

UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Danilo Franco

MODELO DE APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0
NO SETOR LOGÍSTICO: ESTUDO DE CASOS MÚLTIPLOS EM
EMPRESAS PEQUENAS E MÉDIAS DO SETOR MOVELEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade de Araraquara – UNIARA – como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, Área de Concentração: Gestão Estratégica e Operacional da Produção.

Prof. Dr. João Batista de Camargo Junior
Orientador

Araraquara, SP – Brasil
2021

FICHA CATALOGRÁFICA

F895m Franco, Danilo

Modelo de aplicação de tecnologias da indústria 4.0 no setor logístico: estudo de casos múltiplos em empresas pequenas e médias do setor moveleiro/Danilo Franco. – Araraquara: Universidade de Araraquara, 2021.

127f.

Dissertação (Mestrado) - Mestrado Profissional em Engenharia de Produção – Universidade de Araraquara - UNIARA

Orientador: Prof. Dr. João Batista de Camargo Junior

1. Indústria 4.0. 2. Logística 4.0. 3. Internet das coisas. 4. Computação em Nuvem. 5. Big Data Analytics. 6. Blockchain. 7. Impressão 3D. I. Título.

CDU 62-1

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FRANCO, D. **Modelo de aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 no setor logístico: estudo de casos múltiplos em empresas pequenas e médias do setor moveleiro.** 2021. Número de folhasf. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade de Araraquara, Araraquara-SP.

ATESTADO DE AUTORIA E CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Danilo Franco

TÍTULO DO TRABALHO: Modelo de aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 no setor logístico: estudo de casos múltiplos em empresas pequenas e médias do setor moveleiro.

TIPO DO TRABALHO/ANO: Dissertação / 2021

Conforme LEI Nº 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998, o autor declara ser integralmente responsável pelo conteúdo desta dissertação e concede a Universidade de Araraquara permissão para reproduzi-la, bem como emprestá-la ou ainda vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação pode ser reproduzida sem a sua autorização.



Assinatura Aluno(a)

Danilo Franco

Universidade de Araraquara – UNIARA

Rua Carlos Gomes, 1217, Centro. CEP: 14801–340, Araraquara-SP

Email (do autor): danilo.fr@gmail.com



UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA - UNIARA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade de Araraquara – UNIARA – para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Gestão Estratégica e Operacional da Produção.

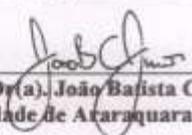
NOME DO AUTOR: **DANILO FRANCO**

TÍTULO DO TRABALHO:

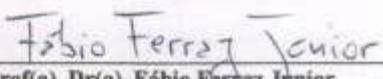
"MODELO DE APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NO SETOR LOGÍSTICO: ESTUDO DE CASOS MÚLTIPLOS EM EMPRESAS PEQUENAS E MÉDIAS DO SETOR MOVELEIRO."

Assinatura do(a) Examinador(a)

Conceito



Prof(a). Dr(a). João Batista Camargo Junior (orientador(a)) (X)Aprovado () Reprovado
Universidade de Araraquara - UNIARA

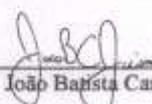


Prof(a). Dr(a). Fábio Ferraz Junior (X)Aprovado () Reprovado
Universidade de Araraquara - UNIARA



Prof(a). Dr(a). Mauro Vivaldini (X)Aprovado () Reprovado
Universidade Paulista - UNIP

Versão definitiva revisada pelo(a) orientador(a) em: 01 / 09 / 2021



Prof(a). Dr(a). João Batista Camargo Junior (orientador(a))

RESUMO

O avanço dos processos industriais ocorre motivado pela alta competitividade de mercado e pela ascensão tecnológica que ocorre de maneira contínua. Neste cenário, destaca-se a evolução conhecida como Indústria 4.0, que corresponde a integração entre todas as partes envolvidas no processo produtivo, o que torna sua implementação bastante complexa. As tecnologias da Indústria 4.0, como *internet* das coisas, computação em nuvem, *big data analytics*, *blockchain* e impressão 3D, quando aplicadas em setores diferentes do produtivo, podem trazer diversas vantagens competitivas. É o que acontece com sua utilização nos processos logísticos, em um conceito denominado de Logística 4.0. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi criar um modelo de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 que possam ser usadas na logística das empresas e identificar as possíveis consequências de seu uso em indústrias de pequeno e médio porte no setor moveleiro. Para atingir esse propósito, foram feitos levantamentos teóricos e realizadas entrevistas com cinco funcionários de cada uma das três empresas objetos do estudo de múltiplos casos. Os dados foram coletados através de entrevistas semiestruturadas e analisados a partir de sua comparação com a literatura. Após a compilação dos resultados as empresas foram classificadas em relação ao seu nível de maturidade tecnológica como Indústria 1.0, 2.0, 3.0 ou 4.0, com base em modelos de maturidade existentes na literatura. Depois, foi criado um modelo de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 nos processos logísticos das empresas analisadas que foi apresentado posteriormente para os funcionários entrevistados na primeira etapa para validação. Os resultados da pesquisa indicam que as possíveis consequências do uso do modelo proposto em indústrias de pequeno e médio porte no setor moveleiro incluem reduções de custos e de processos de gestão de estoques, melhoria nos processos logísticos na produção, reduções de custos operacionais, entregas mais rápidas e com frete reduzido e melhoria na gestão de frotas.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Logística 4.0. *Internet* das Coisas. Computação em Nuvem. *Big Data Analytics*. *Blockchain*. Impressão 3D.

ABSTRACT

The advance of industrial processes occurs motivated by the high competitiveness of the market and by the technological rise that occurs continuously. In this scenario, the evolution known as Industry 4.0 stands out, which corresponds to the integration between all the parties involved in the production process, which makes its implementation quite complex. The technologies of Industry 4.0, such as internet of things, cloud computing, big data analytics, blockchain and 3D printing, when applied in different sectors of the production, can bring several competitive advantages. This is what happens with its use in logistics processes, in a concept called Logistics 4.0. In this context, the objective of this work was to create a model for the application of Industry 4.0 technologies that can be used in the logistics of companies and to identify the possible consequences of their use in small and medium-sized industries in the furniture sector. To achieve this purpose, theoretical surveys were conducted and interviews were conducted with five employees from each of the three companies that are the subject of the multiple case study. Data were collected through semi-structured interviews and analyzed using their comparison with the literature. After compiling the results, companies were classified according to their level of technological maturity as Industry 1.0, 2.0, 3.0 or 4.0, based on existing maturity models in the literature. Then, a model for the application of Industry 4.0 technologies was created in the logistics processes of the companies analyzed, which was later presented to the employees interviewed in the first stage for validation. Research results indicate that the possible consequences of using the proposed model in small and medium-sized industries in furniture sector include reductions in cost and processes for inventory management, improved logistical processes in production, operational cost reductions, fast and with reduced freight deliveries and improved fleet management.

