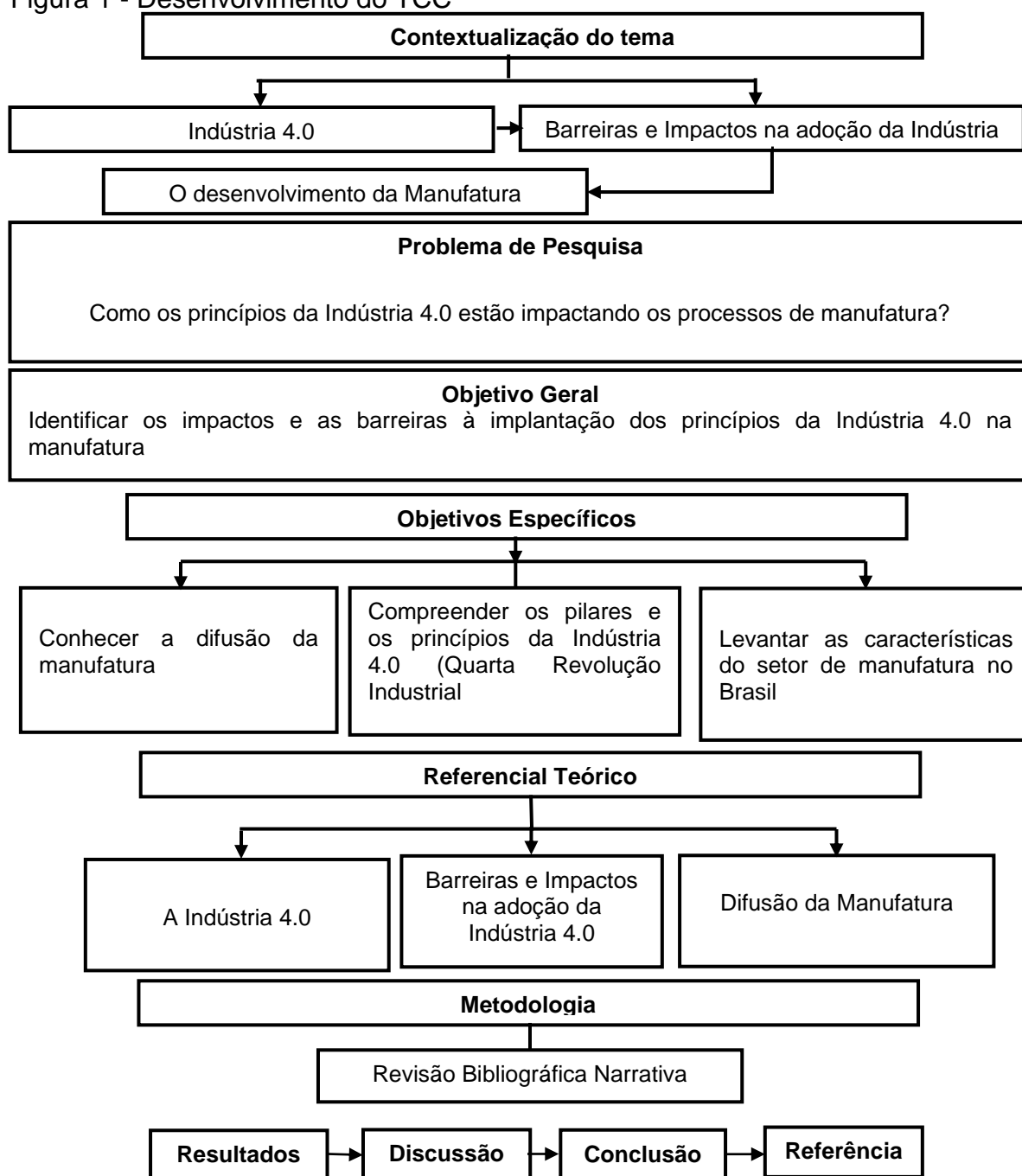
1. Conhecer a difusão da manufatura com o surgimento do padrão Indústria 4.0.
2. Apresentar os pilares e os princípios da Indústria 4.0 (Quarta Revolução Industrial).
3. Levantar as principais características do setor de manufatura.

3 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Este capítulo fornece uma visão geral da literatura (Estado da Arte) existente sobre o desenvolvimento da manufatura, tais como a Manufatura Mais Limpa, *Lean Manufacturing* (Manufatura Enxuta), Manufatura Green, Manufatura Aditiva, Manufatura Avançada e os princípios da Indústria 4.0.

Silva et al. (2017) implementaram uma iniciativa de Manufatura sob a ótica da abordagem PDCA(*PLAN-DO-CHECK-ACT*) da *Lean Manufacturing* em uma organização brasileira de bebidas. Juntas, essas evidências sugerem que, da mesma forma que *Lean* e *Green*, *Lean Manufacturing* e Manufatura Mais Limpa também podem fundir suas filosofias, práticas, métodos e ferramentas para obter melhores resultados de sustentabilidade nas operações de uma empresa. O desenvolvimento deste TCC está apresentado pela Figura 1:

Figura 1 - Desenvolvimento do TCC



Fonte: adaptado pela autora, a partir da revisão bibliográfica (2022)

Os resultados deste estudo podem ajudar tomadores de decisão e profissionais a resolver as barreiras, abrindo caminho para a implantação bem-sucedida da Manufatura em todo o setor utilizando os resultados gerados pelos princípios da Indústria 4.0 (Quarta Revolução Industrial).

3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – O ESTADO DA ARTE

Neste capítulo é feita uma revisão bibliográfica sobre o desenvolvimento da manufatura, tais como a Manufatura Mais Limpa, *Lean Manufacturing*, Manufatura *Green*, Manufatura Aditiva, Manufatura Avançada e os princípios da Indústria 4.0. Esses conceitos e revisão literária são imprescindíveis para a melhor compreensão e entendimento dos objetivos e motivações deste trabalho.

3.1.1 Indústria 4.0

O termo Indústria 4.0 evidenciou o início da Quarta Revolução Industrial, que se refere a uma indústria manufatureira cada vez mais automatizada através da integração de tecnologias (pilares) como sistemas *ciber-físicos* (CPS), Internet das Coisas (*IoT*) e computação em nuvem (KAGERMANN et al., 2013; LASI et al., 2014), apresentado nos Quadros 1 e 2.

Quadro 1 - Pilares da Indústria 4.0 a

Pilares	Características
Internet das coisas (<i>Internet of thing; IoT</i>)	Trata-se da conexão de máquinas, equipamentos, móveis, veículos, ou melhor dizendo, todos os objetos concretos existentes nos ambientes; inclusive o próprio ambiente faz parte da rede. A conexão é realizada por meio de apetrechos eletrônicos, que disponibilizam a troca de dados entre o <i>software</i> (Ambiente virtual) e o <i>hardware</i> (Ambiente real; concreto). Isso só é possível devido aos sensores e atuadores, que por sinal, são a base para indústria 4.0. A interação entre os dois ambientes, resulta na criação dos sistemas cyber-físicos.
<i>Big data e Analytics</i>	Consiste no armazenamento de todas as informações que precisam ser registradas, em suma, salva os dados que foram processados, permitindo análise posterior ou em tempo real dessas informações. Isso é primordial para a tomada de decisão dos equipamentos, máquinas e cadeia produtiva. Dessa maneira, essas decisões podem variar desde as mais simples, como por exemplo, requisitar a compra de matéria prima, ou mais complexas, como a parada de uma linha produtiva.
<i>Cloud computing</i>	As informações são guardadas na nuvem e podem ser acessadas de qualquer lugar, essa infraestrutura possui recursos físicos compostos de servidores, redes armazenamento, computadores, etc; e recursos abstratos, como softwares, aplicativos e soluções integradas. A computação em nuvem surgiu com o objetivo de facilitar o acesso a informações de forma descentralizada, possibilitando decisões estratégicas.
Segurança cibernética	Atualmente o mundo está cada vez mais conectado na internet, no contexto de indústria 4.0, praticamente tudo fará parte da rede. Nesta internet industrial, existem informações confidenciais, segredos de fabricação, na verdade, tudo que compõe o negócio está disponível online. Portanto, ataques cibernéticos tornam-se parte da realidade, logo, é crucial proteger esses sistemas contra as ameaças externas.

Fonte: adaptado pela autora, a partir de Paulo Henrique Moura de Souza et al. (2017).

Quadro 2 - Pilares da Indústria 4.0 b

Pilares	Características
Robôs autônomos	Os robôs fazem parte do contexto produtivo desde a terceira revolução industrial, foram criados para reduzir a participação humana principalmente em trabalhos repetitivos, devido ao menor índice de erros e maior produtividade. Porém, com o decorrer do tempo estão se tornando mais inteligentes. A partir disso, o nível de complexidade na realização de tarefas aumenta exponencialmente a cada dia, exigindo maior capacidade de processamento e autonomia para tomada de decisões. Eventualmente, funcionarão de forma segura trabalhando diretamente com seres humanos, aliás, aprenderão com estes.
Simulação	A simulação já é realidade no desenvolvimento de produtos, aquisição de matérias-primas e processos de produção. Contudo, no futuro as simulações farão parte do dia-dia dos trabalhadores, unirão o mundo real com o virtual através de sistemas cyber-físicos, e serão mais assertivos. Desse modo, os operadores tornam-se mais capazes de otimizar os processos de setup das máquinas, arranjo de produtos e processos. Conseqüentemente há redução de custos e aumento da qualidade.
Manufatura aditiva	A impressão 3D, está no mercado desde a década de 1980. Porém, a manufatura aditiva disponível atualmente, tornou-se conhecida em meados dos anos 2000, quando ainda possuía o nome de prototipagem rápida. Devido ao seu alto desempenho, é uma excelente alternativa para produção de componentes individuais e produção de protótipos. Além do mais, são formas descentralizadas de manufatura, o que resulta na menor distância de transporte e estoque em mãos.
Realidade aumentada	A realidade aumentada trata-se da ação conjunta entre um sistema que envia informações em tempo real, e dispositivos conectados à rede (Internet). Através deste tipo de tecnologia, é possível realizar diversos serviços, como por exemplo, efetuar um reparo em uma máquina utilizando óculos de realidade aumentada que fornece as instruções de reparo em tempo real. Assim sendo, o operador sabe exatamente qual é o problema, além de ver o passo a passo de como resolvê-lo. Portanto, essas são apenas algumas das suas aplicabilidades, porém a combinação é infinita. O resultado é uma simplificação nos processos, diminuição de erros, menor necessidade de treinamento para resolução de problemas, entre outros benefícios.
Inteligência artificial	Os ambientes cyber-físicos serão inteligentes e capazes de aprender, pensar e agir baseados em informações armazenadas no <i>big data</i> ou informações disponíveis em tempo real pela internet das coisas. Por exemplo, as máquinas, equipamentos e ambientes físicos, possuem consciência do impacto de suas ações no sistema, então comportam-se de maneira a alcançar o objetivo macro da empresa. Pois nem sempre o que é bom para um setor em específico, contribuirá significativamente no atendimento do resultado final esperado. No contexto industrial atual, por outro lado, podem ocorrer uma disputa interna na busca por resultados, criando uma verdadeira guerra entre setores. Esta visão individualista (micro) impacta diretamente no resultado planejado. Portanto, a inteligência artificial transforma o funcionamento da indústria, porque combina os recursos da melhor maneira possível para atingir as metas.

