

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS PATO BRANCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS**

**AS INOVAÇÕES DA INDÚSTRIA 4.0 E
OS REFLEXOS NA ERGONOMIA E SEGURANÇA**

**PATO BRANCO –PR
2020**

JOSEANI SCHREIBER

**AS INOVAÇÕES DA INDÚSTRIA 4.0 E OS REFLEXOS NA ERGONOMIA
E SEGURANÇA**

The innovations of Industry 4.0 and the reflections on
ergonomics and safety

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestra em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Prof. Dr. Sergio Luiz Ribas Pessa

PATO BRANCO

2020



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite apenas que outros façam download dos trabalhos licenciados e os compartilhem desde que atribuam crédito ao autor, mas sem que possam alterá-los de nenhuma forma ou utilizá-los para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº 70

A Dissertação de Mestrado intitulada "As inovações da indústria 4.0 e os reflexos na ergonomia e segurança", defendida em sessão pública pela candidata Joseani Schreiber, no dia 27 de agosto de 2020, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, área de concentração Gestão dos Sistemas Produtivos, linha de pesquisa Engenharia Organizacional e do Trabalho, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Sergio Luiz Ribas Pessa – Presidente (UTFPR)

Dr. Giles Cesar Balbinotti (Renault do Brasil)

Prof. Dr. Marcelo Gonçalves Trentin (UTFPR)

Este Termo de Aprovação encontra-se na pasta da aluna na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação realizada após a entrega da versão final, incluindo correções necessárias, permitindo o encaminhamento para análise e publicação no Repositório Institucional.

Prof. Dr. Fernando José Avancini Schenatto
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção e Sistemas

*“Para ensinar uma arte não é bastante conhecer-lhe a
técnica, mas é preciso, também, saber ensiná-la”*

Alberto Santos Dummont

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, que me levaram diversas vezes de carro e ficaram esperando a aula acontecer, nunca reclamaram de ficar horas no estacionamento à minha espera, deixaram de trabalhar muitas vezes para me acompanhar. Obrigada mãe e pai, Deus foi imensamente bom comigo por ter vocês.

Ao professor, amigo e companheiro Dr. Sérgio Eduardo Gouvêa da Costa, pelas ligações e longas conversas, por levantar minha autoestima! Com quem debatia minhas ideias em sala. Muito obrigada por tudo que você representa hoje em minha vida. Enfim por ser você e por existir no meu caminho.

Ao meu orientador, que me incentivou nesses anos, Dr. Sergio Luís Ribas Pessa meu eterno muito obrigado!

A todos que, direta ou indiretamente, participaram da realização deste projeto. Meu eterno e sinceros agradecimentos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Revoluções Industriais.....	11
Figura 2 — Desenho da Pesquisa Realizada.....	33
Figura 3 — Desenho da Pesquisa Realizada.....	34
Figura 4 — Etapas de Construção de Portfólio Bibliográfico I.....	36
Figura 5 — Etapas de Construção de Portfólio Bibliográfico II.....	46
Figura 6 — Inovações Implementadas na Indústria Automobilística.....	47
Figura 7 — Fábrica do Futuro.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	— Tecnologias na área de ergonomia e segurança	28
Tabela 2	— Artigos de referência para a pesquisa.....	36
Tabela 3	— Análises dos Reflexos da Indústria 4.0.....	50

LISTA DE SIGLAS

CPS	Cyber-Physical System
IOT	Internet of Things
NIOSH	National Institute For Occup. Safety/ Health
OIT	Organização Internacional do Trabalho

RESUMO

SCHREIBER, Joseani. As inovações da Indústria 4.0 e os reflexos na Ergonomia e Segurança. 2020 . 58f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

A quarta revolução industrial tomou corpo na feira industrial de Hannover, em 2011. Ela surgiu a partir de três outros grandes grupos históricos de revolução, todavia, em contrapartida estas, chegou buscando visa a produção inteligente, que é baseada em princípios do CPS (*cyber-physical system*), mantendo objetivos na contextualização entre máquinas e homens, e não somente em sua utilização fatídica. Durante seu desenvolvimento, surge o que chama-se de modelo da Indústria 4.0, que é baseado na comunicação e contribuição de sistemas entre si e com humanos, em tempo real, buscando melhorar o desempenho dos processos produtivos, ampliar os lucros, diminuir os custos de produção e aumentar a segurança e ergonomia de operações. Sendo assim, mostra-se como um campo promissor de análise para a engenharia e para os campos financeiros industriais. Por consequência, essa pesquisa teve por objetivo identificar como as inovações na área de Ergonomia e Segurança estão auxiliando na Indústria 4.0, e como seus reflexos se apresentam nessas duas áreas. Ao nível metodológico, foi realizado, previamente, um levantamento bibliográfico que fora complementado com um Estudo de Campo, por meio de entrevista, de abordagem ambos, respectivamente, analítico-expositivo e qualitativo. Buscou-se, a partir de ambas metodologias, confrontar as informações de inovações presentes na bibliografia frente as percepções práticas do meio industrial, formando, assim, uma pesquisa que apresenta dados sobre as inovações e reflexos percebidos nos dois campos de análise. Como resultados, verificou-se que as indústrias atuais têm buscado implantar inovações e têm percebido reflexos positivos frente à nova Revolução Industrial e a Indústria 4.0. Assim, ainda que as publicações bibliográficas tragam um conjunto experimental, ou não, de inovações, estas estão sendo propostas e utilizadas em fábricas inteligentes para medir a carga física, mental, nível de estresse, simuladores de postos de trabalhos projetados com segurança, óculos de treinamento em segurança, dentre outros projetos que fazem da relação Indústria 4.0 e Segurança do Trabalho um projeto científico de longo prazo nos próximos anos.

Palavras-chave: Ergonomia. Indústria 4.0. Indústria automobilística. Inovações.

ABSTRACT

SCHREIBER, Joseani. The innovations of Industry 4.0 and the reflections on ergonomics and safety. 2020. 58f. Dissertation (Masters in Production Engineering and Systems) – Federal University of Technology Paraná.

The fourth industrial revolution took shape at the Hannover industrial fair in 2011. It emerged from three other major historical groups of revolution, however, in return, they came looking for intelligent production, which is based on CPS principles (cyber-physical system), maintaining objectives in the context between machines and men, and not only in their fateful use. During its development, what is called the Industry 4.0 model emerges, which is based on the communication and contribution of systems with each other and with humans, in real time, seeking to improve the performance of production processes, increase profits, decrease costs, production costs and increase the safety and ergonomics of operations. Therefore, it is a promising field of analysis for engineering and industrial financial fields. As a result, this research aimed to identify how innovations in the area of Ergonomics and Safety are helping in Industry 4.0, and how they are reflected in these two areas. At the methodological level, a bibliographic survey was carried out, which was complemented with a Field Study, by means of an interview, with an approach, respectively, analytical-expository and qualitative. We sought, from both methodologies, to confront the information of innovations present in the bibliography in view of the practical perceptions of the industrial environment, thus forming a research that presents data on the innovations and reflexes perceived in the two fields of analysis. As a result, it was found that the current industries have sought to implement innovations and have perceived positive effects in the face of the new Industrial Revolution and Industry 4.0. Thus, even if the bibliographic publications bring an experimental set, or not, of innovations, these are being proposed and used in smart factories to measure the physical, mental load, stress level, simulators of workplaces designed with safety, glasses safety training, among other projects that make the relationship between Industry 4.0 and Workplace Safety a long-term scientific project in the coming years.

Keywords: Ergonomics. Industry 4.0. Auto Industry. Innovations.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMÁTICA DA PESQUISA	13
1.2 JUSTIFICATIVAS	15
1.3 OBJETIVOS CIENTÍFICOS	16
1.3.1 Objetivo Geral	16
1.3.2 Objetivos Específicos	16
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 REVOLUÇÕES INDÚSTRIA, ERGONOMIA E SEGURANÇA	19
2.1.1 Caracterização da Indústria 4.0	25
2.1.2 Ergonomia e Segurança na Indústria 4.0	27
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	33
3.1 DA PESQUISA	34
3.1.1 Caracterização da Indústria 4.0	34
3.1.2 Levantamento da Pesquisa Bibliográfica: Documentação Indireta	35
3.1.3 Levantamento da Documentação Direta: Pesquisa de Campo	37
3.1.4 Análise e Interpretação dos Dados	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1 NOVAS TECNOLOGIAS E A ERGONOMIA E SEGURANÇA	40
4.1.1 Estação Digital	42
4.1.2 Realidade Virtual ou Aumentada	43
4.1.3 Sistema Digital 4.0 e Problemas Ergonômicos	44
4.1.4 Exoesqueleto	45
4.2 ERGONOMIA E SEGURANÇA NA INDÚSTRIA: ESTUDO DE CAMPO	45
4.3 ANÁLISES DOS DADOS	50
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história e desenvolvimento humano, é notável que as inovações e o desenvolvimento tecnológico e científico têm contribuído para a otimização de diversos processos, gerando consequentes melhorias na eficiência no trabalho e aumento da competitividade e sustentabilidade das organizações institucionais (FERREIRA; GUERRA, 2018).

Hoje, por consequência, sabe-se que os saltos tecnológicos que impuseram mudanças e paradigmas nas indústrias são chamados de “revoluções industriais”, sendo que a primeira revolução industrial ocorreu no campo da mecanização, a segunda na produção em massa e energia elétrica, e a terceira pela automação (LASI et al., 2014). Estes fatos histórico-econômicos formaram, nos dias atuais, os resultados socioeconômicos vistos, e se faz importante compreender, brevemente, suas realizações.

Assim entendido, Santos et. al. (2018) entende que a primeira revolução ficou marcada, principalmente, pela criação e desenvolvimento territorial da máquina a vapor e do tear mecânico, que contribuíram com as indústrias têxteis e mecânicas da época ao passo que a segunda revolução trouxe os insumos e fundamentos básicos dos anos atuais, como a eletricidade, a indústria do petróleo e, principalmente, a produção em massa, em grandes conglomerados industriais.

Por fim, a terceira revolução industrial, inicial já no século XX, apresentou o advento da energia nuclear, dos avanços da eletrônica, e das novas tecnologias e sistemas CAD E CAM. Hoje, pensa-se numa quarta e atual revolução industrial, com a Indústria 4.0, que promove a interligação e paralelismo entre diversos sistemas (SANTOS et al. 2018).

Por ser fundamento essencial da produção deste documento, abaixo se apresenta os principais aspectos das quatro Revoluções Industriais, através da Figura 1.



Fonte: Autor (2020) adaptado de Santos et. al. (2018)

A partir da Figura 1, nota-se que os primeiros passos destas revoluções iniciaram com a máquina a vapor, que potencializou as indústrias têxteis, mecânicas e de construção da época,

sugerindo avanços em mecanismos que pudessem aumentar a produção em massa e difundir produtos para todos os continentes, até então, conhecidos. Deste então, todos e quaisquer processos econômicos-industriais são pensados e geridos partindo de um padrão que busca qualidade e menor custo, ou seja, o instituto do “custo-benefício”; e a era 4.0 traz, exatamente, o objetivo de aprimorar em menor tempo para as instituições (SANTOS et. al., 2018).

Propriamente falando do objeto deste estudo, a quarta Revolução Industrial, conceituada como *Internet das Coisas*, *Internet Industrial*, *Manufatura Baseada na Nuvem*, *Manufatura Inteligente* ou *Indústria 4.0*, demonstra que o futuro busca por eficiência significativa na produção, através da integração digital, inteligência artificial e processos de fabricação. E para isso, a integração deve abranger o eixo horizontal em todos os participantes do conjunto da cadeia de valor e o eixo vertical em todos os níveis da estrutura organizacional (MRUGALSKA, 2016).

À medida que a quarta revolução industrial se torna realidade, esta traz novas mudanças de paradigma que terão impactos diretos na Gestão da saúde e segurança do trabalhador da indústria, pois, com as novas políticas públicas e legislações pertinentes, o reconhecimento do fator humano é fundamental, necessitando as instituições presentes atuais considerarem a ergonomia em todos os seus projetos, com avaliações periódicas e pertinentes que subsidiam a tomada de decisões para os trabalhos e para a instituição (PERUZZINI et. al., 2017). E, ainda nessa revolução, há formulação de padrões regulatórios para interfaces homem-máquina, combinando conhecimento de engenharia de *software*, ciência do trabalho e ergonomia cognitiva, todos buscando as mudanças e quebras de paradigma 4.0 (TEIXEIRA; O'BRIEN, 2017).

Por consequência, com o surgimento desta Indústria 4.0, grande parte dos processos industriais serão capazes de se otimizar de forma automática, garantindo melhor produtividade, resultado e consequências financeiras para as instituições. Todavia, para que isto seja atingido, a qualificação dos funcionários é imperativa e cognitiva, necessitando um conhecimento adequado sobre o maquinário utilizado e maior comunicação entre funcionários, setores, gestores, educadoras e afins (COELHO, 2016; TROPIA, SILVA, DIAS, 2017).

Com isso, percebe-se que a Indústria 4.0 integra um amplo conjunto de tecnologias para suportar a produção, devido ao montante de dados, desde o projeto inicial até o processamento final do produto, monitorando e otimizando o trabalho (CAPUTO et. al., 2018). Esses aspectos são importantes do ponto de vista ergonômico e proporcionam oportunidade de criar locais de trabalhos manuais simulados em cenário virtual, e com isso avaliar índices ergonômicos antes de se tornar o projeto físico (CAPUTO et al., 2018). Dessa forma, encontrar condições prévias para a introdução da quarta revolução industrial se tornou um desafio para analisar os reflexos

das inovações nas áreas de saúde e segurança, fundamento que exemplifica, em base, as motivações desta realização científica.

Para contextualização exata da temática e importância e relevância do tema, a subseção abaixo elenca as problemáticas associadas com o estudo apresentado, visando colaborar com o objetivo central que é avaliar os reflexos da ergonomia frente à nova revolução industrial em processo de ocorrência.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMÁTICA DA PESQUISA

Como salientado previamente, a Indústria 4.0 busca maior eficiência na produção e tratamento de processos industriais, sempre através da integração digital e do processo de fabricação baseado em inteligência artificial. Assim, esta se diferencia drasticamente das outras revoluções por elevar a capacidade técnica dos indivíduos organizacionais, além de aumentar os processos de comunicação e de educação do profissional, que deve ser capaz de atuar em sistemas complexos e interligados de produção em massa (MRUGALSKA, 2017).

Neste horizonte, Guimarães (2006, p.06), dentro do campo de trabalho e manufatura da Indústria 4.0, afirma que “deve ficar claro que em todo trabalho sempre vão existir ao menos três aspectos: o físico, o cognitivo e o psíquico (definido nos níveis de conflito, consciente ou inconsciente, entre a pessoa (ego) e a situação da organização do trabalho) cada um deles podendo determinar uma sobrecarga”. Assim sendo, é importante avaliar estes três campos para se reconhecer os potenciais de trabalho e as consequências deste para o desenvolvimento humano sustentável.

Frente a tais entendimentos, fica perceptível que os impactos das atividades que afetam o corpo humano recebem importância às vistas do autor, pois o desenvolvimento da humanidade está ligado estritamente com a melhoria dos produtos e processos, onde se procura reduzir movimentos e aumentar ganhos produtivos. Assim, cabe as indústrias pensar não tão somente em seus ganhos extraordinários, mas também no aspecto cognitivo e físico de seus colaboradores, o que pode ser representado através de processos de ergonomia.

Todavia, partindo de estudos práticos e fundamentos acadêmicos, Moreira et. al. (2016) afirma que atualmente um elevado número de trabalhadores das indústrias vem sendo diagnosticados com evidências de adoecimento, por conta de lesões físicas, crises emocionais ou psicossociais, todos fatores vêm acometidos pela demasiada falta de análises ergonômicas e de segurança das tarefas que estes realizam (MOREIRA et. al., 2016).

Deste modo, torna-se importante, para os empreendedores e instituições que recebem trabalhadores, observar que o aprimoramento de suas funções e atividades para a realidade proposta da Indústria 4.0 não pode ser feito sem planejamento e maneira precipitada, a fim de evitar um colapso nas mudanças – que devem ser sempre gradativas – ocorridas (COELHO, 2016; SILVA, 2018), afinal, as instituições, durante esta revolução, tendem a passar por um aumento considerável no volume de dados computados e armazenados, que auxiliarão para toda a visão da indústria em sua versão atualizada (KUPFER, 2016; BUENO et al., 2017), e que precisam de tempo para assimilar todas as suas funções para a instituição. Assim sendo, é importantíssimo o reconhecimento de atividades de Gestão e Planejamento neste processo de mudança via marco histórico.