Key-words: *Industry 4.0. Logistics 4.0. Internet of Things. Cloud Computing. Big Data Analytics. Blockchain. 3D Printing.*

Lista de figuras

Figura 1 – Estrutura analítica da dissertação	49
---	----

Lista de quadros

Quadro 1 - Relação dos funcionários entrevistados para a pesquisas.....	51
Quadro 2 - Classificação tecnológica industrial de acordo com cada modelo da literatura.....	63
Quadro 3 – Opinião de cada funcionário sobre qual tecnologia é mais atrativa.....	73
Quadro 4 – Opinião de cada funcionário sobre qual tecnologia é menos atrativa.....	75
Quadro 5 – Modelo Inicial de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 no setor logístico.....	82
Quadro 6 – Modelo Final de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 no setor logístico.....	108

Lista de Abreviaturas e Siglas

ERP – *Enterprise Resource Planning* – Planejamento dos Recursos da Empresa

GPS – *Global Positioning System* – Sistema de Posicionamento Global

MDF – *Medium Density Fiberboard* - placa de fibra de média densidade

MDP – *Medium Density Particleboard* - placa de partículas de média densidade

NFC – *Near Field Communication* – Comunicação por Campo de Proximidade

NRW – *North Rhine-Westphalia*

PCP – Planejamento e Controle de Produção

RFID – *Radio-Frequency IDentification* – Identificação por radiofrequência

SIMMI 4.0 – *System Integration Maturity Model Industry 4.0* – Modelo de maturidade de integração de sistema da Indústria 4.0

TI – Tecnologia da Informação

TIC – Tecnologia de Informação e Comunicação

TMS – *Transportation Management System* – Sistema de Gerenciamento de Transporte

WMS – *Warehouse Management System* – Sistema de Gerenciamento de Armazém

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Contextualização e problemática.....	11
1.2 Objetivo geral	12
1.2.1 Obejtivos específicos.....	12
1.3 Justificativas	13
1.4 Aspectos metodológicos	14
1.5 Estrutura	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Conceitos e definição da Indústria 4.0.....	16
2.1.1 <i>Internet</i> das Coisas	18
2.1.2 Computação em Nuvem	20
2.1.3 <i>Big Data Analytics</i>	22
2.1.4 <i>Blockchain</i>	23
2.1.5 Impressão 3D.....	25
2.2 Processos logísticos da Indústria 4.0 e suas aplicações: a Logística 4.0.....	27
2.2.1 Conceitos e definição da Logística 4.0.....	28
2.2.2 Tecnologias da Indústria 4.0 aplicadas na logística	29
2.3 Indústria 4.0 no setor moveleiro	35
2.3.1 Logística 4.0 no setor moveleiro	39
2.3.2 Modelos de análise de maturidade da aplicação de tecnologias da Indústria 4.0.....	42
3 METODOLOGIA	45
3.1 Classificação metodológica da pesquisa.....	45
3.2 Procedimentos operacionais	46
4 RESULTADOS	53
4.1 Caracterização das empresas	53
4.1.1 Classificação de maturidade do nível tecnológico das empresas	57
4.2 Percepção das empresas quanto a aplicabilidade de tecnologias da Indústria 4.0 nos processos logísticos	64
4.2.1 Indústria 4.0 e possíveis melhorias nos processos logísticos	64
4.2.2 Tecnologias da Indústria 4.0: aplicação e impacto nos processos logísticos	65
4.2.3 Necessidades da empresa em relação aos processos logísticos e modelo de aplicação ..	72
4.3 Modelo de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 nos processos logísticos	79
4.3.1 Verificação do Modelo Inicial.....	98
4.3.2 Modelo Final	105

5 CONCLUSÕES	110
REFERÊNCIAS	116
APÊNDICE A - ROTEIRO DE ENTREVISTA	126

1 INTRODUÇÃO

A velocidade com que as tecnologias se aprimoram e que as empresas se remodelam, aliadas ao conceito de integração da informação em todos os setores, o uso de simulações, computação em nuvem e sensores gerando dados que são analisados em tempo real, são características do início da quarta revolução industrial, conhecida também como Indústria 4.0 (HEIDRICH; FACÓ; REIS, 2017).

O conceito de Indústria 4.0 aborda o uso de ferramentas tecnológicas, com destaque para a *internet* das coisas, computação em nuvem, *Big Data Analytics*, *Blockchain* e impressão 3D (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013; LASI et al., 2014; MOUEF et al., 2017).

A utilização dessas tecnologias e ferramentas torna a Indústria 4.0 um marco por utilizar, dentre outros aspectos, processos de customização, automação e integração de todos os elos da cadeia produtiva, desde fornecedores até o consumidor final (ANDERL, 2014).

De forma resumida, o estágio da Indústria 1.0 (1ª Revolução Industrial) se caracteriza pela invenção da máquina a vapor, com o trabalho evoluindo de braçal para mecânico, o estágio 2.0 com a produção em massa e uso da eletricidade, e o estágio 3.0 com o início da automação, o uso de controladores programáveis e tecnologia de informação (KAGERMANN et al., 2012).

Para Kupfer (2016), um ponto a ser observado se refere a quais as necessidades das empresas atualmente, considerando que a maioria ainda se encontra no estágio 2.0 da Indústria, para se adequarem à implantação da Indústria 4.0.

Neste cenário, observa-se que o uso de tecnologias de maneira integrada em todo o processo produtivo ainda necessita de grandes avanços para um início de implantação. Entretanto, estas ferramentas podem ser utilizadas em setores ou processos específicos, como é o caso do uso das tecnologias da Indústria 4.0 e sua utilização nos processos logísticos das empresas, conceito nomeado de Logística 4.0 (WITKOWSKI, 2017).

A Logística 4.0 baseia-se na troca de informações em tempo real, monitoramento de transporte através de sensores, controle de *softwares* de gestão de estoque em nuvem, dentre outras tecnologias atuando de maneira instantânea, para que a informação esteja disponível em tempo real e de maneira remota, expandindo o conceito de logística para novos modelos industriais (WANG, 2016; STRANDHAGEN et al., 2017).

Com a possibilidade de usar as tecnologias da Indústria 4.0 nos processos logísticos de uma empresa, o impacto nas operações pode ser significativo, pois a logística influi diretamente

em todos os processos industriais, desde a chegada da matéria-prima, passando pela movimentação interna, até a distribuição do produto final (DREES, 2016).

Concomitantemente, o setor moveleiro tem se demonstrado relevante no ambiente competitivo nacional. Composto majoritariamente por pequenas e médias empresas, ele representa mais de 20 mil empresas, empregando formalmente mais de 200 mil funcionários (BRASIL, 2017).

Entretanto, as indústrias moveleiras no Brasil sofrem muita pressão no mercado interno e externo. Desde 2012 as exportações apresentam redução ano após ano, reduzindo cerca de 50% o volume outrora exportado. Isso se deve a participação e fortalecimento de outros *players* no mercado, com destaque para a produção em países asiáticos, principalmente da China, líder absoluta no setor (NAÇÕES UNIDAS, 2018).

Com a aplicação de novas tecnologias e sistemas produtivos, a indústria moveleira apresentou melhorias principalmente no atendimento às necessidades dos clientes. Se antes a produção em massa era predominante, hoje o crescimento de móveis personalizados evidencia uma nova demanda e também a tendência das empresas brasileiras a se adequarem a este cenário (SPEROTTO, 2018).

Assim, o setor moveleiro foi escolhido como foco de pesquisa por ser extremamente competitivo, sendo relevante identificar os possíveis benefícios desta evolução. No ramo moveleiro o uso de tecnologias na logística pode significar uma vantagem de mercado ou mesmo uma tendência inevitável (WANG; HE; XU, 2016).

1.1 Contextualização e problemática

A rápida evolução da tecnologia caminha para a integração de tecnologias diversas que envolvem a automação, customização, captura e análise de dados em tempo real: a chamada Indústria 4.0. Os principais conceitos da Indústria 4.0 são o uso de tecnologias que permitam sistemas integrados entre todos os envolvidos na fabricação e comercialização de um produto, processos automatizados, customização de produtos e tomada de decisões realizadas com auxílio de inteligência artificial (RODRIGUES; JESUS; SCHÜTZER, 2016).