Fonte: adaptado pela autora, a partir de Paulo Henrique Moura de Souza et al. (2017).

Uma estrutura conceitual existente que vincula a sustentabilidade à Indústria 4.0 inclui as tecnologias da Indústria 4.0 como um componente da estrutura. A estrutura contém ainda os princípios da Indústria 4.0, como mostrado no Quadro 3.

Quadro 3 - Princípios da Indústria 4.0

Princípios	Características
Interoperabilidade	É a capacidade dos componentes do sistema de conectar, comunicar e operar uns com os outros. Em outras palavras, a interoperabilidade permite que os sistemas <i>ciber-físicos</i> (CPSs) troquem informações mutuamente inteligíveis.
Virtualização	A virtualização é a capacidade de vincular dados de sensores a modelos de fábrica virtual e modelos de simulação; em outras palavras, a virtualização consiste em criar uma cópia virtual do mundo físico real e permanecer conectado a ele ao longo do tempo.
Capacidade em tempo real	É a capacidade dos <i>ciber-físicos</i> CPSs de adquirir e analisar dados em tempo real sobre equipamentos, qualidade e matérias-primas e fornecer os <i>insights</i> derivados imediatamente. É uma característica fundamental, pois permite que os CPSs detectem qualquer alteração nos processos físicos e reajam em tempo real para garantir os requisitos funcionais e de segurança do sistema. Assim, a capacidade em tempo real também pode implicar ações físicas para evitar falhas.
Descentralização	Significa ter os <i>ciber-físicos</i> CPSs trabalhando de forma independente e tomando decisões de forma autônoma, de maneira que permaneçam alinhados com o caminho em direção ao único objetivo organizacional final.
Modularidade	É a capacidade de um <i>ciber-físicos</i> (CPS) de ser modularizado, alterado de forma flexível e reconfigurado em resposta às mudanças rápidas nas necessidades dos clientes e nas mudanças de produtos. Assim, a modularidade permite a independência do sistema, tornando-o capaz de adaptar mais flexibilidade.
Orientação de serviço	Através da interconexão e comunicação, manufatura complexa tarefas podem ser realizadas de forma colaborativa por vários "serviços" de fabricação. De fato, a capacidade dos <i>ciber-físicos</i> (CPSs) de fornecer serviços oportunos, a fim de lidar com restrições em tempo real. Nos CPSs, os aspectos cibernéticos também incluem serviços digitais encapsulados em arquiteturas orientadas a serviços.

Fonte: adaptado pela autora, a partir de Behzad Esmailiana et al., (2016) e A. Napoleone, et al., (2020)

Atualmente, as empresas de manufatura enfrentam o desafio de manter sua competitividade, apesar de um cenário cujos protagonistas são a imprevisibilidade das exigências competitivas dos mercados e a evolução tecnológica.

Nesse contexto, atividades de pesquisa estão abordando o desenvolvimento de sistemas *ciber-físicos* (CPSs) na fabricação (LEE H, RYU K, CHO Y. 2017) e

(KULVATUNYOU B, IVEZIC N, MORRIS KC, FRECHETTE S, 2016). Os princípios da Indústria 4.0 obrigam uma integração de processos subdividida em colaboração homem-máquina e integração de equipamentos de chão de fábrica. Portanto, recomenda-se uma abordagem holística que não se concentre apenas nas tecnologias (KAMBLE et al., 2018).

Recentemente, a Indústria 4.0 ganhou atenção crescente devido aos seus inúmeros benefícios para as organizações de manufatura (DALENOGARE et al., 2018). No entanto, a pesquisa acadêmica sobre a Indústria 4.0 ainda está em estágio inicial (HORVATH e SZABAT, 2019).

Vários países criaram recentemente programas locais para aprimorar o desenvolvimento e a adoção das tecnologias da Indústria 4.0. Na Alemanha - onde nasceu esse conceito, este programa foi denominado "Estratégia de Alta Tecnologia 2020", nos Estados Unidos foi estabelecida a "Parceria de Fabricação Avançada", na China o "*Made in China 2025*" e na França o "La Nouvelle France Industrielle" (KAGERMANN et al., 2013; RAFAEL et al., 2014; WAHLSTER, 2013; ZHOU, 2017; CNI, 2013; LIAO et al., 2017).

É relatado que essas tecnologias básicas aproveitam os conceitos Indústria 4.0, facilitando a interconectividade e fornecendo inteligência aos sistemas de fabricação. Também considera a integração da fábrica com todo o ciclo de vida do produto e as atividades da cadeia de suprimentos (Wang et al., 2016b; Dalenogare et al., 2018), alterando até a maneira como as pessoas trabalham (STOCK et al., 2018).

De acordo com, Mrugalska e Wyrwicka, analisam como os conceitos de Manufatura e Indústria 4.0 podem coexistir e se apoiar. Os impactos da relação entre a Indústria 4.0 e a Manufatura é bastante desconhecido, destacando uma falta adicional na literatura.

No entanto, o impacto de tais contingências na relação entre a Indústria 4.0 e a Manufatura é bastante desconhecido. Portanto, este estudo tem como objetivo examinar o impacto da associação entre a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 e a utilização de práticas de Manufatura no nível de melhoria do desempenho

operacional dos fabricantes, bem como as barreiras que inibem a adoção da Indústria 4.0 no desenvolvimento da Manufatura.

3.1.2 Manufatura mais limpa

Segundo V. Roblek, M. et al., (2016) a ascensão da nova transformação industrial digital, conhecida como Indústria 4.0 (Quarta Revolução Industrial), com a fabricação inteligente está mudando a forma de funcionamento dos negócios.

A revolução tecnológica necessária à fabricação inteligente está alterando profundamente os fundamentos da criação e entrega de valor no ambiente de manufatura (H.P. LU, C.I. WENG, 2018).

A Manufatura Mais Limpa surgiu como uma abordagem de "prevenção da geração de resíduos" na década de 1980, em contraste com a abordagem de "tratamento de comando e controle da poluição" promulgada pelas regulamentações ambientais na década de 1970. A partir deste processo de produção, as empresas podem se orientar para que seus sistemas de gestão ambiental contribuam para uma vantagem competitiva, além de melhorar o desempenho ambiental e organizacional.

Desta forma se obtém maior economia com o uso de menos energia, água e materiais, além de redução da geração de resíduos por meio de técnicas preventivas complementares.

Instalação de equipamentos de tratamento de resíduos, a adoção dos sistemas de gerenciamento ambiental ISO 14001¹ requer insumos financeiros menos imediatos, mas pode ter mais impacto à medida que reforma a operação diária da empresa.

Os objetivos da Manufatura Mais Limpa devem ser apresentados pelas empresas manufatureiras, através de projeto de melhoria contínua em todas as etapas do

¹ ISO - A Organização Internacional de Normalização ou Organização Internacional para Padronização, popularmente conhecida como ISO é uma entidade que congrega os grêmios de padronização/normalização de 162 países.

A certificação **ISO 14001** – Sistemas de Gestão Ambiental (SGA) é uma norma internacional que permite às empresas demonstrar o compromisso assumido com a proteção do ambiente através da gestão dos riscos ambientais associados à atividade desenvolvida.

processo produtivo. Em geral, a Manufatura Mais Limpa enfatiza a maximização da coordenação entre os benefícios da empresa e benefícios ambientais.

Segundo (AUSCHITZKY et al., 2014), as empresas de manufatura foram capazes de reduzir o consumo de energia e evitar incertezas em seus processos de manufatura e melhorar drasticamente sua qualidade de produtos e serviços adotando paradigmas avançados de gerenciamento de produção, como a produção enxuta e programas Seis Sigma.

3.1.3 *Lean manufacturing* (Manufatura enxuta)

O conceito de Manufatura Enxuta foi desenvolvido para maximizar a utilização de recursos por meio da minimização de desperdícios; posteriormente, o conceito *lean* foi formulado em resposta ao ambiente de negócios flutuante e competitivo.

Os estudos dos autores R. K. Suresh, et al., (2013) revelam que a manufatura enxuta tem sido um dos paradigmas mais populares na eliminação de resíduos na indústria de transformação. A manufatura enxuta refere-se basicamente a processos de manufatura sem desperdícios.

Manufatura enxuta é uma filosofia operacional criada no Japão após a II Guerra Mundial, especificamente na fábrica da Toyota, com a finalidade de eliminar desperdícios e se tornar competitiva diante das empresas automobilísticas americanas.

A produção enxuta visa uma manufatura flexível, com estoques baixos, com a redução de quebras e falhas, layouts enxutos, a identificação das atividades que agregam valor ao produto. O objetivo primordial é atender às necessidades dos clientes no tempo certo. A manufatura enxuta refere-se basicamente a processos de manufatura sem desperdícios.

3.1.4 Manufatura *green*

No século XXI, as fábricas estão se tornando mais conscientes e responsáveis em relação ao desenvolvimento e fabricação de produtos, serviços e processos verdes no cenário atual, isto é, produzindo situações eco eficientes.

A implementação do conceito verde tem alto nível de viabilidade nas organizações de produção e manufatura, juntamente com processos e práticas aliadas. Todos os insumos de fabricação não podem ser ecológicos, mas o processo de fabricação pode implementar o conceito e as práticas de ecologia (ALI HOSSEINI, 2007).

O termo "manufatura verde" pode ser interpretada de duas maneiras diferentes: manufaturar "verde" bens, aqueles usados em fontes de energia renováveis e máquinas de tecnologia limpa de todos os tipos, e manufaturar "verde" significa reduzir a contaminação e o desperdício, minimizando uso de recursos naturais, reciclagem e reciclagem de materiais e redução de emissões.

Os pilares para o surgimento das sociedades "verde" e "zero carbono" do século XXI estão desenvolvendo energias renováveis e divisões de tecnologia limpa, consideradas as oportunidades para as gerações futuras. (SUCHETA AGARWAL et al., 2020).

No final dos anos 80, com a intenção de estabelecer uma referência para produtos a serem exportados globalmente, a Alemanha propôs o conceito de práticas Manufatura Green. Enquanto isso, o relatório da Comissão Brundtland² (1987) sobre meio ambiente e desenvolvimento enfatizou o fato de que os recursos naturais estavam se esgotando a uma taxa mais rápida no interesse do desenvolvimento.