Ainda dentro desta temática de segurança (ergonomia), Garrigou et. al. (2017) entende que, no meio econômico atual, os agravos à saúde e à segurança do homem são considerados representações do perigo, enquanto dimensões cognitivas inerentes às atividades profissionais são subestimadas, acarretando em atividades com sobrecarga, com tratamento de informações e pressão temporal, sugerindo risco de causar deficiências na eficácia ou na confiabilidade do sistema e ainda, em prazos maiores, agravos à saúde física e psíquica dos próprios colaboradores (GARRIGOU et al., 2007).

Na mesma vertente, o estudo de campo realizado por Römer; Bruder (2015) demonstrou que colaboradores não estão cientes dos aspectos ergonômicos de seu trabalho, devido ao fato de não terem referências sobre as posturas e movimentos ergonomicamente corretos e/ou não recomendados, tendo em vista que a grande maioria dos trabalhadores segue sequências de movimentos que estão habituados e familiarizados, confortáveis ou eficazes, sem considerar os prejuízos ao longo prazo destas ações. Nesse contexto, estudos de Bernard (1997) e Armstrong et. al. (1986) relatam ainda que questões musculoesqueléticas estão diretamente ligadas com processos ergonômicos trabalhistas da Indústria 4.0, ao passo que é comum aos trabalhadores de linha de montagem a realização manual de tarefas com maquinários e equipamento, a partir de treinamentos prévios realizados pelas instituições.

Estes fatores levantados pelo autor, com auxílio do entendimento sobre a importância da ergonomia e os aspectos históricos das revoluções, principalmente da Indústria 4.0, tornam a levantar o questionamento central deste trabalho científico, sendo este: “a quarta Revolução Industrial traz reflexos para as áreas de ergonomia e segurança do trabalho? Se sim, quais?”. A tal disposição, encontra-se a justificativa do projeto, a partir do questionamento levantando, abaixo, salientando as previsões teórico-práticas que fomentaram a realização desta dissertação acadêmica.

1.2 JUSTIFICATIVAS

A necessidade de uma nova estratégia de segurança e saúde no local de trabalho, que pode ser definida como um plano de ação para atingir metas no local de trabalho não é exclusiva da Indústria 4.0, às vistas de Stolzer; Goglia (2016). Trata-se esta, objetivamente, para os autores, de uma necessidade que surge antes mesmos dos períodos históricos reconhecidos como Revolução Industrial, pois as associações de risco de trabalho, atividades e doenças foram colocadas em evidência já nos anos médios, onde os direitos fundamentais e humanos não eram totalmente explícitos às comunidades.

A ergonomia é o estudo científico relacionado com a compreensão das interações entre homem-máquina-sistema, na qual se aplica teorias, métodos e princípios para projetar sistemas que buscam otimizar o bem-estar humano e o desempenho geral de um sistema. Sua concepção contribuiu para avaliação de tarefa, empregos, produtos, ambientes e sistemas, tornando-os compatível com as necessidades, habilidades e limitações das pessoas (MATTEUCCI et al., 2017); assim sendo, possui relação direta com as projeções das Revoluções Industriais, ao passo que estas alteraram as estruturas sociais do trabalho com suas realizações históricas.

Sabe-se que a troca contínua de informações, por meio de uma hierarquia, permite que os funcionários responsáveis percebam atos iminentes logo após a detecção de um problema, e assim, abordagens como estas podem reduzir o tempo de produção de produtos futuros, através de análises de dados, o que acaba por melhorar o funcionamento das organizações, da indústria e também das relações comerciais (BUENO et al., 2017; RIBEIRO, 2017; TROPICIA; SILVA; DIAS, 2017). Todavia, estes maquinários funcionam somente com manufaturas humanas com árdua competência, o que remonta, mais uma vez, a relação entre Ergonomia, Segurança do Trabalho e Indústria 4.0, afinal, pouco se sabe sobre os benefícios (e malefícios) desta relação.

Desse modo, fatores humanos têm sido reconhecidos como um aspecto fundamental na engenharia industrial, de modo que a ergonomia e segurança são consideradas nos projetos de sistemas industriais como fatores subjacentes de produção; no entanto, as abordagens tradicionais baseavam-se em avaliações tardias dos desempenhos ergonômicos, e não em análises proativas capazes de apoiar efetivamente projetos e tomada de decisões dos trabalhadores, segundo Gasová et. al. (2017), o que traz fundamento para esta produção científica que busca entender a relação entre os institutos estudados e projeções positivas e negativas deste relacionamento.

Para Caputo et al. (2018), espera-se, em relação aos aspectos ergonômicos frente a Indústria 4.0, instituições que tenham visão de longo prazo, onde todos os integrantes presentes de produção (humanos, máquinas e produtos) estejam conectados entre si, o que dentro do nível prático previamente avaliado se diferencia do modelo ergonômico atual, onde as avaliações não conseguem demonstrar os potenciais da ergonomia. Assim sendo, este documento busca trazer uma visão parametrizada da Segurança do Trabalho frente à Indústria 4.0

Assim sendo, essa pesquisa reuni informações acerca das inovações tecnológicas sobre a Indústria 4.0 e seus reflexos na ergonomia e segurança, destacando as perspectivas desta implementação tecnológica em indústrias brasileiras, tendo em vista que há clara relação entre estes componentes e a saúde do trabalhador.

1.3 OBJETIVOS CIENTÍFICOS

1.3.1 Objetivo Geral

Como objetivo geral, a partir das premissas apresentadas nas seções anteriores, tem-se a busca por identificar quais as inovações advindas da 4ª Revolução Industrial e, principalmente, quais os impactos causados (negativos ou positivos) dentro da área científico-prática da ergonomia e segurança do trabalho, avaliando seus reflexos e como estes estão sendo percebidos pela comunidade doutrinária e industrial deste campo.

1.3.2 Objetivos Específicos

A partir do objetivo geral salientado acima, elenca-se abaixo a carteira de objetivos específicos frente a esta produção literária:

- Contextualizar e Conceituar Ergonomia e Segurança do Trabalho;
- Identificar novas tecnologias que causam efeitos sob a Ergonomia e Segurança;
- Apresentar e contextualizar as influências das novas tecnologias no mundo do trabalho atual frente à Indústria 4.0;
- Verificar se os estudos propostos na literatura estão se alinhando com as práticas industriais de implantação das novas inovações e tecnologias;

- Reconhecer os impactos para diversos setores industriais;
- Realizar Entrevista com Gestor sobre a temática;
- Apresentar um levantamento bibliográfico, no modelo “Estado da Arte” dentro da temática associada neste documento;
- Contextualizar a discutir conceitos de Realidade e Estação Virtual, Tecnologias e Sistemas Digitais;
- Definir a relação presente entre a quarta Revolução e a área de Segurança do Trabalho (Ergonomia);

Frente aos entendimentos destes objetivos específicos, na próxima subseção apresenta-se toda a estrutura científica de produção deste trabalho, levantando os capítulos avaliados e quais as perspectivas do leitor para esta produção.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está estruturada em cinco capítulos, sendo o primeiro, aqui apresentado, composto pelas premissas iniciais como objetivos, justificativas e contextualização temática do problema abordado. Já o segundo capítulo apresenta o referencial teórico, através de um modelo expositivo-analítico, que compreende contextualização das Revoluções Industriais, processos de Inovação e entendimento sobre a temática de Ergonomia e Segurança do Trabalho na Indústria 4.0.

O terceiro capítulo apresenta-se a metodologia utilizada para formalização desta pesquisa, elencando a busca bibliográfica para o “Estado da Arte” e também o modelo de entrevista e atividades realizadas durante a captação de informações do Estudo de Caso realizado com um Gestor do seguimento industrial, dentro do campo da automobilística.

Findando, no quarto capítulo apresenta-se toda a análise e também discussão dos resultados obtidos também a partir da pesquisa documental bibliográfica quanto da entrevista prática com o Gestor, avaliando se há alinhamento entre as perspectivas práticas e teóricas desta dissertação frente a Indústria 4.0.

Por fim, finalizando o projeto, o quinto capítulo apresenta-se as considerações finais e conclusões retiradas a partir desta produção acadêmica, fundamento se todos os objetivos iniciais previstos foram concluídos e quais as limitações e problemáticas encontradas durante esta pesquisa acadêmica. Abaixo, inicia-se o Capítulo II.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 REVOLUÇÕES INDÚSTRIA, ERGONOMIA E SEGURANÇA

Historicamente, a Primeira Revolução Industrial iniciou entre os anos de 1760 e 1840 na Inglaterra, com a substituição gradativa dos métodos artesanais de fabricação por processos automatizados, ferramentas e máquinas. Estas mudanças, ao longo dos tempos, desencadearam alterações nos níveis socioeconômicos da sociedade, que antes era conduzido por um único indivíduo desde a obtenção da matéria prima até a comercialização do produto final, e iniciou a ser realizado a partir da figura de um Gestor (patrão), que controlava processos obtinha lucros exponenciais ao final (ZARTE et al, 2016). Fora, assim, portanto, que os sistemas de criação produtiva em massa, tanto industriais quanto comerciais, iniciaram.

Formalmente, após um longo período de estagnação, marcados por grande influência de domínio romano e da Igreja, e motivados pela evolução dos feudos e necessidade de ampliar os mercados de manufaturas, os mercadores alteraram, significativamente, sua forma de atuação no mercado – a fim de ascender socialmente – contratando mão-de-obra dos artesãos ao invés de fornecer somente a matéria-prima para estes (HUNT; SHERMAN, 2001).

Tais atividades, com o passar do tempo, foram modificando cada vez mais as previsões da sociedade, inferindo diversos e novos processos de produção, que foram ascendidos na sociedade a partir da manufatura da matéria-prima, em grande escala, pois trata-se de uma atividade comercial infinitamente superior às da época. Assim, nasceu o que conceitua-se como a Primeira Revolução Industrial, a partir da mudança de comportamento sociotrabalhistas dos anos 1760, com a oficialização da transição de produção artesanal para mecanizada, a partir da exploração de carvão e da energia a vapor (COELHO, 2016). A consequência direta da 1ª Revolução Industrial, pode-se dizer que foi o aumento da produtividade e também da qualidade de vida dos indivíduos, que potencializaram sua ascensão social (mesmo que de forma branda) nas sociedades médias (SANTOS et. al., 2018).

Tais fatores ocorreram, principalmente, porque previamente a esta 1ª Revolução, os artefatos necessários para se fabricar produtos precisavam, necessariamente, ser criados via um modelo artesanal, com características árduas e lentas, baseado na manufatura cognitiva. Todavia, com a chegada das energias (carvão e valor), maquinários foram construídos, aumentando a quantidade de produção e reafirmando uma sociedade, pela primeira vez, industrializada na Europa do século XVIII (COELHO, 2016). Cabe aqui ponderar, entretanto, que esta primeira

revolução não alterou ou revolucionou os processos de produção industriais, mas sim sistemas sociais, econômicos e políticos a partir da criação, inicial, em massa, destes.

Nessa primeira revolução, por consequência, o trabalho infantil era comum e o ambiente de trabalho extremamente perigoso. Não haviam produções legislativas ou políticas de proteção direta da criança e do adolescente e nem mesmo dos trabalhadores formais (ou não). A consequência foi, em 1802, da formulação da Lei de Saúde e Morais dos Aprendizes, a partir das primeiras lutas sociais, que protegeu crianças órfãos de trabalhar em fábricas industriais a partir de condições inumanas (RAMAZZINI, 2001). Já no Brasil, as garantias de segurança no trabalho vieram juntamente com a CLT (Consolidação das Leis Trabalhistas) em 1940, durante o Governo Vargas (WÜNSCH, 2007), com atraso recorrente de quase 100 anos dos países desenvolvidos. O mundo já se encontra próxima de sua Segunda Revolução Industrial.

Neste horizonte, aliás, logo após o fim da segunda guerra mundial, em 1945, ocorreu a Segunda Revolução Industrial, ao nível histórico, a partir da mudança significativa das atuações das indústrias, da utilização demasiada da química, de componentes físicos, do ferro e, principalmente, da energia elétrica – que potencializou mudanças em massa nas produções industriais ao longo do globo por conta dos baixos custos (COSTA, 2017). Assim sendo, é notável que o que configura a Segunda Revolução Industrial é a energia elétrica, que possibilitou a produção em massa devido à introdução de linhas de montagem.

Além disso, surgiram os primeiros barcos de aço que revolucionaram o transporte das mercadorias e de pessoas (COELHO, 2016), além de um aumento exponencial em curto período do conhecimento científico-técnico da época com tradução e responsividade de informações a partir da energia elétrica, utilização de telecomunicações e institutos eletromecânicos de produção. O globo se via, mais uma vez, numa transformação sócio-científica e político-econômica (CASTELLS, 2006).

Nessa revolução, nascem invenções importantes como: (a) telegrafo, e com ele a comunicação intercontinental; (b) lâmpada incandescente, deixando querosene e velas para traz, possibilitando que indústrias pudessem trabalhar a noite, as ruas fossem iluminadas, facilitando para a ida de trabalhadores; (c) elevadores, também são criados possibilitando a construção de arranha céus e (d) petróleo, utilizado como combustíveis para os veículos automotores da Ford, modelo marco dessa época para a engenharia científica. Esses ganhos aconteceram porque algumas indústrias ganharam espaço e cresceram nessa evolução como: automobilística a petrolífera, aeroviária, elétrica, química e a telefônica (CASTELLS, 2006). Foi uma consequência direta do aumento econômico da primeira revolução.

Neste período, ainda, ocorreu a implementação da Administração Científica, por meio da pesquisa de Taylor – aumentando as previsões do globo sobre a importância da pesquisa acadêmica bem como percebeu-se o estabelecimento de linhas montagem de Ford, que impactaram diretamente desenvolvimento industrial-tecnológico, possibilitando a abertura do campo das fusões organizacionais, novas filiais e também a participação do Estado, com mais efetividade, na Economia. O mundo iniciava a mudança para um sistema monopolista, de grandes instituições no comando (BRAVERMAN, 1987).

Destaca-se, ainda, que nessa revolução, o princípio de administração científica propiciou a racionalização do tempo de produção bem como formas eficientes de execução de atividades, de modo que a lógica capitalista por meio da gerência científica, que busca a diminuição dos custos e o aumento de produção, gerasse o aumento da utilização de máquinas junto à produção humana (COSTA, 1999). Popularizou-se, cada vez mais, os maquinários industriais. Entretanto, o capital era fundamento necessário para o desenvolvimento destes campos, e assim, o mercado de crédito teve grande ascendência no período, mantendo a característica capitalista dos meios de produção (BRAVERMAN, 1987).

Neste olhar histórico, a Ergonomia, propriamente dita, só surge, verdadeiramente, após o período da Segunda Guerra Mundial, com a ruptura de princípios sociais que esqueciam de fundamentos humanos como saúde, lazer, higiene, liberdade, proteção e segurança (COSTA, 1999). Assim sendo, nesta época, com a busca por entender a ciência como objetivo útil da sociedade (WISNER, 1992), foi lançado um movimento de multidisciplinaridade na indústria e em outras atividades civis, com o objetivo de fazer com que diferentes especialistas e opiniões, trabalhassem juntos (DANIELLOU, 1992), buscando melhores produções sociais para trabalhadores e para a própria indústria.

Neste horizonte, a Ergonomia foi usada para diagnosticar as condições de trabalho, recomendação de melhorias, e difundir e esclarecer as condições de trabalho dos operadores frente aos seus direitos adquiridos. Contudo, a disponibilidade de mão de obra barata, havia pouco incentivo financeiro para empresas melhorarem a segurança e a saúde no local de trabalho (HÖFLER, 2005), não tendo, a Ergonomia e Segurança do Trabalho, frente a Segunda Revolução Industrial, resultados práticos tangíveis inicialmente.

Todavia, com o passar do tempo, governos começaram a assumir papéis mais ativos com a aprovação das leis de compensação dos trabalhadores, e tal fator progrediu para a era moderna com a aprovação de outras legislações importantes, como a Lei de Saúde e Segurança no Trabalho em 1974 – que exige que empregadores e funcionários garantam a saúde e a segurança

dos trabalhadores em todos os locais de trabalho – e a Inclusão, no Brasil, do Direito do Trabalho como fundamento coletivo da sociedade (HÖFLER, 2005).