Esse é um conceito ainda pouco explorado na prática devido à complexidade de seus fatores. Porém as tecnologias que caracterizam o conceito da Indústria 4.0 já existem e são utilizadas pelas empresas, e podem ser aplicadas em diversos processos como, por exemplo, nos processos logísticos (STRANDHAGEN, 2017).

O conceito de Indústria 4.0 é um tema bastante difundido, apesar da relativamente baixa aplicação prática. Porém, quando aplicado, é direcionado às áreas de manufatura, robótica e

operações industriais (THOBEN; WIESNER; WUEST, 2017). Já em relação à logística, o tema sobre o uso das tecnologias emergentes que compõem a Indústria 4.0 aplicadas nos processos logísticos e quais impactos do uso destas tecnologias nestes processos em diferentes modelos industriais é pouco explorado (PFOHL; YAHSI; KUZNAZ, 2015).

Com o setor moveleiro caracterizado pela presença predominante de micro e pequenas empresas, devido ao processo produtivo ser relativamente bem difundido, com baixa complexidade de implementação e com tecnologias no processo produtivo bem conhecidas, os recursos para o investimento inicial não são consideravelmente elevados. Porém, com a alta competitividade, com destaque para o mercado chinês que interfere no mercado internacional, e a competição também no mercado interno, a indústria moveleira brasileira precisa se adequar para melhorar sua competitividade neste cenário (COSTA; HENKIN, 2012; FAUTH; SPEROTTO, 2013).

Essas melhorias podem vir atreladas a melhorias nos processos logísticos através dos benefícios que as tecnologias da Indústria 4.0 podem proporcionar, como otimização dos processos produtivos, personalização de produtos, redução de custo e de tempo em geral. Com a possibilidade de evoluir os processos logísticos da empresa de forma independente dos processos produtivos, as pequenas e médias empresas têm a possibilidade de introduzir estas tecnologias na logística e incrementar sua força de atuação no mercado interno e externo (WANG; HE; XU, 2016).

Desse modo, a questão que norteia essa dissertação é como as tecnologias da Indústria 4.0 podem ser aplicadas no setor logístico em pequenas e médias empresas da Indústria moveleira?

1.2 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral criar um modelo de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 que possam ser usadas na logística das empresas e identificar as possíveis consequências de seu uso em indústrias de pequeno e médio porte no setor moveleiro.

1.2.1 Objetivos Específicos

- a) Identificar quais são as principais tecnologias da Indústria 4.0 que podem ser aplicadas nos processos logísticos;
- b) Classificar o nível de maturidade tecnológico das empresas estudadas nessa pesquisa como Indústria 1.0, 2.0, 3.0 ou 4.0, de acordo com os modelos de maturidade de Indústria 4.0 existentes na literatura;

c) Analisar a percepção de pequenas e médias empresas do setor moveleiro em relação a aplicabilidade de tecnologias da Indústria 4.0 na área de logística.

1.3 Justificativas

As tecnologias que compõem a Indústria 4.0 já são amplamente utilizadas de maneira isolada e, em alguns casos, há a utilização de várias dessas tecnologias combinadas, principalmente nos processos produtivos. Porém, todo o conceito que envolve a Indústria 4.0 e sua implementação ainda é bastante complexo, o que justifica a baixa aplicação prática de modelos industriais completos com toda a aplicação que caracteriza a Indústria 4.0 pelo mundo (WANG, 2016).

Na Indústria 4.0 os processos logísticos são conhecidos como Logística 4.0 e sua exploração acompanha a evolução das operações na produção em geral. Não há, portanto, utilização de tecnologias próprias para o setor logístico, o que seria bastante plausível devido as singularidades das atividades correspondentes aos processos logísticos (PFOHL; YAHSI; KUZNAZ, 2015)

Desta forma, estudos mais aprofundados do uso das tecnologias existentes no conceito da Indústria 4.0 nos processos logísticos das empresas podem resultar em avanços significativos no setor. Estas tecnologias podem ser empregadas em modelos industriais que não se enquadram nas características atuais da Indústria 4.0, como as indústrias do setor moveleiro que, independente da sua classificação e porte, podem se beneficiar do avanço tecnológico. Para as empresas estudadas do setor moveleiro, ressalta-se a importância de constatar que o sistema logístico permite uma evolução independente aos processos produtivos, possibilitando potenciais benefícios na eficiência geral dos processos logísticos e industriais (STRANDHAGEN, 2017).

Para o meio acadêmico o estudo sobre a Indústria 4.0 é bastante difundido, e antes mesmo de encontrar grande aplicação prática o próprio conceito da Indústria 4.0 vem sofrendo grandes mudanças estruturais, devido a velocidade da evolução e de surgimento de novas tecnologias que caracterizam esse novo modelo industrial (THOBEN; WIESNER; WUEST, 2017).

Portanto, essa pesquisa se justifica pois, dentro do universo da Indústria 4.0, os estudos são concentrados em setores de produção e tecnologia geral, com destaque para a manufatura, robótica e tecnologias de informação e comunicação. Dentro do conceito da Indústria 4.0, com exceção da produção, é relativamente baixo o número de estudos sobre outros setores da indústria, como o setor logístico, inclusive com pouca evolução sobre tecnologias exclusivas a

setores que não estejam diretamente envolvidos com os processos produtivos (WITKOWSKI, 2017).

1.4 Aspectos Metodológicos

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa exploratória de natureza aplicada, devido a geração de soluções para situações específicas encontradas na prática, de acordo com os conceitos na literatura de Gil (2017).

Sua abordagem é qualitativa, pois a obtenção de respostas para a solução do problema virá através da interpretação dos dados coletados junto aos funcionários das empresas estudadas. Esse conceito foi difundido na literatura por Turrioni e Melo (2012).

Para alcançar os objetivos propostos neste trabalho, foi realizado o levantamento bibliográfico para determinação das tecnologias da Indústria 4.0 aplicadas nos processos logísticos e quais as consequências do seu uso nos processos logísticos das empresas. Para tanto, foram coletados dados através de um roteiro semiestruturado de entrevista e observação em uma indústria moveleira de pequeno porte e duas indústrias moveleiras de médio porte quanto as tecnologias utilizadas na logística, o funcionamento dos seus processos logísticos e a aferição do conhecimento dos funcionários, sendo entrevistados cinco funcionários de cada uma das três empresas, quanto as tecnologias da Indústria 4.0 com potencial aplicação nos processos logísticos.

Realizada a coleta e análise desses dados, foi realizada a classificação do nível de maturidade tecnológico de cada empresa, classificando-as como Indústria 1.0, 2.0, 3.0 ou 4.0, com base nos modelos de maturidade existentes na literatura. Depois, foi confeccionado um modelo de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 no setor logístico. Após a criação do modelo, ele foi apresentado para os funcionários entrevistados anteriormente para fins de verificação e ajustes a serem implementados neste modelo inicial. Por fim, finalizada essa verificação com os ajustes e informações levantadas com os entrevistados, o modelo inicial foi ajustado para o modelo final, finalizando essa dissertação.