Para os pesquisadores (Araújo & Oliveira, 2012; Rusinko, 2007; Silva & Amaral, 2009; Silva et al., 2013), a Manufatura Green é alcançada por meio de práticas de produção mais limpa (P+L), pois a P+L tem foco sobre o processo produtivo e permite o aumento da eficiência no uso dos recursos naturais e a minimização na geração de resíduos, possibilitando uma melhor ecoeficiência industrial.

3.1.5 Manufatura ágil

A manufatura ágil ganhou reconhecimento e aceitabilidade entre os engenheiros de manufatura desde a última década (PAVAN KUMAR POTDARA, SRIKANTA

² A Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento foi criada pela Organização das Nações Unidas (ONU) presidida por Gro Harlem Brundtland. A comissão recomendou a criação de uma nova declaração universal sobre a proteção ambiental e o desenvolvimento sustentável - o Relatório Brundtland.

ROUTROY, 2018). E evoluindo como uma maneira revolucionária de fabricar e montar os produtos com base nas rápidas mudanças nas demandas do mercado e dos clientes (A.M. HORMOZI, 2001).

Braunscheidel, M.J., Suresh, N.C, definem a Manufatura Ágil como sendo a capacidade de uma empresa de manufatura de responder rapidamente a um ambiente de mercado em mudança, sendo, portanto, uma condição primordial de permanência de qualquer empresa nesse ambiente turbulento.

Com as constantes mudanças do cenário atual, a manufatura ágil vem sendo essencial para a organização das empresas. Visto que, ela foi criada para as demandas do mercado/clientes em ambientes instáveis.

3.1.6 Manufatura aditiva

Desde a última década, a manufatura aditiva evoluiu rapidamente e revelou o grande potencial de economia de energia e produção ambiental mais limpa devido a uma redução no consumo de material e recursos e outros requisitos de ferramentas (ARFAN Majeed et al., 2021), esses mesmos pesquisadores mostram que nesta era moderna, com os avanços nas tecnologias de manufatura, a academia e a indústria receberam mais interesse na manufatura inteligente por obter benefícios para tornar sua produção mais sustentável e eficaz.

Ela é categorizada de acordo com vários estados do material, que incluem líquido, pó, arame e material fundido (F. MICHEL et al., 2019), (B. DUTTA et al., 2019).

É comumente conhecida como impressão 3D (3 dimensões) e é o processo de manufatura de peças ou produtos camada por camada, diretamente a partir dos dados digitais do produto. O 3DP possibilita a construção de geometrias complexas, por exemplo, favos de mel e treliças que são impossíveis de criar usando métodos de fabricação convencional (JYRKI, MIKAEL, 2020).

A manufatura aditiva une os princípios das manufaturas sustentáveis (*green, lean, mais limpa*), conseguindo produzir apenas o necessário e quase sem desperdício.

3.1.7 Manufatura avançada

A evolução tecnológica da manufatura se manifesta perante os desafios da Indústria 4.0. Glauco Arbix et al., (2017), mostram que os sistemas da indústria manufatureira vivem rápido trânsito nos países avançados. Seu destino ainda é incerto, mas suas novas ferramentas e características já contribuíram para reordenar segmentos inteiros da economia, promovendo o reposicionamento das empresas que mais investem em inovação e são mais intensivas em conhecimento.

A Manufatura avançada é a integração da inteligência artificial nas etapas operacionais dos processos de manufatura. As máquinas vão ser capazes de decidir por si só quando iniciar a produção e quando parar, reduzindo o consumo de energia.

Conforme a Feira de Insumos para Alimentos, FISPAL (2016), a introdução da manufatura avançada no Brasil é um grande desafio, uma vez que o seu maquinário em uma grande e considerável parte das indústrias é ultrapassado, podendo até ser comparado com o que se tinha na segunda revolução industrial.

O mundo da manufatura moderna é um lugar competitivo. Para se sustentar nesse ambiente, as organizações de manufatura precisam de um pouco mais de eficácia, flexibilidade e inovação ao fabricar seus produtos. Isso pode ser alcançado através da apreensão dos benefícios extraídos do uso da *Advanced Manufacturing Technology* (AMT) (SURAJIT NATH, BIJAN SARKAR, 2017).

A *Industrie 4.0*, conforme o direcionamento alemão, e a *Advanced Manufacturing*, como é chamada nos Estados Unidos, pretendem ser a expressão desse novo capítulo na trajetória das transformações industriais e prenunciam novas sínteses entre homens, máquinas e a inteligência de *softwares* e algoritmos (DOSI, GIOVANNI, 2006 e DELLOITE, 2015).

Nos últimos anos, a Internet das Coisas (*IoT*s) tornou-se uma das técnicas mais populares e amplamente utilizada nas áreas avançadas de manufatura, engenharia, veículos, eletrônica e medicina (A. LAKSHMI SANGEETHA et al., 2017).

Os paradigmas de fabricação desempenharam seus papéis importantes na indústria moderna. Nos últimos 20 anos, sistemas de produção de paradigmas avançados de fabricação (por exemplo, personalização em massa, fabricação reconfigurável, fabricação sustentável e fabricação orientada a serviços) foram desenvolvidos para exceder o paradigma tradicional de "produção em massa" (TANGBIN XIA et al., 2018).

Por estas razões é fundamental que as fábricas busquem uma mudança para os paradigmas avançados de fabricação para garantir a capacidade competitiva. O surgimento de novidades é uma característica central dos processos evolutivos, sejam eles linguagens, ecossistemas, sistemas tecnológicos ou sociais (JOSEF TAALBI, 2020).

A manufatura avançada usa tecnologias emergentes para aumentar criticamente não apenas a competitividade econômica de fabricantes individuais, mas também a sustentabilidade de todo o setor industrial (MINGZHOU JIN et al., 2017). Esses mesmos pesquisadores relatam que os novos materiais e tecnologias exigem novos processos de fabricação e novos modelos analíticos para controles de processo e otimização de parâmetros em relação a custo, confiabilidade, qualidade, flexibilidade do produto, consumo de energia e emissões de carbono fóssil.

3.1.8 Barreiras e impactos à adoção da indústria 4.0

Segundo Horvath e Szabo (2019) houve alguma análise fragmentada dessas barreiras, como exemplo, há autores que sugerem que a falta de força de trabalho qualificada, os conflitos entre trabalhadores devido a mudanças nos ambientes de trabalho (KIEL et al., 2017), a escassez de recursos financeiros (KIEL et al., 2017; GEISSBAUER et al., 2014), a segurança de dados (KIEL et al., 2017; BREUNIG et al., 2016), os baixos graus de padronização, a pouca compreensão da arquitetura de integração e sistemas (GEISSBAUER et al., 2014) são os principais obstáculos para a implementação da Indústria 4.0 (Quarta Revolução Industrial).

Até o momento, essas barreiras foram analisadas apenas individualmente e geralmente de uma perspectiva tecnológica. A adoção da Indústria 4.0 é um processo complexo, dentro do qual fatores influenciam cada outro portanto, é

necessária uma consideração abrangente de todos esses fatores. (HORVATH e SZABO, 2019).

Grande parte da pesquisa sobre barreiras à adoção das tecnologias da Indústria 4.0 foi realizada (por exemplo, HORVATH e SZABO, 2019; TÜRKEŞ et al., 2019). Esses estudos destacam as barreiras que impedem as empresas localizadas em países desenvolvidos e em desenvolvimento (por exemplo, Romênia, Dinamarca, Hungria e Suécia) de obter prontidão digital.

As descobertas existentes afirmam que falta de conhecimento sobre a indústria 4.0, maior foco nos custos de desenvolvimento da empresa e falta de entendimento da importância estratégica da indústria 4.0 são as barreiras mais importantes enfrentadas por pequenas e médias empresas na Romênia para adotar as tecnologias da Indústria 4.0 (TÜRKEŞ et al., 2019).

No geral, uma explicação para esses resultados inesperados poderia ser o destaque atual que as empresas têm colocado na Indústria 4.0, especialmente as localizadas em contextos socioeconômicos como o do Brasil.

Frank et al. (2019) sugeriram a adoção e, portanto, a compreensão das tecnologias baseadas na Indústria 4.0 ainda é incipiente nas empresas brasileiras, uma vez que a aplicação de determinadas tecnologias (por exemplo, Big Data) é menos difundida do que outras (por exemplo, IoT).

Além disso, como a adoção da Indústria 4.0 requer um nível significativo de dispêndio de capital que a maioria das empresas brasileiras pode se esforçar para pagar a incorporação de tecnologias baseadas na Indústria 4.0 pode ser priorizada e reduzida a processos críticos que geralmente adotam maior níveis da organização, envolvendo vários produtos, departamentos, sites, clientes ou fornecedores (por exemplo, megaprocessos) (TORTORELLA e FETTERMANN, 2018).

Os impactos da Indústria 4.0 surgem, a partir da inovação e os aperfeiçoamentos tecnológicos que desempenham um papel importante em todas as organizações. No entanto, os avanços da transformação digital e a crescente interconectividade trarão novos desafios para as organizações, uma vez que a Indústria 4.0 mudará

consideravelmente os produtos e sistemas de manufatura em relação ao design, processos, operações e serviços.

Os autores Pereira e Romero (2017), mostram que os impactos e influência da Indústria 4.0 podem ser classificados em seis áreas principais: (1) Indústria, (2) Produtos e serviços, (3) Modelos de negócios e mercado, (4) Economia, (5) Ambiente de trabalho e (6) Desenvolvimento de habilidades.

Resumidamente, a Indústria 4.0 representa um enorme potencial em muitas áreas e sua implementação terá impactos em toda a cadeia de valor, melhorando os processos de produção e engenharia, melhorando a qualidade dos produtos e serviços, otimizando o relacionamento entre clientes e organizações, trazendo novas oportunidades de negócios e benefícios econômicos, alterando os requisitos de educação e transformando o ambiente de trabalho atual.

Ivanov et al. (2018) analisam a relação entre análise de big data, fabricação aditiva, sistemas avançados de rastreamento e rastreamento, Indústria 4.0 e rios de interrupção da cadeia de suprimentos, bem como como a digitalização pode contribuir para aprimorar o controle do efeito cascata.

O nível de maturidade da transformação digital de uma empresa influencia a percepção dos gerentes sobre as barreiras à indústria 4.0, de acordo com Machado et al. (2019), e a resistência organizacional de funcionários e níveis médios de administração provavelmente dificultará a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 em pequenas e médias empresas na Hungria (HORVATH e SZABAT, 2019).

Em geral, afirma-se que as tecnologias da Indústria 4.0 contribuem para vários aspectos organizacionais, como desenvolvimento de produtos e serviços (DALENOGARE et al., 2018; FRANK et al., 2019), gerenciamento de manufatura (FETTERMANN et al., 2018) e inovação de modelos de negócios (BURMEISTER et al., 2016; NASCIMENTO et al., 2018).

A indústria 4.0 é entendida como um novo estágio industrial em que há uma integração entre sistemas de operações de manufatura e tecnologias de informação

e comunicação (TIC) - especialmente a Internet das Coisas (IoT) - formando os chamados sistemas ciber-físicos (CPS) (WANG et al., 2015; JESCHKE et al., 2017).