Desta forma, a Segurança no local de trabalho e o conhecimento em saúde também evoluíram, com o uso demasiado, em instituições, de métodos epidemiológicos e experimentais para avaliar práticas trabalhistas, como o desenvolvido por Doll e Bradford Hill (critério Bradford Hill), para examinar, cientificamente, os caminhos causais entre exposições no local de trabalho e doenças, onde o trabalho (HÖFLER, 2005). O globo inicia um olhar experimental, prático e fundamental dentro dos campos industriais de trabalho.

A partir destes fundamentos, evoluiu-se para a Terceira Revolução Industrial, conhecida como revolução digital, que começou entre os anos de 1950 e 1970, com a introdução da eletrônica e Tecnologia da Informação, propriamente ditas, e por consequência melhoras na automação e robotização em linhas de produção, com armazenamento de informações e comunicação com telefones e internet (DA COSTA, 2017). Este marco possibilitou a comunicação internacional eficaz entre instituições, pessoas e governos.

Ainda na década de 60, com a mudança no mercado de trabalho, com operários sem conhecimentos para as novas tecnologias e a chegada de mão de obra imigrante, ocorreram inúmeras transformações nas estruturas tradicionais, organizacionais e de produção, trazendo para as cúpulas industriais a necessidade de treinamentos e aperfeiçoamento pessoal. A consequência direta destes entendimentos veio, diretamente, na década de 70, quando houve um crescimento econômico nos países industrializados e o modelo de organização de trabalho foi estipulado a partir da organização científica (BALBINOTTI, 2013a), com busca na Educação Profissional e na Capacitação dos indivíduos.

Neste período, o Japão surge como potência global de desenvolvimento, por se mostrar um país com devido planejamento/fidelidade às metodologias de trabalho ao passo que os EUA e União Europeia iniciam padrões éticos-científicos na comunidade industrial. Neste sentido, ocorre então a Revolução tecnológica, que fora possibilitada por meio da inteligência organizacional e administração do conhecimento, e fomentou um novo período de desenvolvimento, baseado em conhecimento, planejamento e Gestão (CASTELLS, 2006).

Neste sentido, é registrado na história, como exemplo deste salto, o Toyotismo, que trata-se de uma resposta à crise do fordismo dos anos 1970. Ao invés do trabalho desqualificado, este modelo industrial, que utilizava a Segurança do Trabalho e Ergonomia como fundamentos essenciais, olhar para operário como um instituto empresarial polivalente, que deve ser compreendido a partir de diversos valores como: (a) sendo de equipe, (b) capacidade de produção; (c) satisfação com o trabalho, (d) segurança e qualidade, dentre outros; assumindo que o

trabalho repetitivo pode assumir outras realidades na indústria, mais lucrativas e menor onerosas ao longo prazo (ANTUNES, 2006).

Assim, percebe-se que as melhores condições do ambiente de trabalho iniciam, oficialmente, com a chega do Sistema Toyota, que trouxe uma nova forma de pensar sob o processo, enxugando prejuízos, evitando desperdícios e, conseqüentemente, considerando estudo da Ergonomia como fundamento de otimização empresarial. Deste modo, percebeu-se, a partir de suas produções, que as condições de bem-estar no ambiente de trabalho eram ligadas com maior produtividade e eficácia do colaborador no desenvolvimento das tarefas (VIEIRA; BALBINOTTI; GONTIJO, 2012). O globo parou, novas ideologias foram formadas.

Ambientes industriais, desta forma, passaram a oferecer condições de trabalho adaptáveis aos seus colaboradores, oferecendo melhores índices de qualidade e absenteísmos comparadas com os sistemas de trabalho das duas primeiras revoluções (BALBINOTTI, 2013a). Novas metodologias de produção surgiram com o uso da robótica, qualificação de mão-de-obra, melhores condições de trabalho e projetos legislativos de proteção ao trabalhador.

A consequência direta foi sentida nos anos 90, com uma efêmera evolução dos campos trabalhistas e científicos que, ao entender que a economia é um instituto flutuante, sofisticaram os meios de produção – através da tecnologia virtual e das máquinas elétricas – reduzindo tempo e custo, além de propiciar melhor qualidade de vida para todos os envolvidos e associados com estas instituições (MALINE, 1997). Além disto, frente ao novo mercado comercial, para sobreviver a evolução exponencial dos anos 1990, as indústrias tiveram que melhorar sua capacidade de diversificar os produtos bem como de fabricação simultânea ou sucessivamente pequenas e grandes quantidades destes (MALINE, 1997). Mais uma vez, a Segurança e Ergonomia foram levantadas como institutos básicos para que este sistema efêmero funcionasse.

Nesse sentido, para complementar a Segurança e a Ergonomia, foi possibilitado a participação dos Ergonomistas e Engenheiros de Segurança nos projetos de desenvolvimento tecnológico, principalmente os envolvidos com a automação, onde a modernização tecnológica e a novas unidades produtos devem buscar a redução de custos e o máximo de custo-benefício ao curto prazo (DUARTE, 2002).

Nesse cenário, então, foi proposta pelo NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*) uma estratégia de segurança e saúde focada na “Saúde total do trabalhador”, para integrar a segurança e a proteção da saúde com a promoção da bem-estar entre os trabalhadores. Essa estratégia utilizava, principalmente, uma abordagem quantitativa de avaliação de risco e assumia uma relação tradicional empregador-empregado (SCHILL; CHOSEWOOD, 2013). E

cada vez mais novas propostas foram surgindo a fim de reduzir os riscos operacionais ligados com a industrialização de produtos e serviços.

Cabe aqui entender, a partir desta contextualização histórica, que o risco profissional sempre foi inerente ao trabalho, todavia, foi objetivo de análise somente a partir da 2ª Revolução Industrial, quando notou-se que as perdas estavam associadas a incapacidade dos trabalhos de gerir suas próprias funções. Neste horizonte, é preciso levar em consideração que os riscos se apresentam desde a fase inicial dos projetos industriais até a finalização dos produtos, sendo necessário conhecer, controlar e reduzir este em todas as premissas institucional a fim de eliminá-lo das produções. A dificuldade, todavia, fica na mitigação e no entendimento dos riscos que são assumidos pelos profissionais.

E quanto a este processo dificultoso de prevenção de riscos profissionais, Garza e Fadier (2007), afirmam que a análise ergonômica evoluiu e abrange um ambiente técnico e social amplo, onde a análise da dimensão coletiva do trabalho, das interações sociais, e entre diferentes equipamentos de trabalho são introduzidas novas questões metodológicas, visando entender as situações profissionais e quais os fundamentos que criam estas situações indesejáveis (BALBINOTTI, 2013a). Bem neste horizonte, por consequência, a era do conhecimento entra como aplicável, pois a transferência e interpretação de informações pode evitar os riscos indesejáveis desde as alterações trabalhistas da 2ª Revolução Industrial.

Essa era do conhecimento está diretamente ligada com o que chama-se de Quarta Revolução Industrial, ou também chamada de Indústria 4.0 (PASQUALOTTO; BUBLITZ, 2017), que prevê mudanças na *maneira de pensar* das grandes fábricas e polos industriais, inferindo alterações no relacionamento entre fornecedores, na busca, rentabilização e fidelização de clientes e na interação entre homem-máquina e saúde (CAPUTE, 2018). Desta forma, relaciona-se diretamente com as produções acadêmico-científicas e práticas da Engenharia de Segurança do Trabalho e da Ergonomia.

Historicamente, segundo Walters (2019), a Quarta Revolução Industrial tomou corpo na feira Industrial de Hannover em 2011, quando apresentou os princípios do CPS (*cyber-physical system*), sistema de alta comunicação que otimiza processos industriais, logísticas, serviços de indústria e mitiga potenciais de riscos em diversas instituições, em tempo real e ao mesmo tempo cronológico.

Já com o objetivo de otimizar processos industriais, como desenvolvimento, produção, logística e serviço, a Indústria 4.0 (produto direto da Quarta Revolução Industrial) foi elaborada na Alemanha pela “Industrie 4.0 Platform”, que é organizada por um conjunto de associações

em parcerias com algumas empresas (BITKOM, 2016), a partir dos princípios levantados durante as outras revoluções e das necessidades que são encontradas em comunicação, eficácia e mitigação sociotrabalhista. Assim sendo, por ser fundamentalmente o objetivo de análise deste documento, reserva-se a próxima subseção para sua contextualização temática, a fim de compreender as características desta 4ª Revolução Industrial frente a Indústria 4.0.

2.1.1 Caracterização da Indústria 4.0

A Indústria 4.0 conta com os potenciais mercadológicos-industriais encontrados durante a 4ª Revolução Industrial, que são: (a) internet das coisas, (b) internet dos serviços e os sistemas *cyber-físicos*, (c) robôs autônomos, (d) manufatura aditiva, (e) simulação digital, (e) integração horizontal e vertical de sistemas, (f) internet das coisas industrial, (g) *big data* e *analytics*, (h) computação na nuvem, (i) segurança cibernética; e (j) realidade aumentada. Por consequência, ao utilizar tais fatores eletrônicos-tecnológicos, tornar as linhas de produção cada vez mais eficientes, autônomas e customizáveis (PASQUA-LOTTO; BUBLITZ, 2017).

Sua estratégia surge e compreende, aos olhares de Walter (2019), basicamente: (1) soluções adaptáveis de segurança e saúde no local de trabalho, (2) diálogo com várias partes interessadas para soluções colaborativas, e (3) governança antecipatória com base em valores comuns e desenvolvimento de profissionais de segurança e saúde no local de trabalho – dada a heterogeneidade dos sistemas de proteção ao trabalhador em todo o mundo, em que a maioria das estratégias propostas está relacionada com normas de segurança e saúde no trabalho bem como são desenvolvidas a partir de práticas de saúde ocupacional (WALTERS, 2019).

Dessa forma, essa revolução propõe fábricas inteligentes, nas quais ocorre simulação do mundo real e cenário virtual e a tomada de decisão são realizadas após análises numéricas (CAPUTO et. al., 2018). Assim sendo, com menores índices de erros humanos e melhoria da capacidade dos operários em tomar decisões e solucionar problemas, o sistema torna a fábrica ou indústria mais produtiva e eficiente, com menores custos e uso de recursos sem prejuízos desnecessários (PERUZZINI et. al., 2017).

Percebe-se, portanto, que uma complexa rede de máquinas, produtos físicos e visuais, sensores dispositivos de comunicação e muita tecnologia compõe os sistemas *cyber-físicos* são os responsáveis por melhorias em toda cadeia industrial. Com a utilização dos CPSs, ainda, é

possível obter maior eficiência no processo produtivo e, conseqüentemente, menor preço de venda, além de, novos produtos e serviços no mercado (LAUDANTE, 2017).

Conceitualmente, os sistemas *cyber-físicos* (CPS) são sistemas de computação, redes de comunicação e processos físicos que interagem e influenciam-se entre si de modo mútuo (COELHO, 2016). Comunicam-se, assim, com sensores responsáveis pelo monitoramento de indicadores virtuais e físicos; e a partir da análise que realizam, executam modificações nesses ambientes. São usados, em geral, no contexto virtual, sempre para coletar dados dos usuários por redes sociais, blogs ou sites e a partir desses dados prever ações e necessidades dos usuários (ZANNI, 2015), que neste caso podem ser os trabalhadores.

O uso dos sistemas *cyber-físicos* contribuiu com a implementação da internet das coisas (IoT – *Internet of Things*), que é uma tecnologia revolucionária com potencial para inovações e melhorias significativas em ambientes sociais e corporativos (ZANNI, 2015). O termo refere-se, estaticamente, aos objetos físicos/virtuais que estão ligados, diretamente, à internet (COELHO, 2016). Trata-se, assim e portanto, de um ambiente dinâmico, onde dispositivos inteligentes detectam o ambiente e podem agir sobre ele e a partir dele. Desta forma, com esta tecnologia, é possível coletar informações externas e compartilhar, através de uma computação onipresente, qualquer dispositivo em qualquer hora e local do mundo (ZANNI, 2015). O globo, assim, uniformiza-se.

Em pensamentos gerais, o objetivo da IoT é permitir que sensores atuem como sistemas inteiros, a partir da interconexão entre sensores únicos e em conjunto, além de tornar a internet mais abrangente (ZANNI, 2015); e assim, com o aprimoramento de sensores, que os torna cada vez menores e baratos, além dos avanços quanto aos dispositivos móveis e comunicação, a IoT tem sido impulsionada (COELHO, 2016). Já com as inovações e tecnologias IoT, é possível criar aplicativos inteligentes que gerenciam de forma eficiente os sistemas, e esta, juntamente com os CPSs, dá suporte a aplicativos que gerenciam grandes volume e variedade de dados (ZANNI, 2015). O sistema é bastante avançado frente aos campos eletrônicos.

Notadamente, de todas as organizações que utilizam a Indústria 4.0, espera-se eficiência e eficácia no atingimento dos objetivos, pois estudos da Organização Internacional do Trabalho (OIT) demonstram que a falta de Segurança no trabalho e os níveis de competitividade colocam o Brasil entre os países com grandes problemas; assim sendo, ao utilizar este sistema de Gestão e Avaliação Institucional, as empresas se mostram capazes de contornar objetividades negativas durante a Gestão. Por conseqüência, os impactos de práticas sociais devem crescer com sua utilização, incluindo ações nas áreas de saúde, segurança e suas conseqüências (BALBINOTTI,

2003b). Enfim, teoricamente, IoT e CPSs se mostram positivas, quando aplicadas dentro do campo de Ergonomia e Segurança do Trabalho.

Seguindo, com a evolução natural da internet das coisas (IoT), surge a internet dos serviços (IoS), que nada mais é do que a conexão e interação entre as coisas e a criação de serviços de valores perceptíveis aos clientes, além de ser um forte suporte para a quarta revolução que vem abrindo um mundo de desafios e oportunidades (COELHO, 2016). Ou seja, trata-se, necessariamente, da aplicação direta das IoT dentro dos serviços empresariais e das percepções de ambiente nas instituições. Assim, quanto mais softwares, tecnologias e inteligência incorporada em sistemas e produtos industriais, mais fácil será o potencial de prever a degradação no desempenho dos produtos o que possibilita gerenciar e otimizar as necessidades de serviço em prol do produto (LEE et al., 2014). O sistema tem muito a contribuir.

Todavia, é importante ressaltar que a 4^o Revolução Industrial vai muito além destes conceitos apresentados, pois integra um conjunto de empresas que formam um ecossistema digital frente aos seus ativos físicos digitalizados. Assim, sua promessa vai na contextualização e na vivência entre diversas empresas, aumentando a integridade, as visões sociais do trabalho e dos fundamentos de vivência humana, sempre através de um sistema inteligente que integra resultados e potencializa benefícios (BADRI et. al., 2018).

Por consequência, a Quarta Revolução Industrial provavelmente se desdobrará em um ritmo acelerado e será diferente das três primeiras revoluções industriais em velocidade e magnitude de mudança, buscando os profissionais de segurança e saúde no trabalho como fundamentais para o processo de industrialização, através da proatividade, uso de tecnologias algorítmicas e fundamentais e também de estratégias de Administração e Gestão que potencializam o desenvolvimento humano. (ANGER et al., 2015).

Frente a tal entendimento, faz-se importante compreender, portanto, a relação direta entre estes três objetivos: Indústria 4.0, Segurança do Trabalho e Ergonomia. Estas previsões encontram-se na subseção abaixo.

2.1.2 Ergonomia e Segurança na Indústria 4.0

Ao nível teórico-prático, trabalhar em um ambiente Indústria 4.0 deve causar um conjunto de problemas, devido ao tempo e a flexibilidade de espaço e também as ameaças psicológicas ao empregado. Esta nova visão é, assim, uma questão mais importante do que ameaças físicas e distúrbios que são causados pela diminuição da necessidade de força muscular, às

vistas de Schwab (2017). Assim sendo, algumas tecnologias nas áreas de Ergonomia e Segurança são apontadas por alguns autores como fundamentais para 4.0. Estas estão na Tabela 1.