1.5 Estrutura

O trabalho se apresentará nas seguintes seções:

- a. **Seção 1: Introdução.** Contextualização do tema, problemática da questão e relevância do assunto;
- b. **Seção 2: Revisão Bibliográfica.** Apresenta revisão bibliográfica sobre as definições da Indústria 4.0, suas tecnologias e aplicação nos processos logísticos,

conhecido como Logística 4.0, e como seria a aplicação dessas tecnologias nos processos logísticos do setor moveleiro;

- c. **Seção 3: Metodologia.** Nesta seção apresenta-se a classificação da pesquisa e os procedimentos operacionais do trabalho;
- d. **Seção 4: Resultados.** Apresentação e análise dos dados e informações obtidas, confrontando os estudos de casos com as pesquisas bibliográficas, além da criação de um modelo de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 no setor logístico e a identificação dos potenciais resultados junto aos funcionários entrevistados;
- e. **Seção 5: Conclusões.** Finalização do estudo abordando os resultados encontrados na seção 4 e possíveis diretrizes quanto a evolução deste assunto.
- f. **Referências.** Coletânea de obras utilizadas no desenvolvimento do trabalho e que embasaram esta pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Conceitos e definição da Indústria 4.0

O conceito de Indústria 4.0 está ligado aos grandes avanços industriais ocorridos na história. A Primeira Revolução Industrial, com início na Inglaterra no século XVIII, ocorreu com o surgimento da máquina a vapor e a mecanização do trabalho, utilizada inicialmente na indústria de tecido, substituindo trabalhos manuais e elevando a produção. Essa Revolução permitiu a evolução não apenas do setor industrial, mas também de outras áreas como a de transportes, resultando em profundas mudanças sociais e econômicas (TREW, 2014).

A Segunda Revolução Industrial iniciou-se nos Estados Unidos, expandindo-se rapidamente por toda a Europa em meados do século XIX, pautada em avanços significativos no meio científico e tecnológico com destaque ao uso de novas fontes de energia como a energia elétrica, o petróleo em motores à combustão, usinas hidrelétrica, energia nuclear, entre outras descobertas que revolucionaram ainda mais a produção industrial. Este período marcou também a produção industrial em série, a produção em massa e a divisão do trabalho que reduziu o custo de produção por unidade através das linhas de montagem (BOTTOMLEY, 2014).

Já a Terceira Revolução Industrial, originada nos Estados Unidos em meados do século XX, corresponde ao início da automação e dos processos de inovações no campo da informática, com destaque ao uso da robótica como principal característica das tecnologias avançadas no sistema de produção industrial (STEARNS, 2013).

Finalmente, a Quarta Revolução Industrial, conhecida na literatura como Indústria 4.0, foi originada na Alemanha durante uma conferência no evento “Hannover Trade Fair” em 2011. Seu conceito é relativo ao processo de desenvolvimento da indústria, com evoluções tecnológicas em um sistema totalmente integrado para conectar em rede os equipamentos, *softwares* e informações, possibilitando uma gestão e controle automatizado e a distância com o uso de inteligência artificial, dentre outras aplicações (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

Assim, Indústria 4.0 é o termo que simboliza o início da Quarta Revolução Industrial (ALEXPOULOS et al., 2016; QIN; LIU; GROSVENOR, 2016; LI, 2017). O conceito se refere a novas abordagens sobre a produção, análise de dados, fornecimento, inventário, transporte, distribuição, manutenção, *design*, dentre outros aspectos, utilizando tecnologias, ferramentas e técnicas que otimizam processos. Esta nova abordagem permite o caminho para uma nova era industrial que apresenta como uma de suas maiores vantagens a possibilidade de fabricação de

produtos personalizados e customizados para cada cliente, mas com velocidade e custos da produção em massa (GTAI, 2014; TAO et al., 2016; LU 2017).

Além disso, a Indústria 4.0 é norteada pelo aumento exponencial de dados gerados e processados, com uso da *internet* das coisas e da inteligência artificial. Esta revolução vem em consequência da revolução *lean* de 1970, da terceirização nos anos 1990 e da automação dos anos 2000 (SUNG, 2018).

Nesse sentido, a Indústria 4.0 representa a tendência atual das tecnologias de automação na indústria e inclui tecnologias facilitadoras, como os sistemas ciber-físicos. São sistemas físicos de engenharia profundamente interligados em *softwares*, com suas operações monitoradas e controladas por sistemas de computação e comunicação. Os sistemas ciber-físicos envolvem a interação de máquinas, equipamentos e pessoas conectados em rede através de sensores, unidades de processamento de controle e dispositivos de comunicação (GÜRDÜR, 2016).

Em relação as definições e conceitos da Indústria 4.0, Pfeiffer (2017) aponta que estas definições podem ser consideradas genéricas, pois as aplicações podem ser distintas em setores diferentes, além de que várias ferramentas denominadas como tecnologias da Indústria 4.0 já estavam sendo aplicadas antes da criação deste conceito. Todavia, o autor considera que alguns desenvolvimentos tecnológicos são realizados de uma maneira jamais vista até então, como em robótica integrada com o trabalho humano, o uso da impressão 3D para permitir maior customização de produtos, as tecnologias que proporcionam mais meios para as pessoas interagirem com os equipamentos e aplicativos e a integração da gestão da produção com o uso de inteligência artificial.

Entretanto, apesar das vantagens proporcionadas pela Indústria 4.0, como a integração e conexão de pessoas às máquinas e sistemas, análise de dados em tempo real, auxílio da automação, inteligência artificial, robôs nas linhas de produção, dentre outros aspectos, ainda há desafios na sua adaptação, visto que seus conceitos evoluem rapidamente com o desenvolvimento de novas tecnologias (MOKTADIR et al., 2018).

Desse modo, é necessário que sejam estudadas mais a fundo as principais tecnologias que retratam de maneira fiel o conceito da Indústria 4.0. Para que este conceito seja colocado em prática, diversas ferramentas tecnológicas são utilizadas e atuam de maneira integrada, sendo as principais a *internet* das coisas, computação em nuvem, *Big Data Analytics*, *Blockchain* e impressão 3D (JASPERNEITE, 2012; WITKOWSKI, 2017; HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

2.1.1 *Internet das Coisas*

Em 1982, pesquisadores da *Carnegie Mellon University* desenvolveram a primeira máquina de refrigerantes com o uso de sensores, que são característicos da *internet das coisas*. Porém, é na década de 90, no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), que foi desenvolvido e apresentado um conceito mais objetivo, além do termo *internet das coisas*, descrevendo-o como elementos de *hardware* e *software* conectados através do uso de ondas de rádio e sinais infravermelho para a utilização de determinados equipamentos (ASHTON, 2009).

Para Wu (2016), a *internet das coisas* é uma rede de *hardwares*, *softwares*, objetos, sensores e sistemas, todos funcionando de maneira integrada para melhorar a confiabilidade, a usabilidade e a produtividade. De acordo com Bi (2014), *internet das coisas* é uma extensão da *internet*, possibilitando acesso às informações e dados sobre objetos físicos e viabilizando serviços inovadores com alta eficiência e produtividade.

A *internet das coisas* permite que objetos e dispositivos tenham uma conexão que possa gerar e trocar informações entre si, possuindo uma identidade própria para objetos antes inanimados para auxiliar na tomada de decisões com auxílio da inteligência artificial, além de executarem diferentes tarefas mais rápido e eficiente (VARGHESE; TANDUR, 2014).

Desse modo, a *internet das coisas* é considerada o grande pilar da Indústria 4.0 por conta de sua conexão de qualquer objeto à *internet*, a qualquer hora e em qualquer lugar, gerando novos e inovadores serviços e aplicações. Refere-se ao *software*, sensores e dispositivos conectados em rede, permitindo a troca de dados com outros dispositivos, sistemas, aplicações e usuários, criando uma infraestrutura de rede para facilitar o fluxo de mercadorias, serviços e informações, como jamais visto até então no cenário industrial. Esta tecnologia está diretamente conectada com outras tecnologias da Indústria 4.0, como a computação em nuvem, *Big Data*, *Blockchain* e impressão 3D (LU; PAPAGIANNIDIS; ALAMANOS, 2018).