Os princípios da Indústria 4.0 são propostos para permitir que as empresas tenham processos de fabricação flexíveis e analisem grandes quantidades de dados em tempo real, melhorando a tomada de decisões estratégicas e operacionais (KAGERMANN et al., 2013; e SCHWAB, 2017).

Para abordar o objetivo da pesquisa, este TCC revisou a literatura que investiga o desenvolvimento da manufatura em termos, barreiras, impactos e aplicações. Schwab (2015), como um dos implantadores da Indústria 4.0, em dos seus estudos listou os possíveis impactos positivos (Quadro 4) e negativos (Quadro 5), bem como alguns impactos resultantes da implantação da Internet das Coisas e dos Serviços que ainda não são possíveis de avaliar como sendo positivos ou negativos.

Quadro 4 - Impactos positivos da Indústria 4.0

Impactos positivos	<p>Aumento da eficiência na utilização dos recursos;</p> <p>Aumento de produtividade;</p> <p>Aumento da qualidade de vida;</p> <p>Diminuição dos custos dos serviços de entrega e logística;</p> <p>Mais transparência quanto ao uso e ao estado dos recursos;</p> <p>Segurança;</p> <p>Maior demanda de armazenamento e internet banda-larga;</p> <p>Mudanças no mercado de trabalho e habilidades;</p> <p>Criação de novos negócios;</p> <p>Mesmo difíceis, aplicações em tempo real viáveis em redes de comunicação padrão;</p> <p>Projeto de produtos para ser "digitalmente conectável";</p> <p>Digital <i>Twin</i> fornece dados precisos para monitoramento, controle e previsão;</p> <p>Digital <i>Twin</i> torna-se participante ativo em negócios, informações e processos sociais;</p> <p>As coisas serão habilitadas para perceber seu ambiente de forma abrangente, reagir e agir;</p> <p>Autonomia;</p> <p>Geração de conhecimento adicional e valor baseado em coisas "inteligentes" conectadas.</p>
--------------------	---

Fonte: adaptado pela autora, a partir de Schwab (2015)

Quadro 5 - Impactos negativos da Indústria 4.0

Impactos negativos	<p>Perda de privacidade,</p> <p>Perda de emprego para mão de obra não qualificada</p> <p><i>Hacking</i>, ameaça de segurança (por exemplo, rede de serviços públicos)</p> <p>Mais complexidade e perda de controle</p>
--------------------	--

Fonte: adaptado pela autora, a partir de Schwab (2015)

A Indústria 4.0 emergiu, nos últimos anos, como um novo modelo de reorganização de processos e formas de execução de trabalhos apoiados na junção dos métodos tradicionais de produção, tecnologia da informação e comunicação, com implicações

nas mais variadas áreas. Conseqüentemente, os processos administrativos vêm acompanhando essa tendência, visando os múltiplos benefícios que a Quarta Revolução pode imprimir nas suas rotinas. O Quadro 6 mostra os impactos e conseqüências desconhecidas da Indústria 4.0.

Quadro 6 - Impactos com conseqüências desconhecidas da Indústria 4.0

Impactos de conseqüências desconhecidas	<p>Mudança no modelo de negócios: aluguel e uso de ativos, ao invés da propriedade (aparelhos como serviço)</p> <p>Modelo de negócio impactado pelo valor dos dados</p> <p>Toda empresa potencialmente uma empresa de software</p> <p>Novos negócios: venda de dados</p> <p>Infraestrutura de distribuição massiva para tecnologias da informação</p> <p>Automação do trabalho intelectual (por exemplo, análises, avaliações, diagnósticos)</p> <p>Taxas de utilização mais elevadas (por exemplo, carros, máquinas, ferramentas, equipamentos, infraestrutura).</p>
---	---

Fonte: adaptado pela autora, a partir de Schwab (2015)

Para enxergar e alcançar os benefícios da Indústria 4.0, os gestores precisam ter uma visão estratégica e sistêmica dos negócios. Olhando pelo lado da oferta, é esperado um grande aumento da produtividade e competitividade. As palavras-chave para este ganho são “informação” e “integração”.

Diante destes impactos, para maximizar os pontos positivos e minimizar os negativos, Estado, Governo e sociedade têm papéis primordiais. Os principais pontos ressaltados são: adaptação dos modelos pedagógicos, tecnológicos e pedagógicos de capacitação da mão de obra em vigor, aprimoramento da dinâmica inovadora das empresas e adaptação da regulação e da legislação vigente, diante das condições da Indústria 4.0 (Quarta Revolução Industrial).

Diversos países criaram recentemente programas locais para melhorar o desenvolvimento e adoção de tecnologias da Indústria 4.0. No Brasil, o programa Rumo à Indústria 4.0 foi criado pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), juntamente com outras iniciativas do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC - Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços) (ABDI, 2017).

Um estudo de McKinsey & Company (2016) sugere que a comunicação intensiva exigida pelos projetos da Indústria 4.0 e, portanto, a introdução de novas tecnologias, pode ser significativamente afetada pela dificuldade de coordenação entre as unidades organizacionais. Um estudo da *PricewaterhouseCoopers, PwC* (2014), constatou que muitas empresas ainda não desenvolveram casos de negócios e estudos de viabilidade que suportam claramente a necessidade de investir na arquitetura de dados e sistemas necessária para a introdução de aplicativos da Indústria 4.0. As barreiras identificadas na literatura são mostradas no Quadro 7.

Quadro 7 - Principais barreiras à Indústria 4.0 identificadas na literatura

Barreiras	Fontes
Recursos humanos e condições de trabalho	Adolph, S., et al., 2014; Bauer, W. et al., 2015; Karre, H. et al., 2017; Müller, J., Voigt, K.-I., 2017 et al., 2017; Smit, J. et al., 2016.
Escassez de recursos financeiros	Erol, S et al., 2016; Kiel, D. et al., 2017;
Problemas de padronização	Müller, J., Voigt, K.-I., 2017; Nagy, J., 2019
Preocupações com questões de segurança cibernética e propriedade de dados	Cimini, C., et al., 2017; Kiel, D. et al., 2017; Weber, R.H., Studer, E., 2016.
Risco de fragilidade	Kovács, O., 2018.
Integração tecnológica	Kiel, D. et al., 2017; ZHOU, J., 2017.
Dificuldade de coordenação entre as unidades organizacionais	McKinsey & Company, 2016.
Falta de habilidades e atividades de planejamento	Basl, J., 2017.
Resistência organizacional	AUTOMATION ALLEY, 2017; Kiel, D. et al., 2017; VON LEIPZIG, T et al. 2017; VEY, K., et al. 2017.

Fonte: adaptado pela autora, a partir de Dóra Horváth, Roland Zs. Szabó. (2019)

Isso geralmente não é identificado, embora o gerenciamento da resistência organizacional e a aceitação cultural de inovações sejam geralmente uma tarefa prioritária durante os projetos da Indústria 4.0 (AUTOMATION ALLEY, 2017; KIEL et al., 2017; VEY et al., 2017; VON LEIPZIG et al., 2017).

Com base na literatura, foi possível identificar 12 impactos que a Indústria 4.0 pode ter na sustentabilidade das empresas. Esses 12 impactos constituem o referencial teórico da pesquisa. Eles são apresentados no Quadro 8 e 9 detalhados na sequência.

Quadro 8 - Impactos da indústria 4.0 na sustentabilidade dos negócios

Descrição	Autores
A indústria 4.0 possibilitará uma produção descentralizada; conseqüentemente, haverá redução no fluxo logístico, consumo de energia e combustível, reduzindo o impacto ambiental.	(Chen et al., 2015; Guliyeva et al., 2018; Hermann et al., 2016; Kagermann et al., 2013; Oliff and Liu, 2017; Saunila et al., 2019; Schumacher et al., 2016; Yin and Qin, 2019)
A Indústria 4.0 permitirá o uso de recursos energéticos e matérias-primas de forma mais eficiente; como consequência, haverá menos impacto ambiental dos processos de produção.	(Beier et al., 2017; Chen et al., 2015; Kagermann et al., 2013; Machado et al., 2020; Sartori et al., 2015; Stock and Seliger, 2016)
A Indústria 4.0 permitirá que as empresas entendam melhor as reais necessidades dos clientes. Dessa forma, será possível produzir apenas os lotes solicitados, causando menor impacto ambiental.	(Chen et al., 2015; Coelho, 2016; Guliyeva et al., 2018; Hermann et al., 2016; Kagermann et al., 2013; Monostori, 2014; Saunila et al., 2019; Schwab, 2016; Shafiq et al., 2015; Stock and Seliger, 2016)

Fonte: adaptado pela autora, a partir de P.F.S. Siltori et al. (2021)

Quadro 9 - Impactos da indústria 4.0 na sustentabilidade dos negócios

Descrição	Autores
A indústria 4.0 possibilitará a “customização em massa”, aumentando o consumo de produtos e serviços, uma vez que serão mais atraentes para os clientes. No entanto, isso vai gerar mais resíduos na destinação final.	(Borlido, 2017; Coelho, 2016; Kagermann et al., 2013; Neto et al., 2009; Oliveira and Simoes, 2017; Schwab, 2016)
A Indústria 4.0 tornará os processos de manufatura mais autônomos e eficientes, exigindo menos humanos em tarefas manuais e repetitivas; essa mudança vai gerar menos empregos e vai afetar os funcionários que não conseguem se qualificar de acordo com o ritmo de modernização.	(Aires et al., 2018; Buhr, 2015; Hermann et al., 2016; Machado et al., 2020; Schwab, 2016)
A Indústria 4.0 proporcionará o surgimento de novas profissões de alto valor agregado e exigirá qualificação dos funcionários, contribuindo para o seu desenvolvimento profissional.	(Hermann et al., 2016; Kagermann et al., 2013; Schwab, 2016)
A Indústria 4.0 permitirá a expansão do uso de robôs em tarefas perigosas para humanos; portanto, haverá uma redução no número de acidentes de trabalho. As tecnologias também possibilitarão um trabalho melhor.	(Kagermann et al., 2013; Kuznaz et al., 2015; Oesterreich and Teuteberg, 2016; Roblek et al., 2016; Yin and Qin, 2019)
A Indústria 4.0 aumentará as oportunidades de trabalho para profissionais com necessidades especiais, uma vez que muitos processos funcionarão por meio de reconhecimento de voz e realidade virtual; isso contribuirá para a inserção de pessoas com necessidades especiais no mercado de trabalho.	(Roblek et al., 2016; Rübmann et al., 2015)
A Indústria 4.0 exigirá profissionais com capacidade intelectual e cognitiva, além de conhecimento multidisciplinar e capacidade de trabalho em equipe. Essas características podem aumentar o número de mulheres nas organizações, visto que em geral as mulheres se destacam nas características citadas.	(Hecklau et al., 2016; Hermann et al., 2016; Kagermann et al., 2013; Schwab, 2016)
A utilização de sensores em produtos e equipamentos de produção permitirá a identificação de situações nocivas ao ser humano, contribuindo para a ergonomia física e cognitiva.	(Bauer et al., 2015; Chen et al., 2015; Kagermann et al., 2013; Roblek et al., 2016; Saunila et al., 2019)
A Indústria 4.0 permitirá a integração de todas as atividades da cadeia de valor. Nesse sentido, será possível atuar de forma colaborativa desde o fornecimento da matéria-prima até a destinação final, possibilitando uma melhor análise dos impactos ambientais, sociais e econômicos.	(Guliyeva et al., 2018; Hermann et al., 2016; Kagermann et al., 2013; Machado et al., 2020; Oliveira and Simoes, 2017; Saunila et al., 2019)
A Indústria 4.0 possibilitará o surgimento de negócios inovadores, e este fato aumentará a participação de mercado de <i>start-ups</i> e pequenas empresas.	(Buhr, 2015; Kagermann et al., 2013; Machado et al., 2020; Oliveira and Simoes, 2017; Stock and Seliger, 2016)

Fonte: adaptado pela autora, a partir de P.F.S. Siltori et al. (2021)

Os impactos da Indústria 4.0 apresentados no Quadro 9 estão em consonância com a Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2016), pois defende que a inclusão de tecnologias da Indústria 4.0 exigirá mudanças no perfil do trabalhador brasileiro, que deve ser mais qualificado. CNI (2018) também aponta a necessidade das empresas brasileiras minimizarem as tarefas manuais em seus processos e aumentarem o conhecimento dos funcionários.