Tabela 1: Tecnologias na área de ergonomia e segurança

AUTORES	TECNOLÓGICAS	ÁREA	REFLEXOS
LAUDANTE (2017)	Tecnologias Digitais	Ergonomia	Propõe métodos para o design ergonômico de ferramentas, equipamentos e tarefas manuais nos locais de trabalho de uma linha de montagem melhorando a segurança e bem-estar do colaborador.
LAUDETE E CAPUTO F. (2016)	Realidade Aumentada	Ergonomia	Propõe uma plataforma com realidade aumentada para treinar os trabalhadores sobre suas tarefas de montagem, onde está relacionada a eficiência, o desempenho do trabalho a ergonomia.
LASI ET AL (2014)	Sistemas Ciber Físicos	Ergonomia	O nível físico e o digital se fundem, abrangendo todo o nível de produção.
MATTEUCCI (2017)	Sensores Digitais	Ergonomia/ Segurança	Propõe designer de ergonomia virtual que permite a verificar problemas relacionadas às posturas do operador de produção aumentando sua segurança
CAPUTO (2018)	Realidade virtual Ergonomia virtual	Ergonomia	Propõe um método de virtualização e simulação para a ergonomia em locais de trabalho em linhas de montagem automotiva.
LAUDANTE (2017)	Realidade Virtual	Segurança	Simula os de postos de trabalho para maior segurança;
ZHONG ET AL (2017)	Ferramenta adaptativa de Avaliação de risco	Segurança	Avaliação de risco mais rápida e eficiente que difere da avaliação de risco padrão, que pode exigir testes completos de nano materiais.
ZHONG ET AL (2017)	Realidade Aumentada	Segurança	Treinamento de segurança para garantir um ambiente de trabalho seguro.
ZHONG ET AL (2017)	Inteligência Artificial	Segurança	Treinamento de segurança para garantir um ambiente de trabalho seguro.
GASOVÁ ET AL (2017)	Aplicativo	Ergonomia Segurança	Desenvolvimento de um aplicativo que realiza a análise ergonomia e de segurança no posto de trabalho

Fonte: Autora (2020)

A Figura 1 indica tecnologias sugeridas e implantadas em fábricas descritas por pesquisadores das áreas de segurança e ergonomia. Enfatizam, assim, o papel dos Ergonomistas e dos Engenheiros na concepção e na operação de novos sistemas e processos, ao passo que estes reduzem riscos nos postos de trabalho bem como diminuem os efeitos indesejáveis trazidos pela Indústria 4.0. Estes profissionais, deste modo, diminuem os problemas associados com o uso de cooperador e interações próximas dos trabalhos com tarefas difíceis e perigosas.

Destaca-se, a partir de seu entendimento, a importância de desenvolver sistema consciente da segurança ao se reconhecer ações que possam causar ferimentos ou ameaçar a segurança do trabalhador. Desta forma, para uma interação segura e eficaz, às vistas da Tabela 1, os sistemas 4.0 devem estar equipados com programas complexos que lhes permitam raciocinar e compreender as intenções dos trabalhadores nas suas complexidades e proximidades. Embora

seja uma área de atuação importante dentro da 4ª Revolução, ainda necessita de amparo humano para identificar as problemáticas matemático-estatísticas trazidas através dos programas mencionados.

Frente a tais percepções, nota-se que a Quarta Revolução Industrial traz novos métodos de ferramentas Ergonômicas, que são conhecidos como um novo modo de produção, que tem como fundamento técnicas ergonômicas que buscam saúde, bem-estar humano e funcional social do empregado. Este novo modelo forma-se a partir da fabricação e inovação, pelo uso de tecnologias digitais processo, que implicam diretamente numa hibridização entre o mundo físico e o mundo virtual, cuja centralidade é representada pela evolução do mundo da produção (LAUDANTE, 2017). Outrossim, o novo modelo de proposição da Indústria 4.0 não utiliza o virtual em suas atividades, mas torna essencial e obrigatório o uso desta esfera que as atividades econômicas possam ser otimizadas e responsabilmente sustentáveis.

Na Indústria 4.0, ainda, a Ergonomia é aplicada e trabalhada na visão da Segurança e eficiência do trabalhador, através de sistemas *cyber físicos*, no qual o nível físico e o digital se fundem, abrangendo todas etapas de produção, os produtos, maquinários, pessoais envolvidos e, até mesmo, estratégias de mercado, marketing e relacionamento com cliente. Tudo é conectado e observado, a partir de dados qualitativos e quantitativos.

Um exemplo classicista desta aplicação é a manutenção preventiva: os parâmetros do processo (tensão, tempo produtivo, etc.) dos componentes mecânicos subjacentes a um desgaste (físico) são registrados digitalmente. A condição real do sistema resulta do objeto físico e de seus parâmetros de processo digital (LASI et. al., 2014). Com estes dados, definem-se os resultados, os riscos, os potenciais humanos envolvidos e todos os projetos necessários para adequação e máxima eficácia do sistema de produção de uma indústria. A análise é setorizada e globalizada, ao mesmo tempo, e a Ergonomia é multidisciplinar.

A partir destes entendimentos da Indústria 4.0, a Ergonomia convencional passa a ser vista como a consequência natural das tecnologias desenvolvidas dentro da Indústria 4.0, sendo descrita como “ergonomia virtual”, e representa para empresas uma chance de novos e aprimorados locais de trabalho, reduzindo drasticamente intervenções corretivas extremas. Esse novo aspecto indicado para procedimentos de produtos em um ambiente industrial típico, sobretudo, possibilita explorar a realidade virtual tecnológica, aplicando técnicas da ergonomia convencional, o que resulta em uma abordagem que permite realizar análises e testes de forma simulada no ambiente de trabalho, dando possibilidade de antecipar futuros problemas e a solução do mesmo, satisfazendo em particular fases iniciais de um novo projeto de industrialização de processos (CAPUTO et. al., 2018).

Seu objetivo aplicado na indústria é voltado para produção, visando reduzir o consumo de recursos, esforços para com o trabalhador e seu espaço de trabalho, afinal, às vistas dos teóricos da área, são os recursos com maior probabilidade de causa ineficiência e incapacidade física e/ou cognitiva que resultam em problemas para as instituições e todos os associados que cercam esta. Desta forma, a Ergonomia é reconhecida como fator-chave para o gerenciamento de segurança, riscos e controle de fatores que envolvam homem-máquina-sistema dentro da indústria, implica diretamente na determinação da postura empresarial, da realização de trabalhos repetitivos e da saúde do trabalhador.

Seu gerenciamento resulta, deste modo, em melhor eficiência no controle de acidentes como num aumento do bem-estar psicossocial dos trabalhadores, tendo como consequência rendimento melhora nas produções empresariais e aumentos nos processos de DRE e BP que são fundados a fim de cada exercício (MATTEUCCI et. al., 2017).

Os projetos ergonômicos, todavia, não focam somente nas atividades naturais próprias dos indivíduos, mas também em todo o sistema estrutural que cerca estes afazeres; sendo assim, segundo Laudante (2017), é notável que há projetos ergonômicos voltados para o design de postos de trabalhos, onde sua contribuição é baseada em uma abordagem multidisciplinar integrando diferentes habilidades/conhecimentos de campos distantes, tão quanto a Ergonomia, na Indústria 4.0 traz novas perspectivas de link entre usuário, indústria, fornecedores e parceiros e trabalhadores, detectando, compreendendo e entendendo as necessidades (políticas, econômicas, físicas, estruturais e psicossociais) de cada um destes.

No campo do design, em propriedade, o uso de tecnologia avançada oferece uma ferramenta inovadora, que possibilita definir e/ou projetar equipamentos, ferramentas e estações de trabalho manuais, sempre através do sistema ergonômico; nos quais, através da realidade virtual, os métodos de design permitem estabelecer um *link* direto com o usuário, detectando e compreendendo suas necessidades e impactos possíveis à sua execução (LAUDANTE, 2017). Assim, a Ergonomia no design também assume função social dentro da instituição.

Essas abordagens da Ergonomia e Segurança do Trabalho, na Indústria 4.0, conseguem garantir soluções simultâneas de informações rápidas e práticas em locais de trabalho industrial, conferindo um lugar confiável, seguro e confortável na avaliação ergonômica, pois através de um ambiente virtual, as atividades empresariais são fundamentadas para melhorar a organização e segurança do trabalho e reduzir o tempo e os custos, especialmente no início da fase de produção. Essas simulações virtuais de tarefas operacionais fornecem um alto número de dados, útil para avaliações preventivas dos índices ergonômicos, segundo os quais, os locais de trabalho podem ser projetados eficientemente (CAPUTO et al., 2018).

Mostra-se que o alinhamento entre a 4ª Revolução Industrial e a Ergonomia e Segurança do Trabalho, portanto, traz benefícios não somente locais, mas financeiro-econômicos e conjunturais para as organizações de trabalho e industrialização (CAPUTO et. al., 2018).

Entretanto, ocorre entender também a necessidade de abordar uma nova estratégia de segurança no local de trabalho, que pode ser definida como um plano de ação para atingir os objetivos dessa revolução, preocupação que não é exclusiva da Indústria 4.0 (STOLZER; GOGGLIA, 2016). Isto é, existem de fato as ferramentas, mas há necessidade de alinhamento institucional para criar Planos Estratégicos de Desenvolvimento que busquem tarefas, objetivos e práticas empresariais que definem as novas políticas de Segurança do Trabalho e Ergonomia em tempo real, a partir das informações cedidas pelos sistemas da 4ª Revolução Industrial. Afinal, na esfera da Indústria 4.0, a força de trabalho tão qualificada quanto cognitiva, pois é necessário mais do esforço de natureza mental do que a força do trabalho físico, já que fábricas inteligentes como a Indústria 4.0 se tornam mais dominantes.

Essa mudança, baseada em Planejamentos Estratégicos, às vistas de Badri et. al. (2018) deve resultar em alterações recorrentes na saúde e na precaução com a segurança (BADRI et al., 2018) dos indivíduos, melhorando as perspectivas legais, jurídicas e sociais do trabalho, além de reduzir problemas em sistemas de saúde e estimativas de doenças. Desta forma, a automação deve mudar, ao longo da 4ª Revolução, o local de trabalho para ambientes mais seguramente ergonômicos a fim de criar locais sem estresse e mais confortáveis para os funcionários. A busca não é pelo auxílio, mas pela prevenção (ZHONG et. al., 2017).

Além disso, novas ferramentas adaptativas de avaliação de risco, que estão dentro das ferramentas apresentadas na Tabela 1, também utilizam a leitura de informações, que é a incorporação de informações novas e relevantes de substâncias de “origem” análogas, para prever as propriedades das substâncias “alvo”. Isso resulta em uma abordagem de avaliação de risco mais rápida e eficiente que difere da avaliação de risco padrão, que pode exigir testes completos de nano materiais, mesmo que levemente diferentes, levando a custos e atrasos excessivos (ZHONG et al., 2017). Mais uma vez, as ferramentas surgem como processos de auditoria, que fomentam a tomada de decisões em diversas áreas humanas e técnicas nas instituições.

Por fim, como últimos benefícios citados da Indústria 4.0, pode-se entender que medidas de controle existentes podem ser aprimoradas por meio de novas tecnologias, como o uso de realidade aumentada em treinamento de segurança e inteligência artificial, para garantir um ambiente de trabalho seguro, com risco zero para todos os associados com a criação e desenvolvimento de produtos (ZHONG et al., 2017).

Pois bem, frente aos entendimentos aqui salientados, como resultado dessa revolução e utilização de novas tecnologias frente ao processo de 4º Revolução Industrial, devem ser necessários diálogos com várias das partes interessadas a fim introduzir soluções eficazes para as indústrias nesta nova era de atendimento.

Isso quer dizer, sistematicamente, que este processo de mudança deve devolver, nos próximos anos, agências governamentais, profissionais de saúde, trabalhadores, sindicatos e líderes do setor através das fronteiras internacionais (TEIXEIRA; O'BRIEN, 2017), todos com o fundamento de discutir as premissas ideais para a nova fase de industrialização que o globo está vivendo.

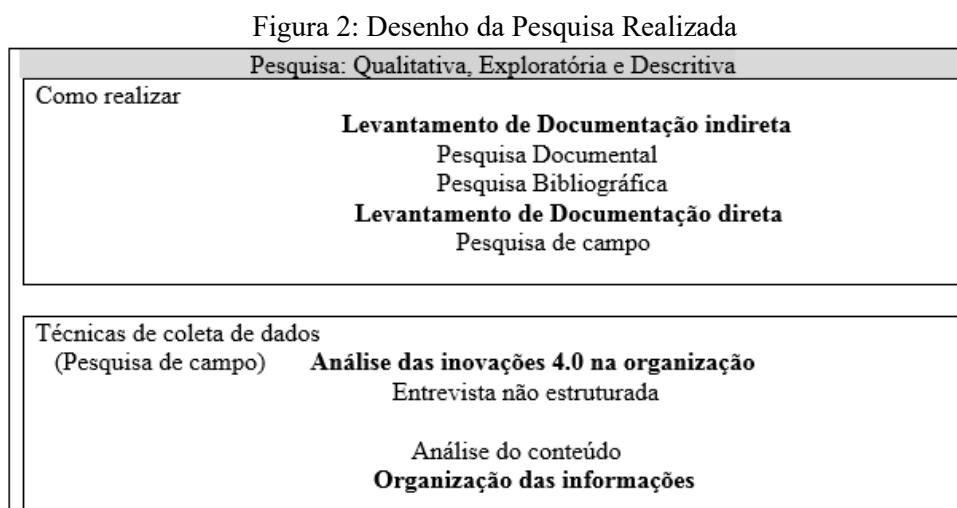
Espera-se, neste campo, que as alterações levem em consideração todo o avanço tecnológico até o momento obtido ao mesmo passo que espelhe a adoção de leis significativas de punibilidade para os casos em que houve imperícia de Segurança e Ergonomia e que as taxas de desenvolvimento acelerem com a difusão deste novo processo sistêmico industrial (REPORT,2019; MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE, 2019; PWC,2019).

Finaliza-se aqui, portanto, a contextualização histórico-teórica sobre os conceitos observados durante a pesquisa realizada. Neste horizonte, a próxima seção apresenta todos os aspectos metodológicos que estão envolvidos com a pesquisa prática e também com o estudo da arte que baseia as análises e discussão da seção posterior. Suas projeções encontram-se no próximo Capítulo.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 DA PESQUISA

O enquadramento metodológico de uma pesquisa é um instrumento importante na caracterização da mesma, fornecendo um formato adequado com base no emprego de métodos e técnicas específicas para obtenção dos dados (RIBEIRO et. al. 2013). Assim sendo, define-se o enquadramento metodológico desse estudo como de uma pesquisa qualitativa, exploratória e descritiva. A Figura 2 apresenta seu enquadramento.



Fonte: Autor (2020) adaptado de Balbinotti (2013)

Frente a tal visualização gráfica, percebe-se que esta pesquisa apresenta-se de natureza descritiva, uma vez que a mesma não tem por finalidade uma utilização prática, mas irá contribuir para o avanço da teoria estudada. E, assim, levando em consideração seus objetivos, pode-se compreender este material acadêmico como uma pesquisa de natureza exploratória, ao possibilitar uma maior familiaridade com o problema, buscando torná-lo mais explícito.

Conceitualmente, as estratégias de pesquisas se referem a maneira pela qual o estudo será conduzido, obtendo-se os dados para análise posterior (RIBEIRO et al., 2013). E nesta pesquisa, estão são divididas entre pessoais e papel. Assim sendo, esta pesquisa envolve duas técnicas, a primeira envolvendo uma estratégia de fonte papel e a segunda utilizando uma estratégia de fonte pessoal, através do levantamento de dados, envolvendo a interrogação de entrevistado-profissional da área de atuação.

Neste horizonte, Ribeiro et al. (2013) destaca que o emprego de mais de uma estratégia de pesquisa é de uso comum e complementar, considerando as várias etapas de uma pesquisa, o que, por consequência, remonta que a pesquisa, em questão, trata de uma pesquisa qualitativa por utilizar métodos explicativos do porquê das coisas, ao tentar detalhar os impactos da indústria, tanto com o auxílio de pesquisa documental quanto de atividade prática de Estudo de Caso, dentro do setor automobilístico.

3.1.1 Caracterização da Indústria 4.0

A partir das premissas iniciais, este modelo de pesquisa seguiu três das cinco etapas propostas por Balbinotti (2013), como demonstra a Figura 3, excluindo as etapas que não coincidem com as atividades prático-teóricas realizadas durante o exercício da pesquisa.

Figura 3: Desenho da Pesquisa Realizada

ETAPAS	DESCRIÇÃO
Etapa 1	Levantamento de documentação Indireta: Pesquisa bibliográfica
Etapa 2	Levantamento de pesquisa Direta: Pesquisa de campo
Etapa 3	Análise e interpretação dos dados.

Fonte: Autor (2020) adaptado de Balbinotti (2013)

Na primeira etapa, realizou-se um levantamento da bibliografia, o qual utilizou-se, para a base teórica desse estudo, artigos e produções científicas encontrados nas seguintes instituições eletrônicas: (a) Web of Science, (b) Scopus, (c) ScienceDirect e (d) Google Scholar.