O ambiente com o uso da tecnologia da *internet das coisas* é similar aos já existentes em modelos industriais e residencial. A maioria das tecnologias é por rádio e sem fio (*Radio Access Technologies*), via Identificação por Radiofrequência - RFID (*Radio Frequency Identification*), *Bluetooth*, entre outros, possibilitando a transferência de informações, aplicativos e comunicações, com o auxílio da *internet* (GUBBI et al., 2013).

Dentre as principais tecnologias neste processo de coleta de dados, destacam-se:

a) Sensores e redes de sensores: são os geradores de informações em uma Rede de *internet das coisas*, através da conversão de uma grandeza física para um sinal elétrico. Conseguem gerar múltiplas informações básicas como detecção de um objeto, uso de sinal infravermelho, detecção de temperatura, pressão, dentre muitas outras variáveis. Podem ser montados sistemas

de sensores em redes com estruturas fixas, como máquinas, equipamentos ou móveis, como peças em produção, produtos, veículos e pessoas (OSTEREICH; TEUTEBERG, 2016);

b) RFID: utiliza campos magnéticos para identificar e rastrear etiquetas coladas nos objetos, com informações de identificação de um produto, máquina, veículo e pessoas. O Leitor RFID emite um sinal de rádio na proximidade das etiquetas. Esse sinal é recebido pelas etiquetas que transmitem suas informações de identificação, através de um processo de indução magnética.

Essas informações são enviadas ao mediador responsável pela filtragem e agrupamento, enviando as informações resumidas e consolidadas para as aplicações (ZANELLA et al., 2014);

c) NFC (*Near Field Communication*): o NFC - Comunicação por Campo de Proximidade - é uma tecnologia sem fio de curta distância, em geral menores que 15 centímetros, possibilitando a troca de informações de forma segura entre dispositivos compatíveis próximos. Quando os dispositivos se aproximam, a comunicação é estabelecida automaticamente. O NFC é bastante utilizado com uso de celulares, *tablets*, crachás, cartões de bilhetes eletrônicos e qualquer outro dispositivo que tenha um chip NFC (LEE; LEE, 2015);

d) Redes Móveis: amplamente difundida com o uso de *smartphones*, são muito utilizadas na busca por informações coletadas na rede. Elas vêm rapidamente ganhando espaço frente a tecnologias como o *Wi-fi* e outras devido à grande flexibilidade proporcionada e a não limitação de grandes distâncias, necessitando apenas da cobertura de sinal nos locais. O aumento na velocidade de transmissão de dados proporcionado com a rede 5G deverá estabelecer um facilitador chave, com grandes evoluções relacionadas a Indústria 4.0 (RAO; PRASAD, 2018);

e) *Wi-Fi*: sinal de rádio frequência por difusão, com alcance de médias distâncias (algumas dezenas de metros) que possui alta qualidade e flexibilidade. É amplamente utilizado na comunicação entre equipamentos e principalmente para a conexão à internet sem fio. Normalmente é implementado com o uso de um controlador geral (ponto de acesso, como um roteador), mas tem seu uso expandido também para redes sem fio sem o uso de um ponto de acesso comum, que são as redes *Ad Hoc*, na qual todos os dispositivos da rede funcionam como um ponto de acesso, criando uma rede de conexão entre todos os dispositivos (CHI et al., 2014);

f) *Zigbee*: método de conexão de dispositivos com baixo consumo energético que funciona através de um controlador central e da capacidade *wireless* de cada dispositivo, possibilitando a criação dos “dispositivos inteligentes”. Usa em sua base uma Rede *Ad Hoc*, possibilitando eliminar falhas de comunicação no caso de falha de um nó de rede (LI et al., 2013);

g) *Bluetooth*: sinal de rádio frequência por difusão com alcance de alguns metros, mas de alta qualidade e flexibilidade, possibilitando meio rápido e eficiente para troca de informações e arquivos com grandes volumes de dados (LEE; LEE, 2015).

Assim, a coleta de dados no ambiente da *internet* das coisas com o uso destas tecnologias permite a geração de informações diversas, além de tornar possível observar e saber onde está um objeto ou fazer com que eles se conectem à internet e gerem informações sem a necessidade de qualquer intervenção manual (PERUZZINI et al., 2017).

Portanto, o uso da *internet* das coisas atua de maneira impactante no conceito da Indústria 4.0, gerando mudanças no cenário industrial e na sociedade em geral, fazendo com que sua aplicação seja expandida entre as instituições acadêmicas, organizações, governo e no desenvolvimento científico para novas aplicações, oferecendo soluções inovadoras para os sistemas de manufatura existentes e sendo considerada um facilitador essencial para a próxima geração da indústria (TRAPPEY et al., 2017).

2.1.2 Computação em Nuvem

Uma das principais tecnologias da Indústria 4.0, a computação em nuvem é um paradigma de computação no qual as tarefas são atribuídas a uma combinação de conexões, *softwares* e serviços acessados em uma rede. Toda essa rede de servidores e conexões é conhecida coletivamente como “nuvem”. Bhoir e Principal (2014) apontam que os usuários podem acessar e executar recursos e aplicações conforme necessário e a arquitetura de nuvem pode gerenciar uma variedade de diferentes cargas de trabalho.

Esta tecnologia possibilita acessar arquivos, executar programas e efetuar diferentes tarefas pela *internet* sem a necessidade de instalar aplicativos e programas nos computadores e servidores próprios (TAURION, 2010).

Uma das principais características da computação em nuvem é a capacidade de oferecer serviços sob demanda, com acesso universal por qualquer dispositivo que possua conexão à *internet*, com a contabilização dos recursos utilizados podendo ser escalável e elástica (ZHENG et al., 2014).

Paredes e Zorzo (2012) descrevem a computação em nuvem como um ambiente que permite a prestação de serviços e atua como facilitador de tarefas, com infraestruturas de fácil acesso e disponibilidade de recursos que atendam às necessidades dos usuários.

Para Katsaros et al. (2011), a computação em nuvem tem o potencial de alterar a maneira como os serviços de informática são desenvolvidos, gerenciados e ofertados devido a um melhor acesso a elementos primordiais no setor, seja pela elevada geração de dados corporativos ou pela maior facilidade para obter estruturas de *internet* e rede sem fio de alto desempenho e redução do custo de armazenamento de provedores. Esses são fatores que contribuem para o uso da computação em nuvem em detrimento a servidores físicos próprios.

De acordo com Goyal (2014), existem quatro principais modelos para implantação da computação em nuvem:

- a) Nuvem Pública: sua infraestrutura é oferecida por uma empresa e está disponível para acesso do público em geral, empresas, governo, universidades, entre outros. Possui, em geral, opções gratuitas com menos recursos e versões pagas com mais ferramentas e espaço;
- b) Nuvem Privada: toda a infraestrutura está disponível para uma única empresa, e as características da nuvem são formatadas de acordo com as necessidades dessa empresa. Normalmente utilizada para garantir maior segurança com suas informações e dados, além de possuir maior flexibilidade e escalabilidade;
- c) Nuvem Híbrida: aplica ambos os conceitos anteriores, podendo trabalhar com um sistema de nuvem pública para armazenamento de informações gerais ao mesmo tempo que opta por guardar dados sensíveis em uma Nuvem Privada, podendo interconectar dados e aplicações de um modo para outro;
- d) Nuvem Comunitária: Fica entre o público e o privado no que diz respeito ao conjunto-alvo de consumidores. É semelhante a uma nuvem privada, mas com a infraestrutura e recursos computacionais exclusivos para duas ou mais organizações que têm privacidade comum, segurança e considerações regulatórias, em vez de uma organização única.