4 ABORDAGEM METODOLÓGICA

A metodologia proposta compreende estudos para analisar obstáculos ao desenvolvimento da Manufatura em diferentes contextos industriais e como o paradigma Indústria 4.0 estão impactando os processos de Manufatura para a sua implementação bem-sucedida nos diversos contextos industriais identificados e as suas relações analisadas com base na revisão de literatura.

Os dados pesquisados neste estudo foram coletados a partir de uma revisão bibliográfica utilizando de livros e bibliotecas virtuais, principalmente pelo Portal de Periódicos da CAPES/MEC e o mecanismo de pesquisa virtual, *ScienceDirect* e *Web of Science*, que reúne os trabalhos e pesquisas de produções científicas nacionais e internacionais. Para o gerenciamento dos artigos científicos, foi utilizada a plataforma do *software* gratuito MENDELEY.

4.1 FORMULAÇÃO: PROBLEMA DE PESQUISA E PALAVRAS-CHAVE

4.1.1 Formulação do problema de pesquisa

Dentro do contexto acadêmico é relevante focar o processo de estruturação do conhecimento a respeito dos métodos científicos de pesquisa, quanto aos fatores e requisitos envolvidos neste Trabalho de Conclusão de Curso e seu rigor metodológico, assim sendo a formulação da pergunta científica foi conduzida pela seguinte questão: Como os princípios da Indústria 4.0 estão impactando os processos de manufatura?

Com base nesta questão de pesquisa, este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem os seguintes objetivos:

4.1.2 Construção da árvore de palavras-chave

Conforme estudos dos pesquisadores Lacerda, Ensslin e Ensslin (2012), depois de determinada a área de conhecimento da pesquisa, utilizando uma lógica booleana palavras-chave são ligadas com os conectivos (descritores booleanos) “*and*” e “*or*”, de pesquisa é realizado a seleção das palavras-chave, que serão utilizadas na busca de referências.

Com o propósito de estabelecer as relações entre objetivos, métodos e ferramentas utilizadas para alcançá-los, tornando clara a relação entre a aplicação dos métodos e os resultados almejados em cada etapa da pesquisa, como mostra o Quadro 10 (CHOGUILL, 2005).

Quadro 10 - Matriz do projeto de pesquisa

Pergunta de pesquisa	Como os princípios da Indústria 4.0 estão impactando os processos de manufatura?
Objetivo Geral	Identificar os impactos e as barreiras à implantação dos princípios da Indústria 4.0 na manufatura
Objetivos específicos	Conhecer a difusão da manufatura com o advento do paradigma Indústria 4.0.
	Compreender os pilares e os princípios da Indústria 4.0 (Quarta Revolução Industrial).
	Levantar as principais características do setor de manufatura no Brasil.
Métodos de pesquisa	Revisão bibliográfica.
Conclusões	Com base na revisão bibliográfica realizada e nos resultados apresentados, é possível inferir que a pergunta de pesquisa e os objetivos deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foram alcançados, uma vez que foi possível analisar e interpretar as percepções dos autores e pesquisadores utilizados no nosso referencial teórico (Estado da Arte) sobre os possíveis impactos e barreiras causados pelos conceitos da Indústria 4.0 (Quarta Revolução Industrial) na Manufatura, ao longo dos anos.

Fonte: Adaptado de Choguill (2005) e Coughlan e Coughlan (2002)

Com base nos estudos de Choguill (2005) e Coughlan e Coughlan (2002) os objetivos formais do nosso projeto são:

1. Rever a literatura existente sobre as barreira e impactos da Indústria 4.0 na Manufatura, com base no conhecimento existente,
2. Demonstrar como o advento da Indústria 4.0 vem impactando a Manufatura
3. Sugerir estudos futuros sobre os impactos das ferramentas da Transformação Digital na Manufatura, principalmente nas pequenas e médias empresas.

No final da matriz fornecemos as possíveis conclusões preliminares. Isso foi incorporado à técnica principalmente como uma forma de nos forçar a pensar em todo o projeto, do início ao fim, antes de executá-lo. Sem alguma ideia de um

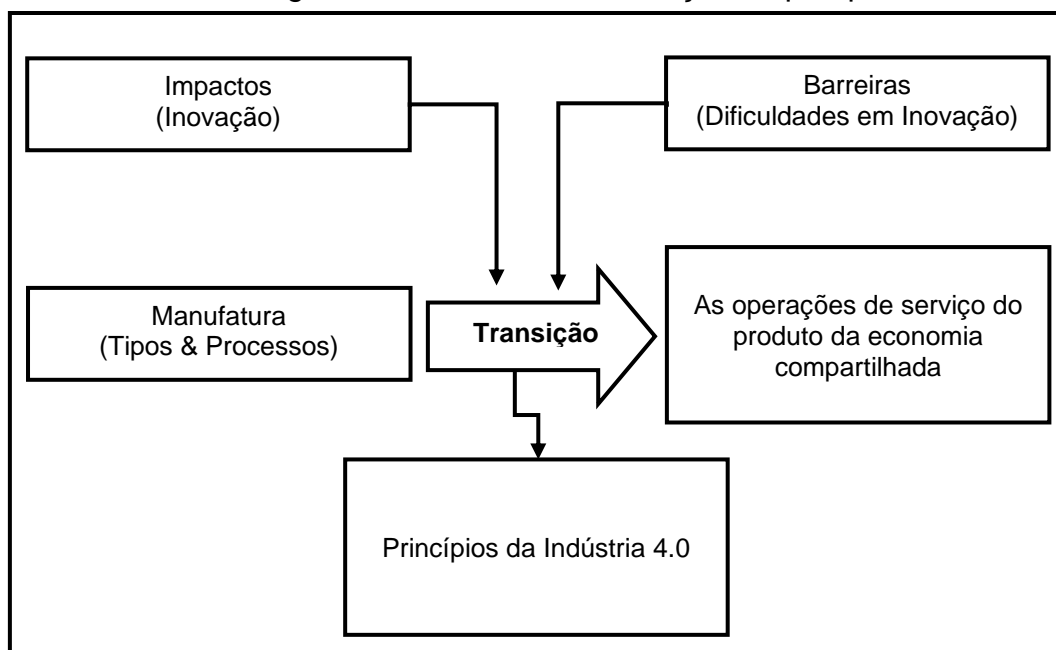
resultado lógico para o estudo de pesquisa, muitos dos estágios intermediários teriam se mostrado consideravelmente mais difíceis de estimar.

A principal estratégia do processo de estruturação da árvore tem como objetivo desdobrar os objetivos de pesquisa em palavras-chave, tanto no sentido vertical como no horizontal (FARIAS FILHO, 2009):

- a) No sentido vertical, o intuito é estabelecer áreas temáticas distintas e complementares que possibilitem que a pesquisa feita seja abrangente;
- b) No sentido horizontal, as áreas temáticas são subdivididas em vários ramos, garantindo dessa forma a profundidade e a especialização da pesquisa.

A Figura 2 de uma forma esquemática mostra o quadro de observação da pesquisa, onde as fábricas podem utilizar como um referencial ao novo ambiente competitivo.

Figura 2 - Quadro de observação da pesquisa



Fonte: adaptado pela autora, a partir de Charbel Jose Chiappetta Jabbour et al., (2020)

Na revisão narrativa da bibliografia, considerando a seleção das palavras-chave duas divisões de dados secundários foram relevantes para esta pesquisa. Isso inclui (1) Indústria 4.0 e sua adoção na Manufatura (2) aplicação da tecnologia de Manufatura (tipos e processos). Que serviram para chegar aos resultados e discussão deste Trabalho de Conclusão de Curso e, conseqüentemente fortaleceram as considerações finais e direcionar para trabalhos futuros.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Espera-se que o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) venha contribuir para uma melhor compreensão dos benefícios e desafios da união entre os princípios e pilares da Indústria 4.0 às fábricas brasileiras e os fatores socioculturais e organizacionais que permitiria as fábricas alcançar resultados de desempenho semelhantes aos que operam em economias maiores.

A pesquisa que sustentou este Trabalho de Conclusão de Curso estudou dois elementos a fim de compreender os achados da pesquisa para a elaboração de políticas atuais de inovação na manufatura, quais sejam, as barreiras e impactos na adoção dos princípios da Indústria 4.0.

Uma classificação para cada tipo de impacto, respectivamente são fornecidos nos Quadros 5, 6 e 7 e as barreiras na adoção da Indústria 4.0 são fornecidas no Quadro 8. Em seguida, no Quadro 9 mostramos os impactos da indústria 4.0 na sustentabilidade dos negócios na adoção dos princípios da indústria 4.0 na manufatura.

Assim podemos inferir que o estudo respondeu à pergunta de pesquisa e os objetivos extraídos da referida pergunta.

A pesquisa está entre o número muito limitado de estudos, que investigaram as atuais deficiências de implantação dos processos de manufatura nas fábricas em termos de motivos, barreiras, desafios e aplicações no Brasil. A seguir está um resumo das conclusões:

- a) este estudo descobriu que geralmente os motivos para adotar os diversos processos de manufatura são aumentar a eficiência, a utilização do espaço e limpar e organizar o local de trabalho;
- b) as evidências do estudo sugerem que a implementação dos processos de manufatura nas fábricas não é de forma alguma uma tarefa fácil, uma vez que é fortemente sobrecarregada por conhecimento e barreiras relacionadas aos recursos. A descoberta mais óbvia que se observou deste estudo é que tanto as empresas enxutas quanto as não enxutas acreditavam que o conhecimento é a questão principal;

c) Além da identificação das barreiras e dos impactos, ao longo do estudo, foi enfatizado que a relevância dos desafios é claramente suportada pelos motivos, impactos e barreiras para a implantação dos processos de manufatura. A falta de conhecimento técnico e a falta de treinamento surgiram como os principais desafios durante a implantação dos processos de manufatura.