Dentre estas, Scopus é considerado o banco de dados que apresenta maior número de periódicos, já a ScienceDirect (também pertencente a editora Elsevier), que hospeda os textos completos do conteúdo da editora, também é uma biblioteca com números significativos de periódicos dentro da área deste estudo. Como base, utilizou-se ainda, a WoS, que não fornece artigos que apresentam acesso aberto enquanto Google scholar, por sua vez, além de possuir acesso gratuito, apresenta acesso aberto dos periódicos (FALAGAS et al., 2008). Todas estas foram acessadas previamente à realização deste documento.

As palavras-chave utilizadas foram “*Industry 4.0/fourth revolution*” “*AND*” “*Ergonomic*” “*OR*” “*Job security*”, e foram pesquisadas da mesma forma palavra-chave/operadores lógica em todas as

bases de dados utilizadas. Com base nos resultados, formou-se a concepção sobre a Indústria 4.0, a Ergonomia e a Segurança nas indústrias.

Seguindo, a segunda etapa se baseou em uma pesquisa de campo, com a coleta dos dados por meio de entrevista e levantamentos de documentos junto a um profissional que atua na área de projetos ergonômicos na indústria, especificamente na indústria automobilística.

Já por último, na terceira etapa, ocorreu a análise, interpretação e comparação dos dados da entrevista com nossa pesquisa bibliográfica indireta, remontando os resultados propriamente ditos apresentados durante as discussões desta dissertação. Para melhora fundamentação metodológica, na subseção abaixo encontra-se o levantamento formal da pesquisa bibliográfica.

3.1.2 Levantamento da Pesquisa Bibliográfica: Documentação Indireta

O ambiente de pesquisa corresponde a realização em si da pesquisa, em relação ao local onde o pesquisador irá obter seus dados (GIL, 2002). O estudo, assim, realizou-se pelas coletas de dados e pesquisas, documentais e bibliográficas, e o levantamento dos dados aconteceu de forma:

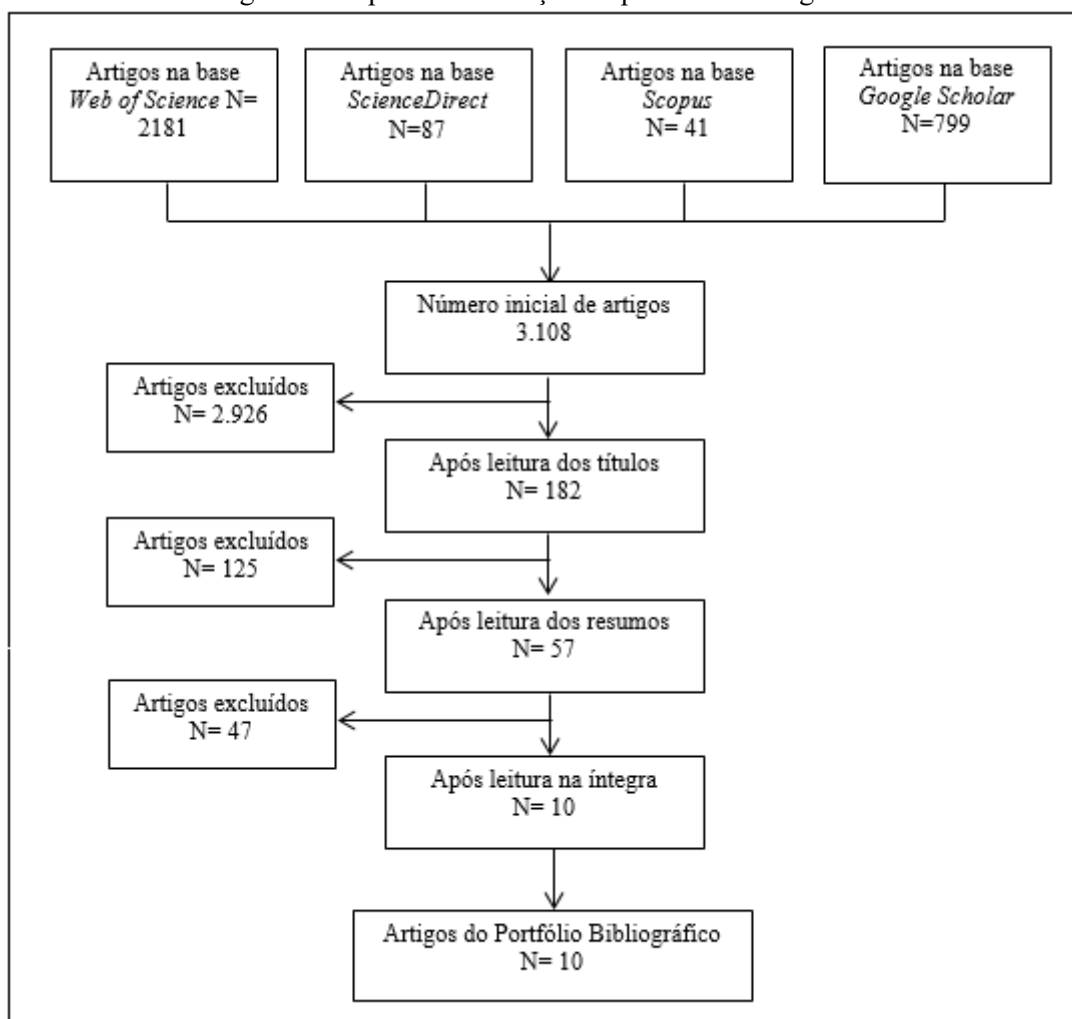
- Pesquisa documental: segundo Lakatos e Marconi (2001), esse tipo de pesquisa é uma coleta de fontes primárias, caracterizada por documentos escritos ou não da instituição estudada. Alguns documentos foram apresentados em buscas online sobre a organização e outros apresentados ou apenas falado de sua existência; esses foram analisados e apresentados em forma de imagens e quadros na análise dos resultados. Alguns dados documentais não foram apresentados nessa pesquisa por serem, ainda, confidenciais.
- Pesquisa bibliográfica: utilizou-se levantamento indireto em pesquisas bibliográficas nas bases já especificadas, entre os anos de 2010-2018. Com isso, foram encontrados 3.108 artigos, sendo 87 publicações na base ScienceDirect, 2181 publicações da base de dados Web of Science, 41 resultados na Scopus e 799 publicações na base de dados Google scholar. Realizou-se um procedimento de filtragem e ficaram definições os artigos estudados.

Pois bem, para o gerenciamento destas publicações, os artigos obtidos nas bases de dados utilizadas foram filtrados, inicialmente, pela leitura do título das 3.108 publicações, onde foram descartados os artigos em que o título não indicava os efeitos da Ergonomia na Segurança do trabalho frente à 4.0, restando 182 trabalhos para a próxima fase analítica. Por consequência, a etapa seguinte consistiu, inicialmente, a leitura dos resumos dos 182 estudos, que conforme o

critério de seleção da fase, permitiu a exclusão das publicações que não estivessem alinhadas com a temática de estudo aqui realizada.

Destes, então, 57 artigos foram escolhidos, e os mesmos foram lidos na íntegra para verificar seu enquadramento na proposta estabelecida. Desta forma, foram mantidos dez artigos, os quais realmente abordavam o problema de pesquisa. A Tabela 2 apresenta seus resultados.

Figura 4: Etapas de construção do portfólio bibliográfico



Fonte: Autor (2020)

O resulta automático, fundamental e objetivo desta pesquisa é apresentado durante as produções da Tabela 2, localizada abaixo. Esta tabela elenca os títulos dos projetos, quais seus autores, o ano de publicação e a quantidade de citações que foram retirados destes para a realização deste documento ou que foram observadas para formação de teoria.

Sua produção gráfico-teórica encontra-se na próxima página.

Tabela 2: Artigos de referência para a pesquisa

TÍTULO DO ARTIGO	AUTORES	ANO	CITAÇÕES
Advanced industrial tools of ergonomics based on Industry 4.0;	Gasová M. Gasó M. Stefanik A.	2017	20
Benchmarking of tools for User experience analysis in Industry 4.0;	Peruzzini M. Grandi F. Pellicciari M.	2017	10
Context related information provision in Industry 4.0 environments ;	Unger H. Börner F. Müller E.	2018	5
Design and digital manufacturing: an ergonomic approach for Industry 4.0;	Laudante E. Caputo F.	2016	2
Human-centered design of assistance systems for production planning and control;	Nelles J. Kuz S. Mertens A. Schlick MS.	2016	29
Human-machine-interaction in the Industry 4.0 Era ;	Gorecky D. Schmitt M. Loskyll M. Zühlke D.	2014	313
Indústria 4.0: desafios e oportunidades;	Santos BP. Alberto A. Lima TDFM. Santos C.	2018	5
Industry 4.0, innovation and design. A new approach for ergonomic analysis in manufacturing system ;	Laudete E. Caputo F.	2017	15
Preventive ergonomic approach based on virtual and immersive reality;	Caputo F. Greco A. Amato E. Notaro I. Spada S.	2017	12
Tangible augmented reality model to support manual assembly;	Matteucci M. Raponi D. Mengoni M. Peruzzini M.	2017	1

Fonte: Autor (2020)

Esta análise dos artigos envolveu as principais características do método e sua aplicação em Indústrias 4.0, condicionando a Ergonomia e Segurança como fatores essenciais de análise. Os dez artigos selecionados deram a base bibliográfica desse estudo e foram utilizadas nas comparações com a entrevista a campo.

3.1.3 Levantamento da Documentação Direta: Pesquisa de Campo

Nesse estudo, utilizou-se pesquisa de campo, pois esta não busca resultados universalizados, e sim elementos reais de como ocorrem as inovações da tecnologia 4.0 na organização

estudada. Neste horizonte, Severino (2007, p.121) alerta que “dados devem ser coletados e registrados com o necessário rigor e seguindo todos os procedimentos da pesquisa de campo. Devem ser trabalhados, mediante análise rigorosa e apresentados em relatórios qualificados”.

Já no que tange a entrevista realizada, segundo Gil (1999), é uma técnica muito utilizada no meio social, pois obtém informações acerca do que as pessoas sabem, desejam e esperam. E, assim, a abordagem dessa pesquisa aconteceu por meio de uma entrevista, relatando perspectivas e visão da Indústria 4.0 e buscando caracterizar os impactos na Ergonomia e Segurança do Trabalho. A estrutura de formação está apresenta abaixo:

- Definição da amostra: a entrevista aconteceu com o diretor de uma indústria multinacional automobilística, um expert responsável da área de projetos;
- Realização da entrevista: a entrevista foi realizada no mês de novembro de 2019, com o expert Doutor em Ergonomia, *sociotechnical* & HSEE de uma indústria multinacional automobilística. Na entrevista, inicialmente foi abordado as bases do estudo da pesquisa, e logo após se questionou como a quarta revolução afeta a indústria, quais as perspectivas para o futuro, o que está sendo realizado na indústria. O registro foi feito por meio de um gravador de voz;
- Descrição dos dados: os tratamentos dos dados foram transcritos, e as informações foram enquadradas em categorias de análise e interpretação dos dados. Após a descrição, realizou-se a análise e interpretação dos dados qualitativos;
- Instrumento de coleta de dados: a entrevista aconteceu de maneira individual, utilizando uma condução não estruturada, contudo, com pontuações para se manter o foco e duração de 40 a 60 minutos.

A partir destas previsões metodológicas, e também dos dados levantados na pesquisa bibliográfica acessórias, abaixo fica expresso o modelo de análise e interpretação dos dados coletados a partir deste estudo, considerando as vertentes objetivas e subjetivas.

3.1.4 Análise e Interpretação dos Dados

Segundo Boyd (1987), a abordagem qualitativa, busca a percepção de fenômenos dentro de contextos, captação de aparência e essência, explicando as origens, relações e mudanças, intuindo ainda possíveis consequências. Desta forma, foi selecionada como modelo central de análise dos dados realizados. Na mesma perspectiva conceitual, Gil (199) afirma ainda que esta

abordar acaba por investigar questões relacionadas ao fenômeno, com contato direto, percebendo sua individualidade e significados múltiplos das leituras realizadas e/ou das pesquisas de campo auferidas.

Dessa forma, estipulou-se, primariamente, a realização de uma análise metódica com busca nos fundamentos subjetivos e objetivos, tanto do entrevistado na pesquisa de campo que fora realizada quanto das produções acadêmicas consultadas para a realização da problemática desta temática.

A tal inferência, a partir da visão da indústria, obtida dentro dos pontos levantados sobre os reflexos das inovações na pesquisa prática, foi realizada um confronto dos dados obtidos e apontados pelos autores dos artigos selecionados no portfólio de pesquisa bibliográfica. Assim, a busca principal foi por entender se os aspectos teóricos levantados pela comunidade científica da área, de fato, têm aplicabilidade dentro do campo prático de análise.

Dessa forma, iniciou-se a análise pontuando sobre as inovações, de modo geral, em pesquisa ou instaladas na indústria automobilística, e logo após se discutiu que tipos de inovações que já estão sendo desenvolvidas na ergonomia e segurança. Nessa etapa, ainda, os dados foram tratados e discutidos conforme levantamento detalhado anteriormente, e logo após foram analisados, descritos, e verificado se outras organizações dos artigos filtrados também possuíam as mesmas aplicabilidades levantadas para a área de Ergonomia e Segurança, objetivo central legitimado neste documento dissertativo.

Assim sendo, os resultados e as discussões que tangem a temática são apresentados durante o próximo capítulo, correlacionado nas páginas seguintes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Buscando levantar o que os pesquisadores trouxeram após a leitura dos dez artigos do portfólio bibliográfico definido na metodologia, descreveu-se as inovações e seus reflexos nas áreas de Ergonomia e Segurança na concepção desses; e logo após, cada sessão descreve os reflexos sentidos pela indústria através da entrevista – estudo de campo, também indicada na metodologia. Por fim, neste âmbito de resultados e discussões, o item 4.3 analisa o conjunto de dados que foram levantados sobre a temática.

Abaixo, para início da discussão, apresentam-se as novas tecnológicas desenvolvidas na Indústria 4.0 e no processo de 4ª Revolução Industrial, que fomentam as bases de qualidade do novo sistema em ampliação no globo.

4.1 NOVAS TECNOLOGIAS E A ERGONOMIA E SEGURANÇA

A integração dos computadores com as fábricas surgiu há anos atrás, colocando a tecnologia fabril em primeiro plano. Contudo, a tentativa de tornar as fábricas não povoadas e totalmente automatizadas não poderia ser realizada em sua totalidade pela ausência de programas ferramentas e projetos que, na implementação da Indústria 4.0, tornam a ocorrer, respondendo as necessidades e premissas do mercado industrial. (NELLES, J., KUZ, S., MERTENS, A., SCHLICK, C., 2014).

Neste horizonte, o setor automotivo não fica longe dessa aplicabilidade, tendo em vista que seu fomento parte dos princípios básicos de produção em massa e também da utilização de ferramentas que reduzam potenciais danos e/ou riscos. Nesta esfera, percebe-se que setor automotivo foi uma das áreas privilegiadas da quarta revolução, ganhando em implementação, inovação e também em novas formas de trabalho, melhorando seus processos e aplicando novas metodologias, com uma visão crucial do ponto de vista ergonômico, que considera a importância da relação homem e máquina.

O pilar central da Indústria 4.0 é o ser humano, seguidos pelos pilares da fábrica virtual e digital. Já na montagem dos veículos, a aplicação da “manufatura digital leva a uma série de passos adiante, principalmente pelo aspecto ergonômico em relação às áreas de trabalho e equipamentos utilizados por um trabalhador” (PERUZZINI et al., 2017, p.809), o que acaba por denotar uma grande necessidade da aplicação da Indústria. 4.0 neste setor.

O trabalhador, na Indústria 4.0, tem, como função principal, decidir a estratégia de produção e supervisionar sua implantação nos processos autoorganizados, processos de decisão e processos de monitoramento que podem ser executados e utilizados em uma infinidade de complexos de produção, desde local estacionário de trabalho até campos remotos (GO-RECKY et. al. (2017); assim sendo, a Indústria 4.0 faz uma união entre as competências e seguranças do empregado e as atividades, potenciais e realizações da máquina. Não exclui um nem o outro, apenas unifica-os como organismos mutualistas.

Assim, Santos et. al. (2018) ressaltam que as organizações devem utilizar os colaboradores da forma mais otimizada e segura possível para que estes fomentem suas habilidades e utilizem as máquinas para tarefas monótonas, repetitivas sem correr o risco ergonômico direto, e sem realizar, diretamente, as atividades desempenhadas por estes maquinários.