A computação em nuvem surgiu para minimizar investimentos das empresas com parques tecnológicos de *hardwares*, *softwares* e mão de obra especializada para operação e manutenção. Com a evolução tecnológica ocorrendo em ritmo cada vez mais acelerado, tornando *hardwares* e *softwares* propensos a ficarem obsoletos rapidamente, além da constante necessidade de disponibilidade de recursos para instalação, configuração e manutenção de sistemas, a computação em nuvem apresenta um conjunto gerenciável de ferramentas virtualizadas e escaláveis sob demanda para os clientes (RUSCHEL et al., 2010).

Com sistemas, dados e capacidade de processamento armazenados em servidores compartilhados e acessados pela *internet*, de dispositivos diversos, de qualquer lugar, o conceito da computação em nuvem se estende e se aplica no conceito da Indústria 4.0. Isso ocorre pois a possibilidade de romper as barreiras físicas dos servidores das empresas e ampliar as opções de conectividade entre sistemas, de maneira ágil e eficiente, integra-se ao conceito de digitalização e virtualização de processos, intrínsecos da Indústria 4.0 (WANG et. al., 2014; MITRA et al., 2017).

A grande vantagem desta tecnologia junto a Indústria 4.0 é não haver necessidade de armazenamento físico próprio, tornando-a escalável, flexível e eficiente. Isso fornece um avançado meio de acesso a informações e aplicações no ambiente atual, considerando que para

a Indústria 4.0 a conectividade e troca de informações em tempo real são aspectos primordiais (THAMES; SCHAEFER, 2016; VAZQUEZ-MARTINEZ et al., 2018).

2.1.3 *Big Data Analytics*

A compreensão sobre o enorme volume de dados gerados por uma empresa, da velocidade com que esses dados são gerados e de suas variedades foi nomeada como *Big Data*, outra essencial parte da Indústria 4.0 (INTEL, 2013; ZHONG et al., 2016).

Bloem et al. (2013) afirmam que o *Big Data* equivale ao início da *internet* nos anos 1990, ou seja, um enorme avanço tecnológico no qual tudo está sendo conectado e novas visões são formuladas. Assim, é possível que ocorram grandes mudanças em todas as áreas, iniciando pelos setores de informática, tecnologia, indústria e economia, podendo inclusive gerar forte impacto social.

Segundo Gandomi e Haider (2015) e Lee (2017), as características e conceitos fundamentais do *Big Data Analytics* são classificadas em cinco variáveis, chamadas de 5 V's, que são:

- a) Volume: imensa escala e expansão de dados;
- b) Variedade: dados estruturados e não estruturados provenientes de diversas fontes distintas;
- c) Velocidade: dados são gerados em tempo real;
- d) Veracidade: verificação da autenticidade dos dados que estão sendo processados e gerenciados;
- e) Valor: relevância e valor econômico que os dados geram para os usuários e para os negócios.

Os métodos e técnicas para mineração e gestão desses dados são chamados de *Big Data Analytics*. Ferramentas diversas como *data mining* (mineração de dados), *web mining* (mineração na web), *machine learning* (aprendizado de máquina), *visualization methods* (métodos de visualização) e *optimization method* (método de otimização) são utilizadas nesses processos (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016; WANG et al., 2016; ZHU et al., 2018).

Um dos maiores desafios do *Big Data* não é o fato do volume gerado ser elevado, mas sim a heterogeneidade dos dados, que requerem diferentes e inovadoras maneiras de processar e analisar a informação. Os dados são divididos em estruturados e não estruturados. Os dados estruturados possuem uma organização para serem recuperados, como linhas e colunas que identificam onde a informação se encontra precisamente. Já os dados não estruturados não possuem uma estrutura definida como um arquivo, não contém todas as informações possíveis de onde o dado se encontra e são os tipos de dados coletados que mais crescem e requerem novos meios de análises (BACCARIN, 2018).

Importante ressaltar que o *Big Data Analytics* está associado à análise de toda a cadeia produtiva, desde a concepção, tendências de mercado, padrões de compra, marketing, simulações e inteligência artificial. Todos os dados gerados nessas etapas precisam ser armazenados e processados de maneira instantânea, fornecendo importantes informações para as tomadas de decisões (ROSSMANN et al., 2017; WANG et al., 2016).

Isso porque com o desenvolvimento constante de sensores mais eficientes e acessíveis, ocorreu uma grande evolução em sistemas de aquisição de dados. Combinado com redes de comunicação mais rápidas, há um uso crescente de instalações físicas interconectadas que irão gerar continuamente uma grande quantidade de dados para processar, indo de encontro ao conceito da Indústria 4.0 (CHEN et al., 2016).

A indústria gera e armazena mais dados do que qualquer outro setor, considerando que uma máquina pode gerar milhares de registros para produção e informações de monitoramento em um segundo, o que compila uma quantidade gigantesca de registros em um ano. Assim, o *Big Data* na Indústria 4.0 tem um enorme potencial para ajudar a reduzir a taxa de mau funcionamento e melhorar a taxa de produção e a qualidade para um melhor gerenciamento da indústria (YIN; KAYNAK, 2015).

É importante notar que uma das aplicações do *Big Data* na Indústria 4.0 pode ser verificada com auxílio de sistemas *internet* das coisas, com grandes fluxos de dados gerados podendo ser analisados e armazenados *online* em *softwares* na nuvem. Logo, os resultados destas análises podem otimizar operações e produzir dados e informações que possibilitem aumentar a produtividade, a eficiência de processos e reduzir os custos operacionais (GILCHRIST, 2016).

2.1.4 Blockchain

Todo o volume de dados gerados na Indústria 4.0 requer um sistema de transações que seja seguro, legal, transparente, rastreável e compatível à necessidade de digitalização de toda a cadeia industrial e suas operações. Para suprir estas necessidades pode ser utilizada a tecnologia *Blockchain*, popularizada em transações de criptomoedas e que apresenta recursos como banco de dados público, distribuído e descentralizado (APTE; PETROVSKY, 2016).

A tecnologia *Blockchain* corresponde a um banco de dados distribuído em registros ou livros públicos e privados contendo o registro de todas as transações digitais que foram executadas e disponibilizadas entre os agentes participantes do *Blockchain*. Esta tecnologia difere da maioria dos projetos de sistemas de informação existentes por conta de quatro

características principais: descentralização, segurança, auditabilidade e execução inteligente (CROSBY et al., 2016).

As transações no *Blockchain* ocorrem com uma operação realizada por um agente. Quando uma transação é realizada, ela é transmitida para a rede para verificação e auditoria. Na auditoria ela passa por um processo de validação, e depois que a maioria dos nós na cadeia aprova esta transação de acordo com regras pré-especificadas, essa nova transação é adicionada à cadeia como um novo bloco. Com isso, um registro dessa transação é salvo em vários nós distribuídos por segurança. É gerado um contrato inteligente que permite a realização de transações seguras sem o envolvimento de terceiros (BAKER; STEINER, 2015).

A descentralização dos dados é uma das propriedades mais importantes da tecnologia *Blockchain*, caracterizando uma verificação de qualquer adulteração de informações que aumenta a validade das informações. A remoção de registros mantidos coletivamente é impraticável e todos os registros verificados de cada transação são acessíveis aos participantes públicos ou privados. Essa é uma maneira eficiente de tornar o processo seguro, pois um banco de dados centralizado é mais suscetível a *hackers*, corrupção ou falha (TIAN, 2016).

Para Nofer et al. (2017) a confiança nas transações com o *Blockchain* é consequência da descentralização, pois não há necessidade de avaliar a confiabilidade do intermediário ou de outros participantes da rede e as informações são facilmente visualizadas e comparadas. Essa abordagem não requer nenhum comportamento específico em nome dos participantes. Em vez disso, a tecnologia garante a integridade do sistema devido ao seu método de validação, mesmo diante da desonestidade ou ociosidade.