6 CONCLUSÕES

A adoção dos princípios da Indústria 4.0 é o principal requisito para o desenvolvimento no contexto da indústria de manufatura. Para reduzir o risco de falhas relacionadas à implantação da manufatura, a partir de dados oriundos de vários pesquisadores foram identificados as principais barreiras e os principais impactos com base na revisão bibliográfica da literatura.

Mais especificamente, nossos resultados indicam que as fábricas que pretendem adotar níveis mais elevados da Indústria 4.0 devem implementar simultaneamente as técnicas de Manufatura como forma de apoiar as melhorias de processos, tendo em vista os impactos e barreiras que foram identificadas.

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) contribui para o debate científico de pelo menos três maneiras. Em primeiro lugar, fornecemos uma perspectiva analítica para os pesquisadores se orientarem na incerteza da definição atual, comparando a Indústria 4.0 com outros conceitos (por exemplo, manufatura avançada).

Em segundo lugar, identificamos uma série de dimensões e sub dimensões de definição que caracterizam a Indústria 4.0 em seus aspectos tecnológicos e não tecnológicos. Terceiro, destacamos algumas barreiras e impactos na adoção dos princípios da Indústria 4.0.

No que diz respeito à contribuição para a prática, o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) destaca a complexidade e a multidisciplinaridade da Indústria 4.0 em contraposição à típica da forma gerencial nas fábricas, principalmente pelo baixo nível de inovação.

Para concluir, acreditamos que, como a Indústria 4.0 ainda está em formação, existem enormes oportunidades para pesquisas futuras. Visto que a comunidade científica está vivenciando uma revolução “anunciada”, há espaço para assumir um papel ativo no fornecimento de pesquisas e inovações essenciais.

7 CONSIDERAÇÕES CONCLUSIVAS

7.1 RESGATE DO PROBLEMA DE PESQUISA

Considerando a revisão bibliográfica realizada podemos inferir que respondemos à pergunta de pesquisa, que no contexto deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) é mostrar os impactos da Indústria 4.0 nos processos de manufatura que são apresentados nos Quadros 5, 6, 7 e 9 e 10.

A partir desses resultados, políticas públicas e privadas podem ser debatidas e novas pesquisas podem ser originadas, entre outras ações. Espera-se que haja diferenças de impacto entre empresas de diferentes portes e segmentos. No entanto, os achados deste estudo contribuem para ampliar os debates sobre a realidade brasileira.

7.2 RESGATE DOS OBJETIVOS

O presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) teve por objetivo geral: Identificar os impactos e as barreiras à implantação dos princípios da Indústria 4.0 na manufatura.

Para isso, foram resgatados conceitos sobre os pilares e princípios da Indústria 4.0, os principais processos de manufatura e as suas evoluções tecnológicas, bem como pesquisou sobre a Manufatura sistemas de produção e suas características. O TCC também pesquisou sobre as barreiras e impactos à adoção da Indústria 4.0 (Quarta Revolução Industrial).

Após a identificação das barreiras e impactos da Indústria 4.0 na Manufatura, no Quadro 9 apresentamos os impactos da indústria 4.0 na sustentabilidade dos negócios.

7.3 CONTRIBUIÇÕES GERAIS DO TCC

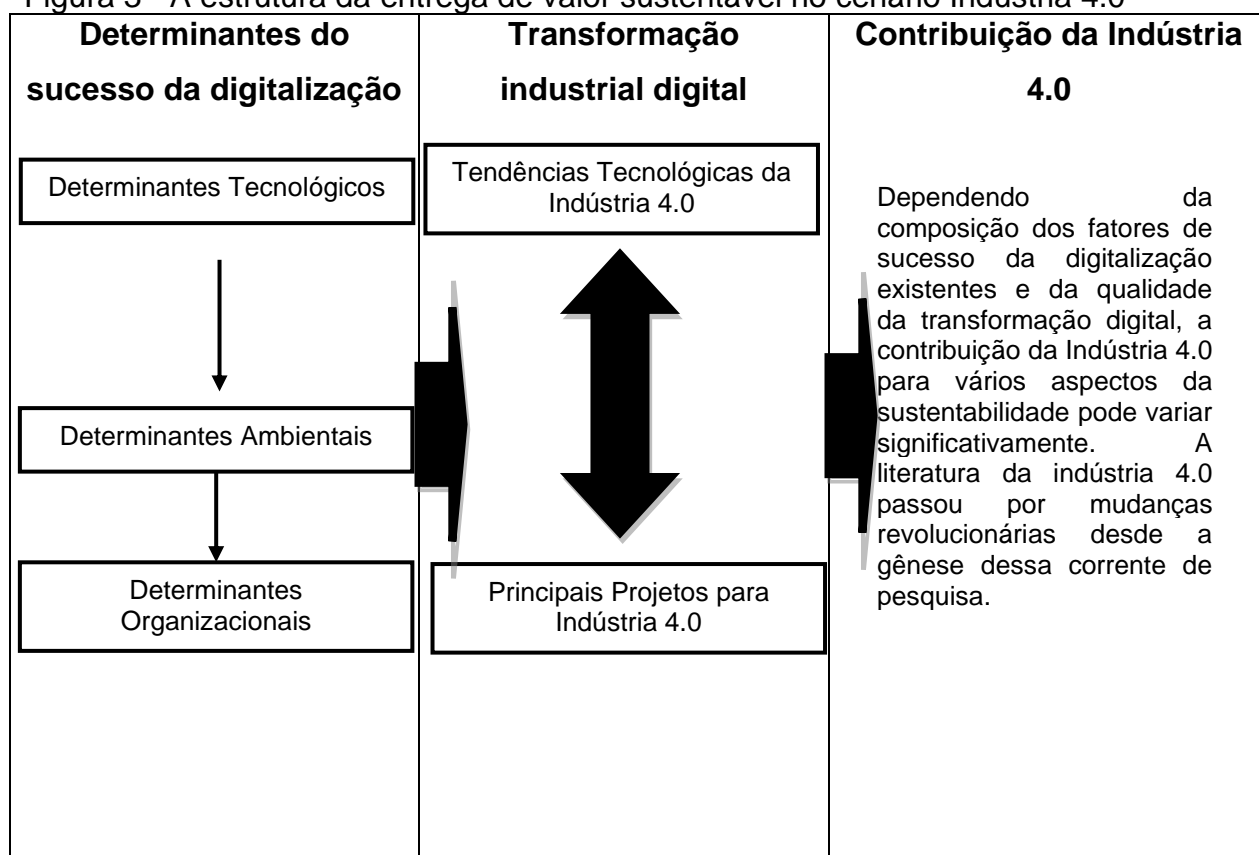
Sendo o Brasil, um país de amplitude continental, com grande variedade de sistemas de manufatura, é contundente discutir e apresentar o tema “A manufatura no contexto dos princípios da Indústria 4.0: barreiras e impactos”.

Diante ao que esse Trabalho de Conclusão de Curso apresenta em termos de contribuição, ou seja, as barreiras e impactos da Indústria 4.0 na manufatura. Em relação às implicações práticas, as informações aqui apresentadas possuem diversas oportunidades de aplicação, tais como:

- a) contribuir para os debates nas esferas pública e privada para a definição de políticas para a criação de um ambiente econômico favorável ao surgimento de novos negócios digitais que contemplem a sustentabilidade;
- b) utilizando os impactos mencionados aqui para que os gerentes analisem criticamente seus modelos de negócios.

Conforme mostrado na Figura 3, a transformação digital na Indústria 4.0 requer a presença favorável de muitas condições tecnológicas, organizacionais e facilitadoras, comumente referidas como determinantes de sucesso (MOEUF et al., 2020), como políticas governamentais de apoio ou capital financeiro.

Figura 3 - A estrutura da entrega de valor sustentável no cenário Indústria 4.0



Fonte: adaptado pela autora, a partir de M. Ghobakhloo, M. Fathi, M. Iranmanesh et al., (2021).

E isso significa, como os resultados deste estudo mostraram é de fundamental importância que os governos promovam a reordenação das prioridades políticas educacionais e administrativas, investindo recursos e muita energia.

Vale ressaltar, que as informações aqui apresentadas podem ser úteis para ampliar os debates sobre como os conceitos da Indústria 4.0 influenciarão a sustentabilidade das empresas brasileiras.

Os resultados deste estudo podem ajudar tomadores de decisão (gestores) e profissionais a resolver as barreiras, abrindo caminho para a implantação bem-sucedida da Manufatura em todo o setor utilizando os impactos gerados pelos princípios da Indústria 4.0 (Quarta Revolução Industrial).

REFERÊNCIAS

- A. C. PEREIRA, F. ROMERO. Manufacturing Engineering Society International Conference 2017, MESIC 2017, 28-30 June 2017, Procedia Manufacturing 13 (2017) 1206–1214 1207 2 A.
- A. LAKSHMI SANGEETHA, N. BHARATHI, A. BALAJI GANESH, T.K. RADHAKRISHNAN, Particle swarm optimization tuned cascade control system in an internet of things (iot) environment, Measurement 117 (2017) 80–89.
- A.M. HORMOZI, Agile manufacturing: The next logical step. Benchmarking: An International Journal, 8 (2) (2001), pp. 132-143.
- ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2017. Inovação, Manufatura Avançada e o Futuro da Indústria. Available at: www.abdi.com.br/Estudo/ABDI_Inovacao_Manufatura_Vol01.pdf.
- ADOLPH, S., TISCH, M., METTERNICH, J., 2014. Challenges and approaches to competency development for future production. Educ. Altern. 12, 1001–1010.
- ALI HOSSEINI. Identification of green management system's factors: a conceptualized model, Int. J. Manage. Sci. Eng. Manage. 2 (3) (2007) 221–228.
- ARAÚJO, J. B., & OLIVEIRA, J. F. G. (2012). Towards a balanced scoreboard for assessing manufacturing processes sustainability. International Journal of Business Performance Management, 13, 198-221.
- ARFAN MAJEEDA, YINGFENG ZHANGA, G, SHAN RENA, B, JINGXIANG LVC, TAO PENG, SAAD WAQARE, ENHUAI YINF. A big data-driven framework for sustainable and smart additive manufacturing. Robotics and Computer Integrated Manufacturing 67 (2021) 102026.
- AUSCHITZKY, E., HAMMER, M., RAJAGOPAL, A., 2014. How Big Data Can Improve Manufacturing. McKinsey Glob.
- AUTOMATION ALLEY, 2017. Technology Industry Report. Industry 4.0 is Here. Are we Ready?
- B. DUTTA, S. BABU, B. JARED, Chapter 2 - Additive manufacturing technology, in: B. Dutta, S. Babu, B. Jared (Eds.), Science, Technology and Applications of Metals in Additive Manufacturing, Elsevier, 2019, pp. 11–53.
- BASL, J., 2017. Pilot study of readiness of Czech companies to implement the principles of Industry 4.0. Manag. Prod. Eng. Rev. 8, 3–8.
- BAUER, W., HÄMMERLE, M., SCHLUND, S., VOCKE, C., 2015. Transforming to a hyper-connected society and economy – towards an “Industry 4.0.” Procedia Manuf. 3, 417–424. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.200>.
- BEHZAD ESMAEILIANA, SARA BEHDADB, BEN WANGC. The evolution and future of manufacturing: A review. Journal of Manufacturing Systems 39 (2016) 79–100.