Como equipamentos que fazem essa mesclagem entre trabalho humano e aspectos maquinários, Chen et. al. (2017) apud Santos et. al. (2018) afirma que as impressoras 3D são tecnologias novas que facilitam a realização de produtos industriais, eliminando a quantidade excessiva de estoque e potencializando o ganho logístico e operacional.

Assim sendo, são ferramentas da Indústria 4.0 que substituem peças que causa problemáticas na Ergonomia e Segurança do empregado tão quanto aumentam o potencial de mercado e resultado as instituições empresárias.

No mesmo campo de análise, Deloitte (2015), descreve que o processo de impressão 3D enfrenta algumas limitações, ainda resistentes, como de materiais, custo de produção e tamanho de produto fabricado limitado, se comparado com a produção tradicional; e isso pode ser uma desvantagem ainda. Mas, ao superar estes obstáculos, o autor ressalta que as organizações devem contar com movimentos político-econômicos jamais presenciados até então.

Tudo deve-se, ainda, a estabilidade das comunicações entre setores e da melhora de componentes tecnológicos para melhor apreciar a Indústria 4.0 frente a Impressão 3D.

Frente as fábricas de automação, propriamente dita, na Indústria 4.0, a tendência atual é a troca de dados em tecnologias de informação, e inclui o uso dos sistemas ciber-físicos (CPS), Internet das Coisas (IoT) e computação em nuvem, buscando criar a chamada “Fábrica Inteligente”, que realiza processos massificações, sem altos e degradantes riscos de Ergonomia e Segurança para todos os associados com a produção (GORECKY et al., 2017). Nessas fabricas, os sistemas ciber-físicos monitoram os processos físicos, criando uma cópia virtual do mundo físico, sendo possível tomar decisões baseadas nas coletas e análise de dados, além de formular ferramentas a partir de Impressões 3D (GORECKY et. al., 2017).

Com isso, nesta indústria automotiva, pode-se prever que, num futuro próximo, o trabalhador deve assumir maior responsabilidade nas áreas operacionais e nas próprias áreas de saúde e contenção ao passo que terá ferramentas digitais que auxiliam no entendimento de riscos e perigos corridos durante o exercício de sua profissão. Não exclusivamente, todavia, seus afazeres serão estes, mas também devem contar com atividades de trabalho mental, motivações físicas, dentre outros (GORECKY et al.,2017), tudo baseado nas expectativas e estatísticas que são geradas a partir das tecnológicas da Indústria 4.0.

Tendo em vista que o trabalho encontrará diversas atividades num futuro próximo, que irá desde o controle de máquinas até a verificação de estratégias de produção, é perceptível que novos campos humanos virtuais serão formados frente a Indústrias 4.0, e estes devem ser avaliados a fim de compreender a relação entre Ergonomia, Segurança e Revolução. Assim sendo, as três próximas subseções abordam, respectivamente, os modelos de tecnologias com maior assume na Indústria 4.0.

4.1.1 Estação Digital

Nos estudos de Peruzzini; Grandi; Pellicciari (2017), verificaram-se experimentos de e Estações Digitais, com o relato de um Estudo de Caso em fabricante global de veículos agrícolas e industriais, onde, na montagem na linha de tratores, ocorre carga de trabalho física e mental. Neste estudo, demonstrou-se um conjunto experimento utilizado em fabricas inteligentes que acaba por media a capacidade física e mental e todo o estresse envolvido, dos profissionais, com as atividades realizadas. Assim, como resultados, “testes experimentais demonstraram que as instalações poderiam ser usadas validamente para monitorar os trabalhadores e fornecer dados relacionados aos fatores humano” (PERUZZINI; GRANDI; PELLICCIARI, 2017. p.808), demonstrando a eficácia das Estações Digitais.

Neste horizonte, afirma-se ainda, no que tange ao aspecto ergonômico dos processos de montagem, que a Ergonomia auxiliou os trabalhadores na realização de suas tarefas, remontando maior facilidade e gasto de tempo menor do que os previstos para as atividades realizadas sem o auxílio dos processos ergonômicos com a Estação Digital. Assim, o estudo definiu que, na área, as principais preocupações da Ergonomia devem ser: “instalação de componentes pesados, instalação frequente de componentes médios a leves, postura de instalação e utilização da mão humana”. Por isso, todos os aspectos devem ser analisados, sabendo que trabalhadores são diferentes, e têm limitações físicas e mentais, com reações diferentes, predefinidas ou não

a partir das situações que vivem em seu ambiente de trabalho (LAUDETE; CAPUTO, 2017). A partir destas visões, percebe-se que as Estações Digitais, dentro do campo da Ergonomia se mostram eficazes nos cuidados extraordinários em instituições de automação. Abaixo, analisa-se tal previsão para a Realidade Virtual.

4.1.2 Realidade Virtual ou Aumentada

Dentro do campo da Indústria 4.0, o objetivo central da Realidade Virtual ou Aumentada é “é conectar a fábrica digital com o sistema de produção real a uma produção virtual” (UNGER; BÖRNER; MÜLLER, 2018, p. 796), isto, é claro, na área ergonômica. Assim, suas atividades podem auxiliar na definição de atividades de excesso de periculosidade tão quanto podem preparar os profissionais para os problemas enfrentados nos projetos indústrias de risco e/ou sem este.

Para atuar com a Realidade Virtual, é necessário entender, de antemão, como ocorre o fluxo de informações e o mapa do processo da área de interesse. Dessa forma, a aquisição de dados é feita, sempre, por meio de entrevistas aos colaboradores do processo, com estes no chão de fábrica, sem necessidade direta de conhecer a produtividade da linha de produção, mas somente os erros da máquina operada.

Pode-se, assim, com o auxílio desta ferramenta, descartar ou reconhecer erros e sinalizá-los em um sistema de softwares, no mesmo momento de execução do colaborador. Tal componente, assim, reduz o alto risco ergonômico nas indústrias automotivas tão quanto em outros polos comerciais industriais (UNGER; BÖRNER; MÜLLER, 2018).

Com a Realidade Virtual, a Ergonomia Física e Cognitiva pode ser avaliada através métodos de simulações, relacionando os resultados em todos os elementos significativos que afetam a produção e desempenho no local de trabalho. Pode criar, dessa forma, relações mútuas entre ergonomia, segurança e riscos e classificar todos estes itens em parâmetros ergonômicos, findando a redução riscos e de lesões, além, é claro, de estimar se as tecnologias estão adequadas e não estão afetando o bem-estar, eficiência e objetivos do trabalhador e da produção (MATTEUCCI et. al., 2017).

A Realidade Virtual e a simulação dos processos são tecnologias de um setor 4.0. Deste modo, colocar o processo de produção em um ambiente virtual é um forte potencial de inovação e uma oportunidade experimentar o mundo virtual de forma realista, afinal, “viver um processo produtivo significa reduzir o tempo e os custos das inspeções relacionadas ao próprio produto

ou ao processo de fabricação” (LAUDETE; CAPUTO, 2017, p. 925). Assim, pode-se concluir que a Realidade Aumentada é útil para aprender sequências de montagem das peças do produto e operações de manutenção, utilizando tecnologias interativas para orientar o trabalhador na montagem do processo (MAT-TEUCCI et. al., 2017); tendo ampla aplicabilidade dentro da visão automotiva industrial.

4.1.3 Sistema Digital 4.0 e Problemas Ergonômicos

Os estudos de Gasová (2017), que compreendem pesquisas realizadas dentro da área da ergonomia na Eslováquia em 2016, verificam, fundamental, a similaridade entre os sistemas de Segurança do Trabalho e a aplicabilidade da Ergonomia na área de logística dos trabalhadores. Assim, os trabalhos levantam que um sistema de “coleta de dados referente à resposta psicofisiológica da carga de trabalhadores, exatamente para monitorar a carga física” (GASOVÁ; GASO; STEFANIK, 2017, p.220) é eficaz para controle das atividades realizadas no processo industrial. Esta coleta de dados é chamada de Sistema Digital, e trata-se de uma ferramenta que pode ser instalada em um *tablet* e ser utilizada em fábricas, possibilitando a avaliação de operações, espaços de trabalho, projeções de novos locais de trabalho e possíveis acidentes e riscos incorridos na Ergonomia Proativa.

Neste aspecto, Laudete & Caputo (2017) afirmam que a Era Digital é vista como uma inovação e mudará todo o cenário industrial “transformando todos os elos da cadeia de produção, levando em consideração todas as suas etapas: da cadeia de suprimentos às operações de manufatura, do marketing aos serviços” (LAUDETE & CAPUTO 2017, p.923), pois tem como objetivo, fundamental, aumentar a produtividade de todos os campos econômicos.

Sabe-se, dentro deste campo de análise, que o fator ergonômico é fundamental em uma organização para se obter melhores condições de trabalho, evitar acidentes e melhorar a eficiência da produção, sendo essa metodologia necessária para garantir a produção fabril e os requisitos da segurança para todos os tipos de operações (MATTEUCCI et al., 2017).

A Indústria 4.0 é representada pela manufatura digital integrada com Realidade Virtual, que integram um conjunto de tecnologias para apoiar a produção. Para a Ergonomia, esse aspecto oferece oportunidades para desenvolver postos de trabalhos manuais em cenários virtuais, simulando as tarefas e avaliando os índices ergonômicos do projeto (LAUDETE & CAPUTO, 2017). O campo, mais uma vez, é promissor, resultando em demasiados potenciais industriais e mercadológicos para as instituições empresariais, principalmente da área de automação.

4.1.4 Exoesqueleto

No portfólio de artigos selecionados, não foram encontrados dados sobre os exoesqueletos. Em outras pesquisas, todavia, cabe salientar que, apesar dos avanços recentes no desenvolvimento de exoesqueletos para aplicações industriais, estes não são amplamente adotados pela indústria (LOOZEE et. al., 2016); e, até o momento, não existe uma grande quantidade estudos em exoesqueletos em linhas de montagem (WENKE et. al., 2018). Trata-se de uma temática futura de observação para trabalhos científicos.

4.2 ERGONOMIA E SEGURANÇA NA INDÚSTRIA: ESTUDO DE CAMPO

Buscando identificar o que realmente ocorre nas organizações, dentro do universo do trabalho, foi realizada uma entrevista o responsável pela Ergonomia e Segurança do Trabalho em uma montadora automobilística, um dos principais ramos industriais recorrentes no território brasileiro.

Segundo o entrevistado, na indústria que atua, os trabalhos com a aplicação das inovações da Indústria 4.0, para propor soluções nas áreas absenteísmo, acidentes de trabalho, treinamentos de ergonomia e segurança, com a visão de que a inovação, surgem para preservar os fatores humanos, sejam estes cognitivos ou físicos. Assim, em geral, todas as atividades realizadas dentro desta nova era industrial buscam inovações com discussão a partir das expectativas dos *stakeholders* e dos associados como processo produtivo.

O método utilizado na instituição do entrevistado é o *post'it*, onde as pessoas envolvidas definem os problemas em famílias, depois votam aos problemas que percebem ser os mais prováveis; e dessa forma, no fim do dia, chegam a uma pergunta, como, por exemplo, “como ajudar os colaboradores a evitar erros? Recebendo apropriadamente processos bem desenhados com engajamentos aplicáveis e utilizando as tecnologias?”; ou seja, definem uma problemática para iniciar um estudo. Após terem a problemática definida, pensam em “quem” está mais envolvido na área dessa preocupação, que podem atuar como supervisores, colaboradores ou diretoria. Todos os projetos passam por esse método que é chamado por eles de “desenhar o pensamento”, altamente realizado na Indústria 4.0.

Logo após, ocorrem pesquisas para encontrar a solução para esse problema, que pode ser um *paper*, realidade aumentada, *drones* ou óculos virtuais por exemplo; e assim, fica definido

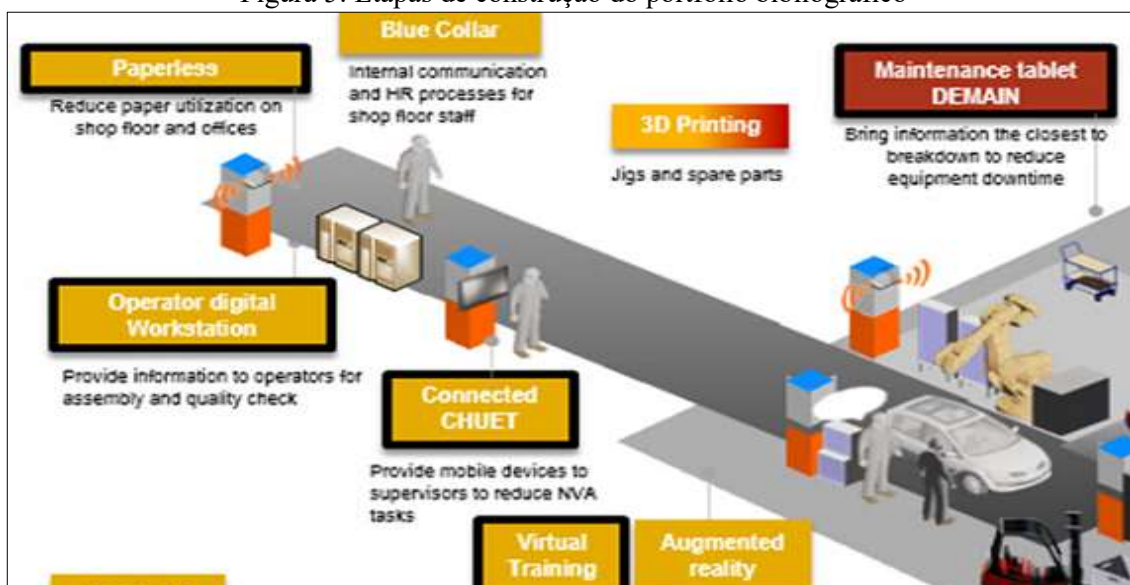
o tipo de tecnologia 4.0 que pode solucionar as problemáticas levantada durante o questionamento, seja esta uma única tecnologia ou um conjunto de tecnologias, graduadas a partir dos seus níveis de uso. Por fim, definida a tecnologia, apresenta-se a solução com um protótipo, que será aplicado em uma fábrica e depois exprime-se este comportamento em outras da instituição, caso ele seja eficiente para a organização como um todo.

Dessa forma, a fábrica irá se projetando e se adequando com as novas tecnologias, mapeando e sinalizando elas do processo; e neste campo, o expert ressaltou que realizar projetos de lógica digital não é fato efêmero que ocorre de uma hora para outra, sendo necessário construir uma governança colaborativa, que definem metas e recursos disponíveis para projetar novas tecnológicas nas instituições.

Ainda segundo o expert, os estudos e aplicações das inovações na indústria são importantes para centrar toda a atenção no operador, ou seja, para diminuir o estresse, o retrabalho, focando este naquilo que agrega valor, prevenindo defeitos através da tendência de uso de robôs colaborativos, manutenções preditivas, realidades virtuais e aumentadas, dentre outros. Para ele, assim, é fundamental a utilização de tecnologias dentro do campo de Segurança do Trabalho e Ergonomia. Na organização em que atua, ainda, segundo entrevistado, é explanada a fábrica do futuro, que é um conceito de como se deseja que a instituição parece nos próximos cenários, considerando os cenários tecnológicos, físicos e estruturais.

A Figura 5 demonstra como isto é desenhado na fábrica.

Figura 5: Etapas de construção do portfólio bibliográfico



Fonte: Autor (2020)

A partir da Figura 5, é perceptível que um símbolo da Indústria 4.0 é a impressora 3D e esta foi descrita pelo expert como uma inovação muito visível, pois algumas peças automobilísticas compradas da Índia em imprevistos com essa aquisição podem ser impressas na fábrica, assim, é uma realidade mais próxima do que se pensa na indústria.

A impressora 3D, possibilita, segundo o entrevistado, entregar pronta resposta a necessidade da fábrica, não necessariamente a peça do carro, pois elas têm questão de especificação, durabilidade, segurança e qualidade, mas uma ou outra peça simples do processo, que, às vezes, necessitaria de importância ou teria um custo elevado para a instituição.

Já os drones também foram descritos pelo entrevistado como uma inovação, pois potencializa a visualização de problemas macroinstitucionais, sem a necessidade de presença humana ou a incorrência riscos graves para os trabalhadores das instituições.

Algumas implantações na fábrica do entrevistado já demonstram resultados visuais, apesar dos dados quantitativos ainda não estarem compilados, além destas duas descritas anteriormente (3D e Drones). Estes resultados são postulados na Figura 6, apresentada abaixo.