Além dos participantes poderem visualizar os livros e analisar transações, recurso que fornece transparência, a tecnologia garante também o anonimato através da preservação de registros por trás de criptografia. As cadeias de blocos podem ser usadas para implementar um conjunto de regras acordado que ninguém, nem os usuários nem os operadores do sistema, podem quebrar. Assim, eles contam com uma plataforma de arquitetura de sistema exclusiva para aplicativos, com um complexo mecanismo de segurança que, mesmo envolvendo várias partes, requer pouca confiança umas na outras, pois o sistema é responsável por garantir a segurança das transações (CROSBY et al., 2016; TIAN, 2016).

De acordo com a maneira que será utilizado, o *design* da *Blockchain* pode ter diferentes formatos quanto a formação de redes públicas ou privadas. Seu *design* é diferente em termos de usuários de rede e regras para ser mantido. Por exemplo, em uma *Blockchain* privada ou fechada, as partes se conhecem e não há anonimato (ØLNES; UBACHT; JANSSEN, 2017).

Assim, para uma rede privada, haveria novas funções, como certificadores, que fornecem certificações para os participantes da rede, mantendo essa rede privada. Como alternativa, em uma *Blockchain* pública ou aberta, para manter a confiança de muitos usuários anônimos, métodos criptográficos são aplicados para permitir que os usuários entrem na rede e registrem suas transações (PILKINGTON, 2015).

Logo, a tecnologia *Blockchain*, que ganhou popularidade como uma plataforma para gerenciar criptomoedas, apresenta-se como um novo paradigma da computação, com amplas implicações para o desenvolvimento da Indústria 4.0, sendo uma importante engrenagem de proteção de ativos pelo registro imutável de suas transações (ABEYRATNE; MONFARED, 2016; MAURER, 2017).

2.1.5 Impressão 3D

A impressão 3D é um processo de manufatura aditiva que produz objetos camada por camada. Existem vários tipos de impressão 3D, como aquelas que utilizam materiais termoplásticos ou poliméricos. As três principais tecnologias de impressão 3D para materiais poliméricos são estereolitografia, fabricação de filamento fundido e sinterização seletiva a laser. As impressoras estereolitográficas e sinterizadas seletivas a laser utilizam lasers para solidificar ou fundir a resina de fotopolímero e o pó, respectivamente, para criar um objeto. Já a de fabricação de filamento fundido produz objetos por meio da extrusão de termoplásticos fundidos que endurecem imediatamente (LIGON et al., 2017).

Apesar do constante avanço na impressão 3D, Choi et al. (2015) abordam a nova evolução desta ferramenta, a impressão 4D. A impressão 4D é um avanço da impressão 3D, na qual a quarta dimensão é o 'tempo'. Na presença de um estímulo como luz, calor ou alguma substância, a forma impressa entra em processo de produção, mas dependente do tempo e, portanto, ajustável, o que a torna uma estrutura dinâmica com propriedades e funcionalidade adaptáveis.

Segundo Campbell et al. (2017), o avanço na impressão 3D ampliou a aplicabilidade da manufatura digital, mas requer conhecimentos e habilidades multidisciplinares. Uma série de novos materiais de engenharia foram produzidos, como válvulas inteligentes para controlar o fluxo de substâncias quentes ou frias, fluxo de substâncias químicas, tubos adaptativos, sensores e robôs leves.

A impressão 3D produz modelos personalizáveis de maneira fácil e rápida e tem se mostrado vantajosa para produção de protótipos, mas com uso cada vez mais expandido em direção a produção de ferramentas e peças personalizadas (KOTLINSKI, 2014).

Na fabricação convencional há restrições de processamento relacionadas à produção em massa. Já a impressão 3D é ágil, sem a necessidade de interromper uma linha de produção ou ajustar o *setup* de máquinas, permitindo um retorno mais rápido no *design* e na fabricação de objetos personalizados, feitos sob medida para atender as demandas de indivíduos e aplicações específicas (CHACÓN et al., 2017).

Para Berretta (2014) a impressão 3D possui aplicação na fabricação de peças sob medida, incluindo protótipos e peças em pequenas séries. Assim, a tecnologia 3D possui maior flexibilidade do que os processos convencionais de moldagem ou fundição formativa na criação de moldes que serão utilizados posteriormente para a produção de peças em série. Ainda, reduz os custos de produção e proporciona maior agilidade nos processos produtivos de moldes e ferramentas.

Já para Matic et al. (2014), financeiramente a viabilidade econômica da impressão 3D produzindo peças para compor um produto ou diretamente para o usuário final depende principalmente da quantidade e da velocidade em massa das peças idênticas que devem ser produzidas.

Apesar das dificuldades de realizar a produção em massa de objetos simples através da impressão 3D, esta ferramenta pode ultrapassar as técnicas de fabricação convencionais, especialmente formativas, em aplicações com um alto nível de personalização. Algumas aplicações para ferramentas específicas servem como exemplos em que a fabricação direta para o consumidor está bem estabelecida (VAEZI et al., 2013).

Por fim, o conceito da Indústria 4.0 engloba também a tendência de mercado para customização de produtos. Assim, a manufatura aditiva é uma tecnologia com impacto direto nas empresas (DILBEROGLU et al., 2017). O desenvolvimento da tecnologia de impressão 3D combinada com a *internet* das coisas tem o potencial de revolucionar a fabricação automatizada de objetos complexos e sistemas de materiais personalizados e multifuncionais (MARTINEZ et al., 2017).

Isso porque a impressão 3D permite a transformação de um desenho digital qualquer, feito em um *software*, em um objeto físico tridimensional construído em uma impressora. Com a personalização sendo peça chave da Indústria 4.0, a impressão 3D é fundamental para a fabricação de pequenos lotes de produtos específicos, mesmo em ambientes de produção em massa. Isso traz benefícios em termos de volume, tempo e custos, especificamente ao reduzir o tempo de fabricação de produtos personalizados, reduzir estoques e desperdícios e, conseqüentemente, ao tornar os processos mais eficientes (COTTELEER, 2014).

2.2 Processos logísticos da Indústria 4.0 e suas aplicações: a Logística 4.0

A Indústria 4.0 pode ser relacionada com o aumento exponencial na produção, como as outras evoluções industriais anteriores. Essas evoluções possuem em comum o fato de terem sido iniciadas não pela utilização de uma nova tecnologia, mas pela interação de um número de avanços tecnológicos cujos efeitos criaram novas formas de produção (SCHMIDT et al., 2015).

A mudança atual de paradigma nos processos produtivos é o resultado do uso da *internet* em diferentes meios que permite a comunicação entre máquinas e humanos em tempo real, bem como da digitalização avançada dentro das fábricas. Este novo conceito industrial permite conectar todos os elementos envolvidos nos processos de fabricação e possibilita a aplicação de conceitos como adaptabilidade, interconectividade, eficiência e ergonomia (LASI et al., 2014).

Para Drees (2016), a Indústria 4.0 resulta na digitalização dos processos industriais em todos os setores da empresa. Com este conceito inclui-se a evolução dos processos logísticos, que está vinculada à busca por novas soluções logísticas baseadas em tecnologias emergentes que irão modificar o atual conceito de logística em seu nível mais avançado, impactando diretamente no surgimento de novas tendências e no modo como será realizado o transporte e a gestão de estoques nas empresas.