- BEIER, G., NIEHOFF, S., ZIEMS, T., XUE, B., 2017. Sustainability aspects of a digitalized industry – a comparative study from China and Germany. *Int. J. Precis. Eng. Manuf. Green Technol.* 4, 227–234. <https://doi.org/10.1007/s40684-017-0028-8>.
- BORLIDO, J.D.A., 2017. *Indústria 4.0 – Aplicação a Sistemas de Manutenção*. 2017. Porto Seguro.
- BRAUNSCHEIDEL, M.J., SURESH, N.C., 2009. The organizational antecedents of a firm's supply chain agility for risk mitigation and response. *J. Oper. Manage.* 27 (2), 119–140.
- BREUNIG, M., KELLY, R., MATHIS, R., WEE, D., 2016. *Getting the Most Out of Industry 4.0*.
- BUHR, D., 2015. *Social Innovation Policy for Industry 4.0*. Friedrich Ebert Stift [WWW Document].
- BURMEISTER, C., LUTTGENS, D., PILLER, F., 2016. Business model innovation for Industrie 4.0: why the “Industrial Internet” mandates a new perspective on innovation. *Unternehmung* 70 (2), 124–152.
- CHARBEL JOSE CHIAPPETTA JABBOUR A, PAULA DE CAMARGO FIORINI B, CHRISTINA W.Y. WONG C, DANIEL JUGEND D, ANA BEATRIZ LOPES DE SOUSA JABBOUR A, BRUNO MICHEL ROMAN PAIS SELES E, MARCO ANTONIO PAULA PINHEIRO D, F, HERMES MORETTI RIBEIRO DA SILVA. First-mover firms in the transition towards the sharing economy in metallic natural resource-intensive industries: Implications for the circular economy and emerging industry 4.0 technologies. *Resources Policy* 66 (2020) 101596.
- CHIARINI, A., 2014. Sustainable manufacturing greening processes using specific Lean Production tools: an empirical observation from European motorcycle component manufacturers. *J. Clean. Prod.* 85, 226 e 233.
- CHOGUILL, Charles L. *The research design matrix: a tool for development planning research studies*. Habitat International, v. 29, n. 4, p. 615-626, 2005.
- CIMINI, C., PINTO, R., PEZZOTTA, G., GAIARDELLI, P., 2017. The transition towards industry 4.0: business opportunities and expected impacts for suppliers and manufacturers. In: *Advances in Production Management Systems. The Path to Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing. APMS 2017. IFIP Advances in Information and Communication Technology* Springer, Cham, pp. 119–126.
- CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2016. *Industry 4.0: a New Challenge for Brazilian Industry*. Available at: https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/54/02/54021e9b-ed9e-4d87-a7e53b37399a9030/challenges_for_industry_40_in_brazil.pdf.
- CNI, 2018. *Mapa Estratégico Da Indústria 2018 - 2022*, Confederação Nacional da Indústria. CNI, Brasília.
- COELHO, P., 2016. *Rumo à Indústria 4.0*. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Coimbra.

DALENOGARE, L., BENITEZ, G., AYALA, N., FRANK, A., 2018. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *Int. J. Prod. Econ.* 204, 383–394.

DELLOITTE; COUNCIL ON COMPETITIVENESS. *Advanced Technologies Initiative: Manufacturing & Innovation*. 2015. Disponível em: <https://goo.gl/KMrtbW>. Acesso em: 3 fev. 2022.

DÓRA HORVÁTH, ROLAND ZS. SZABÓ. Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? *Technological Forecasting & Social Change* 146 (2019) 119–132.

DOSI, GIOVANNI. *Mudança técnica e transformação industrial*. Campinas: Ed. Unicamp, 2006.

EROL, S., JÄGER, A., HOLD, P., OTT, K., SIHN, W., 2016. Tangible industry 4.0: a scenariobased approach to learning for the future of production. *Procedia CIRP* 54, 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.162>.

F. MICHEL, H. LOCKETT, J. DING, F. MARTINA, G. MARINELLI, S. WILLIAMS, A modular path planning solution for Wire + Arc Additive manufacturing, *Robot Comput. Integr. Manuf.* 60 (2019) 1–11.

FARIAS FILHO, J. R. *Ensaio Teórico sobre Pesquisa Bibliográfica em Estratégia de Operações*. Niterói: UFF/TEP, 2009. Apostila da Disciplina de Gestão de Operações - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

FETTERMANN, D., CAVALCANTE, C., ALMEIDA, T., TORTORELLA, G., 2018. How does Industry 4.0 contribute to operations management? *Journal of industrial and Production Engineering* 35 (4), 255–268.

FISPAL. *Manufatura Avançada: Tudo que você precisa saber sobre a 4ª Revolução Industrial e os desafios a serem enfrentados para sua implementação no Brasil*. São Paulo: FISPAL Tecnologia, 2016, pág. 4-21.

FRANK, A. G., DALENOGARE, L.S., AYALA, N.F., 2019. Industry 4.0 technologies: implementation patterns in manufacturing companies. *Int. J. Prod. Econ.* 210, 15–26. Gabus, A., Fontela.

FRANK, A., MENDES, G., AYALA, N., GHEZZI, A., 2019. Servitization and Industry 4.0 Convergence in the Digital Transformation of Product Firms: A Business Model Innovation Perspective. *Technological Forecasting and Social Change* (forthcoming).

GARZA-REYES, J.A., 2015a. Lean and Green e a systematic review of the state of the art literature. *J. Clean. Prod.* 102, 18 e 29.

GARZA-REYES, J.A., VILLARREAL, B., KUMAR, V., MOLINA RUIZ, P., 2016. Lean and Green in the transport and logistics sector e a case study of simultaneous deployment. *Prod. Plann. Contr.* 27 (15), 1221 e 1232.

GEISSBAUER, R., SCHRAUF, S., KOCH, V., 2014. *Industry 4.0: Opportunities and Challenges of Industrial Internet*, PricewaterhouseCoopers. Freudenberg IT.

GEORGIADIS, P., VLACHOS, D., TAGARAS, G., 2006. The impact of product lifecycle on capacity planning of closed-loop supply chains with remanufacturing. *Prod. Oper. Manag.* 15, 514 e 527.

GLAUCO ARBIX, MARIO SERGIO SALERNO, EDUARDO ZANCUL, GUILHERME AMARAL, LEONARDO MELO LINS. O Brasil e a nova onda de manufatura avançada. *Novos estud. CEBRAP SÃO PAULO* V36.03 29-49 novembro 2017.

GULIYEVA, A., BRITCHENKO, I., RZAYEVA, U., 2018. Global security and economic asymmetry: a comparison of developed and developing countries. *J. Secur. Sustain. Issues* 7, 707–717. [https://doi.org/10.9770/jssi.2018.7.4\(8\)](https://doi.org/10.9770/jssi.2018.7.4(8)).

H. .P. LU, C.-I. WENG, Smart manufacturing technology, market maturity analysis and technology roadmap in the computer and electronic product manufacturing industry, *Technol. Forecast. Soc. Change* 133 (1) (2018) 85–94.

HECKLAU, F., GALEITZKE, M., FLACHS, S., KOHL, H., 2016. Holistic approach for human resource management in Industry 4.0. *Procedia CIRP* 54, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.102>.

HERMANN, M., PENTEK, T., OTTO, B., 2016. Design principles for Industrie 4.0 scenarios. In: *Proceedings of the 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*. IEEE, pp. 3928–3937. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>.

HORVATH, D., SZABO, R.Z., 2019. Driving forces and barriers of Industry 4.0: do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 146, 119 – 132.

IVANOV, D., DOLGUI, A., SOKOLOV, B., 2018. The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. *Int. J. Prod. Res.* 1–18.

JESCHKE, S., BRECHER, C., MEISEN, T., ÖZDEMİR, D., ESCHERT, T., 2017. *Industrial Internet of Things and Cyber Manufacturing Systems*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42559-7_1.

JOSEF TAALBI. Evolution and structure of technological systems - An innovation output network. *Research Policy* 49 (2020) 104010.

KAGERMANN, H., HELBIG, J., HELLINGER, A., WAHLSTER, W., 2013. Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the Future of German Manufacturing Industry. Final Report of the Industry 4.0 Working Group. *Forschungsunion*.

KAMBLE, S. S., A. GUNASEKARAN, AND S. A. GAWANKAR. (2018) “Sustainable Industry 4.0 Framework: A Systematic Literature Review Identifying the Current Trends and Future Perspectives.” *Process Safety and Environmental Protection* 117: 408 - 425.

KAMBLE, S.S., GUNASEKARAN, A., SHARMA, R., 2018. Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry. *Comput. Ind.* 101, 107 – 119.

KARRE, H., HAMMER, M., KLEINDIENST, M., RAMSAUER, C., 2017. Transition towards an industry 4.0 state of the LeanLab at Graz University of Technology. *Procedia Manuf.* 206–213. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.006>.

KIEL, D., ARNOLD, C., VOIGT, K.I., 2017. The influence of the Industrial Internet of Things on business models of established manufacturing companies—A business level perspective. *Technovation* 68, 4–19.

KIEL, D., MÜLLER, J., ARNOLD, C., VOIGT, K.-I., 2017. Sustainable Industrial Value Creation: Benefits and Challenges of Industry 4.0. *International Society for Professional Innovation Management (ISPIM)*, Vienna, pp. 1–21.

KOVÁCS, O., 2018. The dark corners of industry 4.0 – grounding economic governance 2.0. *Technol. Soc.* 55, 140–145. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2018.07.009>.

KULVATUNYOU B, IVEZIC N, MORRIS KC, FRECHETTE S. Drilling down on Smart Manufacturing – enabling composable apps. *Manuf. Lett* 2016; 10:14–7. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2016.08.004>.

KUZNAZ, T., PFOHL, H.-C., YAHSI, B., 2015. The impact of Industry 4.0 on the supply chain. *Innov. Strateg. Logist. Supply Chain* 58.