Figura 6: Inovações Implementadas na Indústria Automobilística

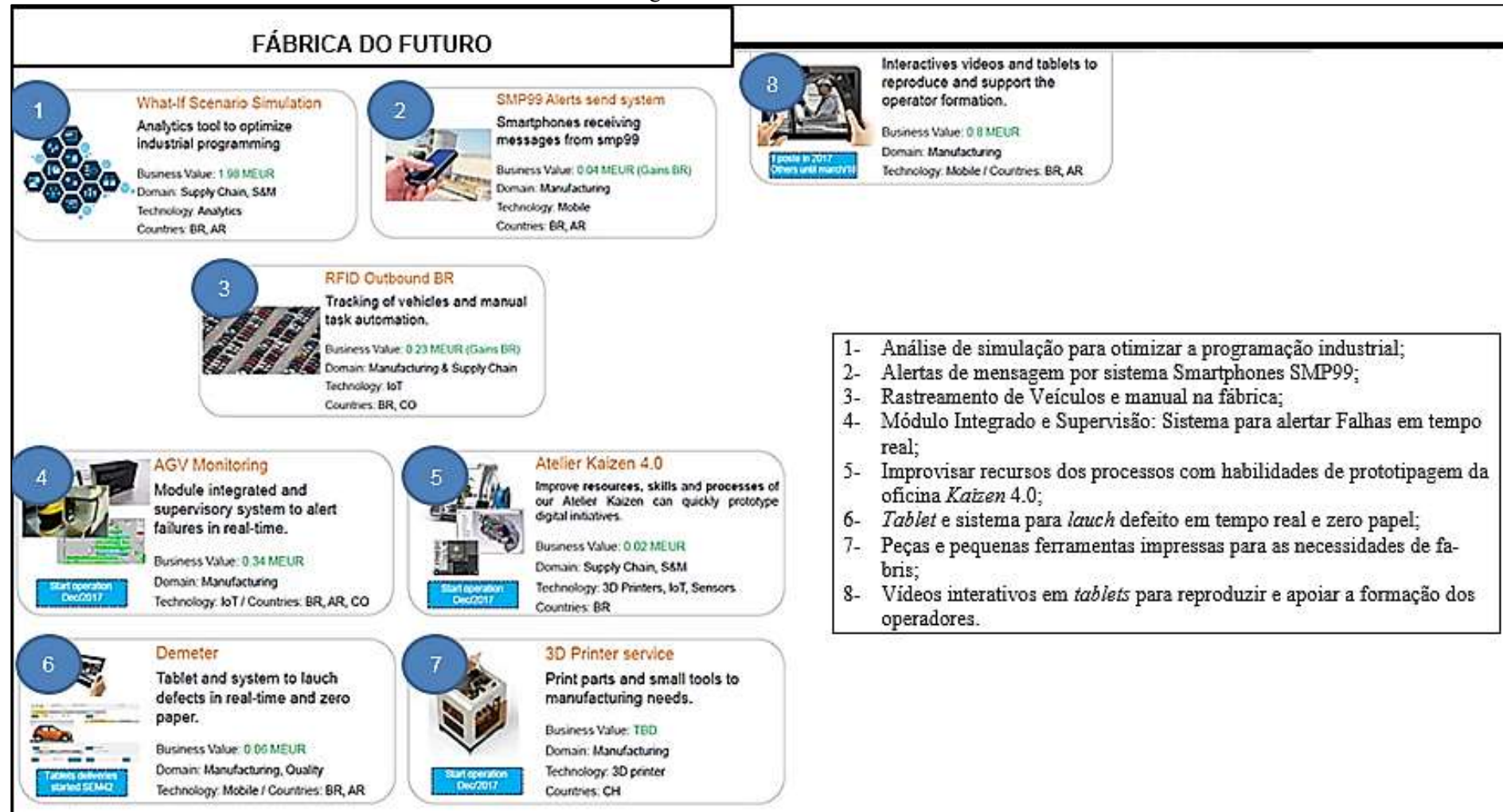
Ferramentas 4.0	Departamentos	Resultados Visuais
Simulação de processo	Toda planta	Visíveis
Informações de dados da estação de trabalho	Acabamento & Chassis	Visíveis
Drones	Toda planta	Visíveis
Realidade virtual	Alguns setores	Visíveis
Manutenção preditiva	Manutenção	Visíveis
Robôs colaborativos	Acabamento & Chassis	Visíveis
Sistema de câmera de visão	Acabamento & Chassis	Visíveis
Exoesqueleto	Alguns postos de trabalho	Visíveis

Fonte: Autor (2020)

Conforme as visões das Figura 6, é perceptível, a partir dos relatos do entrevistado, compreender que a indústria onde este trabalho já está se adequando aos processos da Indústria 4.0 e, principalmente, aos comportamentos ergonômicos e de Segurança de Trabalho esperado para o novo processo histórico da 4ª Revolução Industrial. Estes fatores ficam visíveis na presença, principalmente, do exoesqueleto, fundamento base das produções atuais da 4.0, além, é claro, do uso demasiados de robôs colaborativos (sejam eles inteligências artificiais ou simples projetos eletrônicos), que acabam por fomentar as projeções da instituição nos requisitos de risco, potencial de perda e capacidade de mitigação de problemáticas.

Cabe salientar ainda, por fim, que as simulações de processo, fundamentais para a nova fase industrial, ocorrem em toda a planta da instituição da pesquisa, o remonta uma busca pelo desenvolvimento da Fábrica do Futuro, que conta com processos otimizados e de pouco gasto. E sob tal visão, a Figura 7 apresenta os projetos futuros da instituição.

Figura 7: Fábrica do Futuro



Fonte: Autor (2020)

Segundo a entrevista com o expert da indústria, existem ainda estações de trabalhos digitais onde, em algumas situações, o operador precisa seguir um *checklists* para facilitar essa operação. Pensando nisso, o posto de trabalho foi equipado com óculos digitais que demonstram informações que devem ser verificadas e modos operatórios que precisam ser seguidos. Mesmo assim, pelo aspecto cognitivo, ainda acontecem esquecimentos nessa operação, remontando a importância dos gestores ergonômicos na definição de uma cultura que busca a padronização de condutas na instituição.

Outrossim, para solucionar esse problema, a indústria está trabalhando em um projeto novo, que trata-se de um sistema que irá afrontar o que o operador montou com a instrução de trabalho em tempo real. E neste horizonte, se ocorrer esquecimento, o próprio sistema gerará uma sinalização, antes que o carro siga na linha para a próxima tarefa. E, ainda, se não há tempo ágil de correção do erro, o sistema avisa o operador sobre as tarefas que ele deve realizar, tendo em vista seu esquecimento.

Na indústria do entrevistado, trabalha-se com sete famílias de carros e cada uma tem de trinta a quarenta detalhes específicos que precisam ser diferenciados, e por isso, com esse montante é passível de esquecimento. Esses sistemas digitais tendem a ajudar o operador a reduzir essa carga e a má qualidade do produto final, melhorando o resultado operacional e, até mesmo, a precificação dos objetivos cedidos ao consumidor.

Nessa conformidade com os pesquisadores, segundo o entrevistado da indústria, o sistema digital 4.0 gera relatórios para a Gestão Ergonômica, mas ainda está em fase de desenvolvimento na organização; todavia, com sua implementação completa, espera-se ganhos incríveis com ele na realização matemática-estatística de feitos e em aspectos qualitativos de análise da empresa frente aos processos ocorridos. Atualmente, todavia, não há uma aplicabilidade bastante funcional dentro da instituição, pois sem a concentração de 100% da ferramenta não são possíveis análises precisas.

Já sobre o projeto do exoesqueleto em postos de trabalhos críticos, a proposta completa deste está em estudo na organização, mas já se verificou-se que ele reduz a fadiga muscular, melhorando a composição ergonômica e a saúde dos trabalhos. Na organização, ainda, está em teste um protótipo de ambientes controlados, que possui ajustes que se adaptam ao corpo do operador, utilizando processamento de dados MATLAB 2018 e estatística *Wilcoxon rank sum test*. Nestes testes, verifica-se que o deltoide direito e o trapézio direito tiveram significativa redução de carga muscular, o que motivou o entrevistado para atividades futuras com esta ferramenta da indústria 4.0. Considerando tais aspectos, abaixo análise final de dados.

4.3 ANÁLISES DOS DADOS

Após análise e descrição dos dez artigos do portfólio e da entrevista a campo, sintetizou-se os resultados na Tabela 3, com a aplicação do portfólio em confronto com a indústria, demonstrando as tecnologias utilizadas e as áreas de impactos concluídas.

Tabela 3: Análises dos Reflexos da Indústria 4.0

ESTAÇÕES DIGITAIS	
Aplicação Portfólio	Utilizado para medir a carga física e mental e o nível de estresse mais objetivo em relação às práticas tradicionais;
Aplicação Indústria	O posto de trabalho foi equipado com óculos digitais que demonstram informações que devem ser verificadas e modos operatórios que precisam ser seguidos, para auxiliar o aspecto cognitivo; Análise de simulação para otimizar a programação industrial;
Impacto	Ergonomia Segurança
REALIDADE VIRTUAL	
Aplicação Portfólio	Propõe designer de ergonomia virtual que permite a verificar problemas relacionadas às posturas do operador de produção durante as atividades de trabalho e aumentando sua segurança; Propõe um método de virtualização e simulação de processos para a ergonomia em análise de locais de trabalho em linhas de montagem automotiva; Fornecem uma visão sobre os desafios e oportunidades da indústria 4.0 pontuando seus principais aspectos tecnológicos com simuladores virtuais;
Aplicação Indústria	O sistema enfrenta o que o operador montou com a instrução de trabalho em tempo real, se ocorrer um esquecimento o sistema gerará uma sinalização, isso antes que o carro siga na linha para a próxima tarefa; Vídeos interativos em <i>tablets</i> para reproduzir e apoiar a formação dos operadores;
Impacto	Ergonomia Segurança
REALIDADE AUMENTADA	
Aplicação Portfólio	Propõem uma plataforma com realidade aumentada para treinar os trabalhadores sobre suas tarefas de montagem, onde está relacionada a eficiência, o desempenho do trabalho a ergonomia;
Aplicação Indústria	Simulação de acidente de trabalho em plataforma aumentada que pode ser causando pela tarefa realizada de forma errônea, relatando os cuidados e os EPI'S que devem ser utilizados;
Impacto	Ergonomia Segurança
SISTEMA DIGITAL 4.0 PARA PROBLEMAS ERGONÔMICOS	
Aplicação Portfólio	Descreve o desenvolvimento de um aplicativo e realiza a análise ergonomia e de segurança no posto de trabalho. Propõem métodos para o design ergonômico de ferramentas, equipamentos e tarefas manuais nos locais de trabalho de uma linha de montagem automotiva melhorando a segurança e bem-estar do colaborador; Investigam tecnologias e ferramentas a serem aplicadas no cenário Indústria 4.0 para garantir a bem-estar, segurança e satisfação dos trabalhadores; Propõe soluções para a assistência tecnológica com representações ciber-físicas e suas interações em diferentes interfaces nos postos de trabalho; Envolve o uso de um tablete equipado com um aplicativo compatível com o Indústria 4.0 que realiza um designer de sistemas de assistência para planejamento e controle da produção
Aplicação Indústria	Gera relatórios para a gestão ergonômica, sistema coletará as imagens que gera a análise ergonômica, é uma inteligência artificial aplicada na frequência e duração de cada nível de postura, aplicando RULA e OCRA; Os <i>drones</i> também foram descritos pelo entrevistado como uma inovação podendo utilizar-se de um sistema de visão comparada
Impacto	Ergonomia Segurança
EXOESQUELETO	
Aplicação Portfólio	Não encontrado no portfólio;
Aplicação Indústria	Há um projeto para os postos de trabalhos críticos, já se verificou que ele reduz a fadiga muscular;
Impacto	Ergonomia

Fonte: Autor (2020)

A partir da Tabela 2, verifica-se que, na descrição dos autores, as Estações Digitais se encontram no portfólio NELLES, JOCHEN; KUZ; MERTENS; SCHLICK (2016), onde foram aplicadas na área de Ergonomia, indo em encontro com o Estudo de Campo, que também utilizou dessa tecnologia na linha de montagem para diminuir a carga cognitiva do colaborador.

A Realidade Aumentada foi citada por dois artigos de LAUDETE; CAPUTO (2017) e de UNGER; BÖRNER; MÜLLER (2018), onde fora descrita esta como uma plataforma para treinar os colaboradores, focando, a Ergonomia, em suas tarefas e pontuando aspectos tecnológicos com simuladores virtuais. Já no Estudo de Campo, ela é utilizada para simulação de acidentes e na prevenção dos colaboradores buscando de maior segurança.

A Realidade Virtual foi descrita por três artigos: SANTOS; ALBERTO; LIMA; SANTOS (2018); CAPUTO; GRECO; AMATO; NOTARO; SPADA (2017) e MATTEUCCI; RAPONI; MENGONI; PERUZZI-NI (2017); onde demonstram pontuações sobre tecnologias na área dentro do campo da Ergonomia Física e Organizacional, focando na verificação de problemas de designer ergonômico. No estudo de campo, nesta linha de visão, percebeu-se utilização na Ergonomia Cognitiva, demonstrando em tempo real sinalizações em caso de esquecimento do operador.

Os sistemas digitais encontraram-se descritos em cinco artigos científicos: GASOVÁ; GASO; STEFANIK (2017); PERUZZINI; GRANDI; PELLICCIARI (2017); LAUDANTE; CAPUTO; (2016); NELLES, JOCHEN; KUZ; MERTENS; SCHLICK (2016) e GORECKY; SCHMITT; LOSKYLL; ZÜHLKE (2014).

Estes destacam-se por demonstrarem estudos de sistemas focados na Ergonomia e Segurança na 4.0, apresentando inovações nessas áreas, como a otimização de processos de designer, a redução de potenciais de riscos de acidentes de trabalho envolvendo funcionários e colaboradores, o aumento de investigação científica sobre os requisitos de segurança, a atuação em diferentes postos de trabalhos, ao mesmo tempo e no mesmo espaço geográfico, o uso de tablets como fundamentos para aplicativos de controle de Segurança e Ergonomia, dentre outros aspectos que auxiliam na produção industrial.

Por fim, o exoesqueleto não foi encontrado no portfólio de artigos e no estudo de campo, e percebeu-se que este, ainda, está em estudo e é um projeto, sendo possivelmente uma ferramenta para o futuro das indústrias dentro do campo tecnológico-científico.

Pois bem, a partir de todas as relações teóricas e práticas fundamentas durante esta dissertação, a seção abaixo apresenta as conclusões e considerações finais, remontando os pontos fortes do estudo e as áreas que necessitam de melhor análise, considerando os objetivos e justificativas de realização deste.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste trabalho científico, pode-se perceber que a Quarta Revolução Industrial, ou apenas Indústria 4.0 já está em andamento e os efeitos são percebidos em várias faixas de negócios e empregos. Tal configuração possibilita às organizações implementar planos e estratégias, de modo a alavancar significativamente suas economias, ampliar suas tecnologias e criar efetivas formas de produção e inovação tecnológica; além, é claro, de extrair as melhores possibilidades para cumprir, efetivamente, o fim social do capital, gerando divisas para os investimentos realizados e para os participantes que viabilizam o negócio.

Os objetivos deste estudo que buscaram identificar quais novas tecnologias causam efeitos sobre a ergonomia e segurança, quais são suas influências das novas tecnologias no mundo do trabalho, verificando se os estudos propostos na literatura estão se alinhando com as práticas industriais de implantação das novas inovações e tecnologias. Em termos gerais, estes objetivos foram cumpridos com a busca do portfólio e entrevista com o expert da Indústria 4.0.

A busca bibliográfica possibilitou identificar os autores que abordam o tema Indústria 4.0, Ergonomia e Segurança. A entrevista com o expert em ergonomia pontuou as inovações e reflexos, já visíveis e presentes na indústria automobilística estudada. Na entrevista, percebeu-se que as observações das inovações ainda são uma base de dados em criação e que logo poderá se obter dados quantitativo; e também que isso será de grande contribuição para verificar antes e o depois das novas tecnologias, e os pros e contras de sua utilização. Assim sendo, denotou-se que as pesquisas teóricas e práticas estão em alinhamento.

Os efeitos desta revolução, positivos ou negativos, serão agregados à realidade das organizações por meio da utilização correta das inovações, e isto ficou perceptível ao longo desta dissertação. Respeitando e colaborando com o trabalho humano, a Indústria 4.0 possibilitará, nos próximos anos, que as organizações atinjam potenciais até então não vislumbrados em todos os períodos e revoluções históricas já vividas.