LASI, H., FETTKE, P., KEMPER, H., FELD, T., HOFFMANN, M., 2014. Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering* 6, 239 – 242.

LEE H, RYU K, CHO Y. A framework of a smart injection molding system based on real-time data. *Procedia Manuf.* 2017; 11:1004–11. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.206>.

LIAO, Y., DESCHAMPS, F., LOURES, E. DE F.R., RAMOS, L.F.P., 2017. Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal. *Int. J. Prod. Res.* 55, 3609–3629. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576>.

MACHADO, C.G., WINROTH, M.P., RIBEIRO DA SILVA, E.H.D., 2020. Sustainable manufacturing in Industry 4.0: an emerging research agenda. *Int. J. Prod. Res.* 58, 1462–1484. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1652777>.

MACHADO, C.G., WINROTHA, M., CARLSSONB, D., ALMSTROMA, P., CENTERHOLTB, V., HALLIN, M., 2019. Industry 4.0 readiness in manufacturing companies: challenges and enablers towards increased digitalization. *Way* 1 (2), 3–4.

MANTOVANI, A., TAROLA, O., VERGARI, C., 2017. End-of-pipe or cleaner production? How to go green in presence of income inequality and pro-environmental behavior. *J. Clean. Prod.* 160, 71 e 82.

MCKINSEY & COMPANY, 2016. *Industry 4.0 after the Initial Hype: Where Manufacturers Are Finding Value and how they Can Best Capture it.*

MINGZHOU JIN, RENZHONG TANG, YANGJIAN JI, FEI LIU, LIANG GAO, DONALD HUISINGH. Impact of advanced manufacturing on sustainability: An overview of the special volume on advanced manufacturing for sustainability and low fossil carbon emissions. *Journal of Cleaner Production* 161 (2017) 69 e 74.

MOEUF, A., LAMOURI, S., PELLERIN, R., TAMAYO-GIRALDO, S., TOBON-VALENCIA, E., EBURDY, R., 2020. Identification of critical success factors, risks and opportunities of Industry 4.0 in SMEs. *Int. J. Prod. Res.* 58 (5), 1384e1400. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1636323>.

MOKTADIR, M.A., ALI, S.M., KUSI-SARPONG, S., SHAIKH, M.A.A., 2018. Assessing Challenges for Implementing Industry 4.0: Implications for Process Safety and Environmental Protection. *Process Safety and Environmental Protection*.

MRUGALSKA, B., WYRWICKA, M.K., 2017. Towards lean production in industry 4.0. *Procedia Eng.* 182, 466 – 473.

MÜLLER, J., VOIGT, K.-I., 2016. Industrie 4.0 für kleine und mittlere Unternehmen. *Prod. Manag.* 28–30.

MÜLLER, J., VOIGT, K.-I., 2017. Industry 4.0- integration strategies for SMEs. In: *International Association for Management of Technology, IAMOT 2017 Conference Proceedings, (Vienna)*.

NAGY, J., 2019. Az ipar 4.0 fogalma és kritikus kérdései – vállalati interjúk alapján. *Vezetéstudomány* 50, 14–26. <https://doi.org/https://doi.org/10.14267/VEZTUD.2019.01.02>.

NASCIMENTO, D., ALENCASTRO, V., QUELHAS, O., CAIADO, R., GARZA-REYES, J., LONA, L., TORTORELLA, G., 2018. Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: a business model proposal. *J. Manuf. Technol. Manag* (forthcoming).

PAULO HENRIQUE MOURA DE SOUZA, SILVIO JOSE CAVALLARI JUNIOR, GERALDO GONCALVES DELGADO NETO. Indústria 4.0: contribuições para setor produtivo moderno. XXXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO “A Engenharia de Produção e as novas tecnologias produtivas: indústria 4.0, manufatura aditiva e outras abordagens avançadas de produção” Joinville, SC, Brasil, 10 a 13 de outubro de 2017.

PAVAN KUMAR POTDARA, SRIKANTA ROUTROY. Analysis of Agile Manufacturing Enablers: A Case Study. *Materials Today: Proceedings* 5 (2018) 4008–4015.

PWC, 2014. Industry 4.0- Opportunities and Challenges of the Industrial Internet.

R. K. SURESH, K. GANESAN, M. MOHAN PRASAD, An optimal balancing of multiple assembly line for a batch production unit, *Int. J. Lean Think.* 4 (2) (2013) 22 – 32.

RAFAEL, R., SHIRLEY, A.J., LIVERIS, A., 2014. Report to the President Accelerating U.S. Advanced Manufacturing. The President’s Council of Advisors on Science and Technology, Washington, D.C.

ROBLEK, V., MEŠKO, M., KRAPEŽ, A., 2016. A Complex View of Industry 4.0, 6. SAGE Open, pp. 0–11. <https://doi.org/10.1177/2158244016653987>.

RÜBMANN, M., LORENZ, M., GERBERT, P., WALDNER, M., JUSTUS, J., ENGEL, P., HARNISCH, M., 2015. Industry 4.0 - The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. Bost. Consult. Gr [WWW Document].

RUSINKO, C. A. (2007). Green manufacturing: an evaluation of environmentally sustainable manufacturing practices and their impact on competitive outcomes. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 54, 445-454. <http://dx.doi.org/10.1109/TEM.2007.900806>.

SARTORI, S., LATRONICO, F., CAMPOS, L.M.S., 2015. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: uma taxonomia no campo da literatura. *Ambient. Soc.* 17, 01–22. <https://doi.org/10.1590/1809-44220003490>.

SAUNILA, M., NASIRI, M., UKKO, J., RANTALA, T., 2019. Computers in Industry Smart technologies and corporate sustainability: the mediation effect of corporate sustainability strategy. *Comput. Ind.* 108, 178–185. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.03.003>.

SAVOLAINEN, JYRKY & COLLAN, MIKAEL. (2020). Quantifying the Economic Feasibility of Additive Manufacturing: Simulating Production Lifetimes in the Context of Spare Parts Production. 10.1007/978-3-030-46103-4_8.

SCHUMACHER, A., EROL, S., SIHN, W., 2016. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia CIRP* 52, 161–166. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>.

SCHWAB, K., 2016. *The Fourth Industrial Revolution*. Crown Business, New York.

SCHWAB, K., 2017. *The Fourth Industrial Revolution*, first ed. World Economic Forum.

SHAO, G.; SHIN, S.-J.; JAIN, S. Data Analytics Using Simulation for Smart Manufacturing. *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference*. Anais...: WSC '14. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 2014.

SILVA, D. A. L., DELAI, I., CASTRO, M. A. S., & OMETTO, A. R. (2013). Quality tools applied to Cleaner Production programs: a first approach toward a new methodology. *Journal of Cleaner Production*, 47, 174-187. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.10.026>.

SILVA, P. R. S., & AMARAL, F. G. (2009). An integrated methodology for environmental impacts and costs evaluation in industrial processes. *Journal of Cleaner Production*, 17, 1339-1350. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.04.010>.

SILVA, S.A.S., MEDEIROS, C.F., VIEIRA, R.K., 2017. Cleaner production and PDCA cycle: practical application for reducing the Cans Loss index in a beverage company. *J. Clean. Prod.* 150, 324 e 338.

SMIT, J., KREUTZER, S., MOELLER, C., CARLBERG, M., 2016. Industry 4.0. Brussels.

STOCK, T., OBENAU, M., KUNZ, S., KOHL, H., 2018. Industry 4.0 as enabler for a sustainable development: a qualitative assessment of its ecological and social potential. *Process Saf. Environ. Protect.* 118, 254 – 267.

STOCK, T., SELIGER, G., 2016. Opportunities of sustainable manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP* 40, 536–541.

<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.129>. Vermulm, R., 2018. Políticas Para o Desenvolvimento da Indústria 4.0 No Brasil [WWW Document]. *Inst. Estud. para o Desenvol. Ind.*

SUCHETA AGARWAL, VIVEK AGRAWAL, JITENDRA KUMAR DIXIT. Green manufacturing: A MCDM approach. *Proceedings 26 (2020)* 2869–2874.

SURAJIT NATH, BIJAN SARKAR. Performance evaluation of advanced manufacturing technologies: A De novo approach. *Computers & Industrial Engineering* 110 (2017) 364–378.

TANGBIN XIA, YIFAN DONG, LEI XIAO, SHICHANG DU, ERSHUN PAN, LIFENG XI. Recent advances in prognostics and health management for advanced manufacturing paradigms. *Reliability Engineering and System Safety* 178 (2018) 255–268.

TORTORELLA, G., FETTERMANN, D., 2018. Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. *Int. J. Prod. Res.* 56 (8), 2975–2987.

TÜRKEŞ, M.C., ONCIOIU, I., ASLAM, H.D., MARIN-PANTELESCU, A., TOPOR, D.I., CAPUŞNEANU, S., 2019. Drivers and barriers in using industry 4.0: a perspective of SMEs in Romania. *Processes* 7 (3), 153.

UNEP, 2012. Resource Efficient and Cleaner Production [WWW Document]. U.N.E.P.

V. ROBLEK, M. MEŠKO, A. KRAPEŽ, A complex view of industry 4.0, *Sage Open* 6 (2) (2016) 1–11.

VEY, K., FANDEL-MEYER, T., ZIPP, J.S., SCHNEIDER, C., 2017. Learning & development in times of digital transformation: facilitating a culture of change and innovation. *Int. J. Adv. Corp. Learn.* 10. Wang, S., Wan, J., Li, D., Zhang, C., 2016.

VON LEIPZIG, T., GAMP, M., MANZ, D., SCHÖTTLE, K., OHLHAUSEN, P., OOSTHUIZEN, G., PALM, D., VON LEIPZIG, K., 2017. Initialising customer-orientated digital transformation in enterprises. *Procedia Manuf* 8, 517–524. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.066>.

WAHLSTER, W., 2013. *SemProM: Foundations of Semantic Product Memories for the Internet of Things*. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-37377-0>.

WANG, L., TÖRNGREN, M., ONORI, M., 2015. Current status and advancement of cyberphysical systems in manufacturing. *J. Manuf. Syst.* 37, 517–527.
<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2015.04.008>.

WANG, S., WAN, J., LI, D., ZHANG, C., 2016b. Implementing smart factory of industry 4.0: an outlook. *Int. J. Distributed Sens. Netw.* 12 (1), 3159805.

WEBER, R.H., STUDER, E., 2016. Cybersecurity in the internet of things: legal aspects. *Comput. Law Secur. Rev.* 32, 715–728.
<https://doi.org/10.1016/j.clsr.2016.07.002>

YIN, Y., QIN, S., 2019. A smart performance measurement approach for collaborative design in Industry 4.0. *Adv. Mech. Eng.* 11, 168781401882257
<https://doi.org/10.1177/1687814018822570>.

ZHOU, J., 2017. Intelligent Manufacturing-main Direction of “Made in China 2025” 3969. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-132X.2015.17.001>.