Percebe-se que a tanto na indústria como os relatos dos pesquisadores do portfólio, os estudos e implementações nas áreas de Ergonomia e Segurança são visíveis, mas com poucos dados quantitativos. Os reflexos sentidos na integração homem-máquina demonstram que a parte cognitiva está recebendo mais atenção nos postos de trabalho deixados pelas revoluções anteriores e recorrentes dessa; e assim sendo, as inovações estão sendo implantadas para colaborar e prevenir os riscos ao fator humano. Há, deste modo, previsões práticas para os trabalhos aqui correlacionados.

Nesse sentido, inovações como a impressora 3D, Realidade virtual, Simulação de processo, Sistemas de Realidade Virtual, Drones, Exoesqueleto, Robôs colaborativos e Estações digitais vêm para preservar os fatores humanos, cognitivos e físicos e aumentar os potenciais de ações humanas e indústrias nos processos de formação de produtos e serviços. Assim, nos modelos novos, as pessoas fazem o processo acontecer, todavia, com um auxílio significativo dos componentes tecnológicos. Esta preocupação com o ser humano, a partir das questões históricas, não foi vislumbrada nas outras revoluções.

Por fim, cabe salientar que os pesquisadores demonstram inovações tecnológicas aplicadas nas organizações e também descrevem como a prototipagem se comporta industrialmente, ficando como sugestão novos estudos para enriquecimento desse tema, principalmente no que atenta-se a tecnologia do exoesqueleto, que ainda é pouco estudada e utilizada pelo processo da Indústria 4.0. É importante inovar, mas é preciso analisar, previamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGER, W.K. *Effectiveness of total worker health interventions*. **Journal of Occupational Health Psychology**, v. 20, n.2, p. 226 (2015).
- ANTUNES, Ricardo. As formas contemporâneas de trabalho e a desconstrução dos direitos sociais. In: SILVA, Maria; YASBECK, Maria. **Políticas públicas de trabalho e renda no Brasil contemporâneo**. São Paulo: Cortez; São Luis: FAPEMA. 2006.
- BADRI, Adel; BOUDREAU-TRUDEL, Bryan; SOUISSI, Ahmed Saâdeddine. *Occupational health and safety in the industry 4.0 era: A cause for major concern?* **Safety Science**, v. 109, p. 403-411 (2018).
- BALBINOTTI, Giles. **O gerenciamento dos aspectos humanos nas atividades de projetos de processo produtivo na indústria automotiva**: princípios com abordagem sociotécnica e ergonômica. Tese de doutorado PPGEP/UFSC; Florianópolis, SC, (2013)a.
- BALBINOTTI, Giles. **Uma metodologia de desdobramento das diretrizes para a questão ergonômica: um estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (2003)b.
- BITKOM; VDMA; ZVI. **Implementation strategy industrie 4.0: report on the results of the industrie 4.0 platform**. Alemanha: Frankfurt (2016).
- BOYD, HW; WESTFALL, R. **Pesquisa mercadológica: texto e casos**. 7.Ed. Rio de Janeiro: FGV, 1987.
- BRAVERMAN, Harry. **Trabalho e capital monopolista**. 3.ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1987.
- CAPUTO, Francesco; GRECO, Alessandro; AMATO, Egídio; NOTARO, Immacolata; SPADA, Stefania. **A preventive ergonomic approach based on virtual and immersive reality**. In: **International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics**. Springer: Cham (2018).
- CASTELLS, Manuel. **A Sociedade em Rede**. Tradução de Carlos Nelson Coutinho e Leandro Konder .9 ed. São Paulo: Paz e Terra (2006).
- CHEN, T.; LIN, YC. *Feasibility evaluation and optimization of a smart manufacturing system based on 3d printing: a review*. **International Journal of Intelligent Systems**, [s.l.], v.32, n.4, p.394-413, 2017.
- COELHO, Pedro Miguel Nogueira. **Rumo à Indústria 4.0**. (2016). Dissertação de Mestrado - Curso de Engenharia e Gestão Industrial, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra. Disponível em: <https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/36992/1/Tese%20Pedro%20Coelho%20Rumo%20%C3%A0%20Industria%204.0.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2019.
- COSTA, Achyles Barcelos. Inovações e mudanças na organização industrial. In: **II ENCONTRO DE ECONOMIA DA REGIÃO SUL**, 1999, Curitiba. Porto Alegre: Fee, 2000. p. 2351 Disponível em: <<https://revistas.fee.tche.br/index.php/ensaios/article/view/1971/2351>>. Acesso em: 17 jun. 2019.
- DA COSTA, Cesar. **Indústria 4.0: o futuro da indústria nacional**. POSGERE-Pós-Graduação em Revista/IFSP-Campus São Paulo, v. 1, n. 4, p. 5-14, 2017.

- D'ALVA, Mauro Villa. **Ergonomia industrial: trabalho e transferência de tecnologia** (Ciências Sociais). Curitiba: Ed. Appris (2015).
- DANIELLOU, F. *Le statut de la pratique et des connaissances dans l'intervention ergonomique de conception. Texte d'habilitation à diriger des recherches*. Paris: Université Toulouse Le Mirail (1992).
- DE LOOZE, Michiel; BOSCH, Tim; KRAUSE, Frank; STADLER, Konrad S; O'SUL-LIVAN, Leonard W. *Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load*. **Journal Ergonomics**. Volume 59 (2016)
- DUARTE, F. Complementaridade entre ergonomia e engenharia em projetos industriais. In: DUARTE, Francisco (Org.). **Ergonomia e projeto na indústria de processo contínuo**. Rio de Janeiro: Lucerna (2002).
- FALAGAS, Matthew; PITSOUNI, Eleni; MALIETZIS, George; PAPPAS, Georgios. *Comparison of PubMed, Scopus, web of science, and Google scholar: strengths and weaknesses*. **The FASEB journal**, v. 22, n. 2, p. 338-342 (2008).
- FASTMAN, Brandon; METZGER, Miriam; HARTHORN, Barbara Herr. *Forging New Connections Between Nanoscience and Society in the UCSB Center for Nano-technology in Society Science and Engineering Fellows Program*. In: **Global Perspectives of Nanoscience and Engineering Education**. Springer, Cham (2016). p. 375-393.
- FERREIRA, Fernando Augusto Machado; GUERRA, Hélder António Gonçalves. Os desafios da metrologia por coordenadas nos processos de controlo das especificações dimensionais e geométricas de componentes técnicos, no novo paradigma da Indústria 4.0. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, p. 125-132 (2018).
- GALBRAITH; John Kenneth. *The Great Crash of 1929*. Reprint edition 29-10-2009. Londres: Penguin (2009).
- GARRIGOU, A. Contribuições da ergonomia à prevenção dos riscos profissionais. In: FALZON, Pierre (Org.). **Ergonomia**. São Paulo: Edgar Blücher (2007).
- GARZA, FA. Segurança e prevenção: referências jurídicas e ergonômicas. In: FALZON, Pierre (Org.). **Ergonomia**. São Paulo: Edgar Blücher (2007).
- GASOVÁ, Martin; GASO, Martin; STEFANIK, Andrej. *Advanced Industrial Tools of Ergonomics Based on Industry 4.0 Concept*. **Procedia Engineering**, v.11, p. 796 – 805 (2017).
- GIL, AC. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5.ed. São Paulo: Atlas (1999).
- GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Ed. Atlas (2002).
- GORECKY, Dominic; SCHMITT, Mathias LOSKYLL, Mathias; ZÜHLKE, Detlef. *Human-centered design of assistance systems for production planning and control*, 2014. **IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)**, p. 135-148 (2016).
- GUIMARÃES, LB. **Ergonomia cognitiva**. Porto Alegre: FEEG/UFRGS (2006).
- HÖFLER, Michael. *The Bradford Hill considerations on causality: a counterfactual perspective*. **Emerging themes in epidemiology**, v.2, n. 1, p. 11 (2005).
- HUNT, Emery Kay; SHERMAN, Howard. **História do pensamento Econômico**. Tradução de Jaime Larry Benchimol. 20. ed. Petrópolis: Vozes (2001)

IEA, International Ergonomics Association. *Definition and Domains of Ergonomics*. Disponível em: <https://www.iea.cc/whats/index.html>. Acesso em: 18 jun. 2019.

JEONG, Ho-Won. *Conflict resolution: dynamics, process and structure*. Routledge: 2018.

KHAN, Ateeq; TUROWSKI, Klaus. Perspective on industry 4.0: from challenges to opportunities in production systems. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERNET OF THINGS AND BIG DATA**, 2016a, Roma. Proceedings. IOTBD: Science and Technology Publications (2016).

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina Andrade. **Técnicas de Pesquisa**. São Paulo: Atlas (2001).

LASI, Heiner; FETTKE, Peter; KEMPER, Hans Georg; FELD, Thomas; HOFFMANN, Michael. *Industry 4.0. Business & Information Systems Engineering*, v.6, n.4, p.239-242, (2014).

LAUDANTE, Elena. Industry 4.0, Innovation and Design. *A new approach for ergonomic analysis in manufacturing system*. **The Design Journal**, v. 20, n. sup1, p. S2724-S2734 (2017).

LAUDANTE, Elena; CAPUTO, Francesco. *Design and Digital Manufacturing: an ergonomic approach for Industry 4.0*. In: Systems&design: beyond processes and thinking. **Editorial Universitat Politècnica de València** (2016).

LEE, Jay; KAO, Hung-An; YANG, Shanhu. *Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment*. **Procedia Cirp**, v. 16, p. 3-8 (2014).

LOOZE, Paul; TIM, Bosch; FRANK, Krause; KONRAD, Leonard. *Exoskeletons for Industrial Application and Their Potential Effects on Physical Work Load*. **Ergonomics** 59 (5):671–81, (2016).

MALINE, J. *Simuler le Travail – une aide à la conduite de projet*. ANACT: 1997.

MATTEUCCI; Marco. RAPONI, Damiano; MENGONI, Maura; PERUZZINI, Margherita. *Tangible Augmented Reality Model to Support Manual Assembly*. In: **ASME 2017 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference**. American Society of Mechanical Engineers (2017).

MGI, MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. **Jobs lost, jobs gained: workforce transitions in a time of automation**. Disponível em: https://www.mckinsey.com/~/_/media/mckinsey/featured%20insights/Future%20of%20Organizations/What%20the%20future%20of%20work%20will%20mean%20for%20jobs%20skills%20and%20wages/MGI-Jobs-Lost-Jobs-Gained-Report-December-6-2017.ashx. Acesso em: 21 jun. 2019.

MRUGALSKA, Beata; WYRWYCKA, Magdalena. *Towards Lean Production in Industry 4.0*. **Procedia Engineering**. Volume 182 (2017).

NELLES, J; KUZ, S; MERTENS, A; SCHLICK, C, 2014. *Human-Machine-Interaction in the Industry 4.0*, 2016. In: **IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)**. IEEE, 2099–2104.

O'NEILL, Jim. *Building Better Global Economic Brics*. **Goldman Sachs Global Economics**. n. 66, 30 nov. 2001. Disponível em: <http://www.goldmansachs.com/korea/ideas/brics/building-better-pdf.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2019.

PASQUALOTTO, Adalberto; BUBLITZ, Michelle Dias. Desafios do presente e do futuro para as relações de consumo ante Indústria 4.0 e a economia colaborativa. **Revista de Direito, Globalização e Responsabilidade nas Relações de Consumo**, v. 3, n. 2, p. 62-81 (2017).

PERUZZINI, Margherita; GRANDI, Fabio; PELLICCIARI, Marcello. Benchmarking of Tools for User Experience Analysis in Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v. 11, p. 806-813 (2017).

PWC. **Will robots really steal our jobs? An international analysis of the potential longterm impact of automation**. Disponível em: https://www.pwc.com/hu/hu/kiadvanyok/assets/pdf/impact_of_automation_on_jobs.pdf. Acesso em: 21 jun. 2019.

RAMAZZINI, Bernardino. *De morbis artificum diatriba [diseases of work-ers]*. **American journal of public health**, v. 91, n.9, p. 1380-1382 (2001).

RENAULT. Renault do Brasil. Disponível em: www.renault.com.br. Acesso 02 fev. 2020.

REPORT – **Labor 2030: The Collision of Demographics, Automation and Inequality**. Disponível em: <https://www.bain.com/insights/labor-2030-the-collision-of-demographics-automation-and-inequality/>. Acesso em: 21 jun. 2019.

RIBEIRO, Roberto Rivelino Martins; ESPEJO, Márcia Maria dos Santos Bortolucci; CAMACHO, Reinaldo Rodrigues; MORAES, Romildo de Oliveira. Análise da abordagem metodológica: um estudo das teses e dissertações em contabilidade gerencial. **Contexto**, v. 13, n. 25, (2013).

SANTOS, Beatrice Paiva; ALBERTO, Agostinho; LIMA, Tânia Daniela Felgueiras Miranda; CHARRUA-SANTOS, Fernando Manuel Bigares. INDUSTRY 4.0: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, p. 111-124 (2018).

SCHILL, Anita; CHOSEWOOD, Lewis Casey. *The NIOSH. Total worker health™ program: An overview*. 2013.

SCHULTE, Paul. *Interaction of occupational and personal risk factors in workforce health and safety*. **American journal of public health**, v. 102, n.3, p. 434-448 (2012).

SCHWAB, Klaus Schwab. **A Quarta Revolução Industrial**. São Paulo: Edipro (2016).

SCHWAB, Klaus. **The fourth industrial revolution**. Currency: (2017).

SEVERINO, Antonio Joaquim. Metodologia do Trabalho Científico. São Paulo: Cortez (2007).

SILVA, José Roberto Andrade. Gestão de negócios-planejamento e organização para indústria. **Editora Saraiva** (2018).

SILVA, Juliana Lemos; BERTONCELLO, Dernival. Realidade da adequação de indústrias de médio porte às normas de ergonomia. **Consciência e Saúde**. 9(2), 227-237 (2010)

SOBRAL, Adail Ubirajara; HARVEY, David. Condição pós-moderna. 5 ed. São Paulo: **Edições Loyola**. (1992).

STOLZER, Alan; GOGLIA, John J. *History and Evolution of Safety*. In: Safety Management Systems in Aviation. **Routledge**, 2016. p. 71-96.

TEIXEIRA, Carlos SC; O'BRIEN, Sharon. *Investigating the cognitive ergonomic aspects of translation tools in a workplace setting*. **Translation Spaces**, v.6, n.1, p.79-103 (2017).

UNGER, Hendrik; BÖRNER, Frank; Müller, Egon. Context related information provision in Industry 4.0 environments. **Procedia Manufacturing**, v.192, p.219 – 224 (2017).

VIEIRA, A; BALBINOTTI, G; VIEIRA, L. *Ergonomics and its importance in logistics operations for an automotive industry: atheoretical and practical research on the top-ic*. **INTERNATIONAL CONFERENCE**. On applied human factors and ergonomics-ahfe, 2012. Proceedings. San Francisco, CA – EUA (2012).

WALTERS, David. International developments and their influence on Occupational Health and Safety in advanced market economies. **Occupational Health and Safety: International Influences and the New Epidemics** (2019).

WENKE, R Salatiel, M. H.; BALBINOTTI, G.; SETTI, J. A. P.; OKAMOTO, M. L. R. L.; I. Análises Qualitativas de um Exoesqueleto para Membros Superiores - Primeiras Impressões. **VIII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção**. Ponta Grossa (2018).

WISNER, Alain. Por dentro do trabalho. In: **Ergonomia: método & técnica**. São Paulo: Ed. 2, Oboré (1992).

WÜNSCH, Dolores Sanches. Elementos para uma nova cultura em segurança e saúde no trabalho. **RBSO**, v. 32, n. 115, p. 153-163 (2007).

ZANNI, Alessandro. Sistemas cyber-físicos e cidades inteligentes: Saiba como dispositivos inteligentes, sensores e atuadores estão promovendo o avanço de implementações da Internet of Things. **IBM Developer Works**, p.1-4, 2015.

ZARTE, Maximilian; PECHMANN, Agnes; WERMANN, Jeffrey; GOSEWEHR Frederik; COLOMBO, Armando Walter. Building an Industry 4.0-compliant lab environment to demonstrate connectivity between shop floor and IT levels of an enterprise. Industrial Electronics Society. IECON (2016). **Annual Conference of the IEEE**, p. 23-26 Oct. (2016).

ZHONG, Ray. *Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review*. **Engineering**, v. 3, n. 5, p. 616-630, 2017.