O processo logístico é componente essencial de uma empresa, gerenciando fluxo de materiais, informações e toda movimentação de matéria-prima, mercadoria e serviços e entregando ao cliente um nível de serviço e qualidade satisfatório, com menor custo possível (CHRISTOPHER, 1997).

No conceito da Indústria 4.0, os processos logísticos são denominados como Logística 4.0, com a possibilidade de troca de informações instantâneas, soluções automatizadas, análise de grande volume de dados em tempo real, dentre outros recursos que expandem o conceito de logística para novos modelos de negócios (STRANDHAGEN et al., 2017).

Para Wang (2016), a Logística 4.0, seus conceitos e sua aplicação são fundamentais dentro do próprio conceito da Indústria 4.0. As tecnologias aplicadas na Indústria 4.0 também podem ser aplicadas na Logística 4.0, indo além do seu uso no processo produtivo e expandindo para usos como a capacidade de capturar e processar grandes quantidades de dados e tomar ações baseadas na informação resultante deste processamento dentro dos processos logísticos da empresa. A Logística 4.0 é também o avanço nas operações automatizadas pela evolução da *internet* das coisas. A automatização no controle de estoque substitui processos que não requerem operação e determinação por trabalho humano. O objetivo é o equilíbrio entre a automação e a mecanização.

Assim, com o conceito da Indústria 4.0 procurando equalizar a exigência da produção em massa com a personalização de produtos para os clientes, com determinados itens feitos sob demanda para atender as exigências, são necessários novos métodos e abordagens no sistema produtivo. Esta nova maneira de produção exige que os processos logísticos acompanhem a evolução e diversificação da produção, impactando na dinâmica da empresa como um todo (PFOHL; YAHSI; KUZNAZ, 2015; DREES, 2016).

Por fim, para Witkowski (2017), as tecnologias dos processos produtivos da Indústria 4.0 são aplicáveis na logística pois elas impactam diretamente nos seus processos e se alinham com os requisitos necessários da integração da Indústria 4.0. A digitalização dos processos industriais exige novas soluções nos processos logísticos, modificando o cenário atual da logística e processamento de grandes quantidades de dados e tomadas de decisões.

2.2.1 Conceitos e definição da Logística 4.0

Um dos fatores que resultará em uma vantagem competitiva das redes de fornecimento e das empresas envolvidas nelas provavelmente será determinada pela capacidade de flexibilidade, bem como planejamento contínuo nas relações dos processos logísticos em meios de produção e de consumo (BHARADWAJ et al., 2013).

A maioria dos métodos existentes nos processos logísticos requer maior evolução e mudanças para acompanhar e acomodar os requisitos da Indústria 4.0, visando maior participação e integração dentro deste novo conceito industrial e as exigências que cercam esta evolução dos processos produtivos. Essa evolução dos processos logísticos, acompanhando as tendências e tecnologias da Indústria 4.0 é conhecida como Logística 4.0 (ZIJM, 2015).

O estado da arte da Logística 4.0 é o uso de sistemas computadorizados que monitoram e controlam os processos. Em geral o monitoramento ocorre com o uso de tecnologias de rastreabilidade para identificar, detectar e localizar o item e enviar os dados para um computador que pode coletar e analisar essas informações relevantes. Esses sistemas são capazes de se comunicar com outros sistemas ou com humanos usando a *internet* como meio de comunicação, de modo que podem ser compartilhados dados em tempo real e os processos podem ser coordenados (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

Segundo Strandhagen et al. (2017), a Logística 4.0 surge a partir dos avanços recentes em áreas de Tecnologia de Informação e Comunicação, aliados à maior automação e digitalização de operações nos processos produtivos industriais. A Logística 4.0 está associada a aplicação de tecnologias da Indústria 4.0, buscando melhorias de eficiência nos processos logísticos.

Os processos logísticos advindos da Indústria 4.0 demonstram as mudanças ocorridas em comparação ao padrão de seus processos antes dessa evolução. Algumas tecnologias já aplicadas que aprimoram questões como a conectividade de sistemas e equipamentos, uso de sensores e rastreabilidade são apenas uma amostra do potencial tecnológico a ser explorado pelas empresas ao desenvolver os processos logísticos em busca da automação de todo o processo (LEE; LEE, 2015).

O desenvolvimento de sistemas logísticos mais avançados, inteligentes e robotizados irão transformar a indústria atual, estabelecendo novas perspectivas sobre os processos. Esse desenvolvimento resultará em maior engajamento não só no uso de novas tecnologias, mas também de profissionais habilitados para o desafio da transformação dos processos logísticos de Indústria 4.0 (HÄNEL; FELDEN, 2016).

Segundo Shankar (2015), o pilar da Logística 4.0 são seus sistemas de rastreabilidade alocados em nuvens, com o auxílio de sensores para detecção e coleta de dados que fornecem identidade, localização e rastreamento de materiais, produtos, máquinas e pessoas que serão transmitidos em tempo real via *internet*.

A coleta de dados com o uso de sensores permite a automatização do envio e entrega, podendo prever exatamente o tempo de chegada da encomenda. Além disso, pode monitorar variáveis como controle de temperatura e outras propriedades que podem impactar na qualidade do produto em trânsito (PFOHL; YAHSI; KUZNAZ, 2015).

Algumas empresas de logística estão usando sistemas de rastreamento por sensores para verificar remessas e recebimentos e verificar a precisão de pedidos, precisão de estoque e processamento de pedidos de maneira mais rápida, possibilitando redução de custos de mão de obra. Por serem automatizados, estes sistemas melhoram a visibilidade de toda a cadeia de suprimentos ao saber o que se tem e onde está, ajudando na eficiência do rastreamento, do gerenciamento de embarques, do gerenciamento de armazém e da distribuição e gerenciamento de pátio, usando a *internet* para conectar sistemas em toda a cadeia e trocar dados em tempo real (SHEFFI, 2004; HOMPEL; KERNER, 2015).

2.2.2 Tecnologias da Indústria 4.0 aplicadas na logística

Analisando as principais tecnologias da Indústria 4.0 aplicadas à logística, considera-se inicialmente que, com a *internet* das coisas, os dispositivos físicos estão conectados à *internet*, recebendo e transmitindo dados sem a necessidade de um controle humano (LEE; LEE, 2015)

Os principais dispositivos utilizados na *internet* das coisas com ênfase na Logística 4.0 são sensores e rede de sensores, redes sem fio, redes móveis de alta velocidade, fibra ótica,

etiquetas de rádio frequência RFID, Sistema de Posicionamento Global - *GPS (Global Positioning System)*, NFC e *bluetooth* (HOMPEL; KERNER, 2015).

Para Kim e Kim (2016), a *internet* das coisas é a tecnologia com maior impacto na logística devido a sua atuação combinada com todas as outras tecnologias da Indústria 4.0, possibilitando uma melhora significativa no sistema logístico existente.

Assim, a *internet* das coisas oferece uma plataforma de armazenamento digital compartilhada do espaço físico, auxiliando no rastreamento de inventário de maneira eficiente. Com o uso de sensores RFID e GPS em veículos torna-se possível identificar a localização do veículo e da carga, obter informações de trânsito em tempo real, fazer diagnósticos de desgaste do veículo e monitorar a saúde e fadiga do motorista. Este cenário possibilita reduzir tempo e desperdícios com transporte (ZANELLA et al., 2014; MACAULAY; BUCKALEW; CHUNG, 2015).

Para Uckelmann (2011), a digitalização dos processos logísticos passa inicialmente pela identificação do material, através de sistemas RFID, obtendo um processo eficiente e de baixo custo. O objeto que possui uma etiqueta RFID é identificado por um leitor digital que coleta suas informações ao passar por ele. Com isso, o leitor digital envia as informações do produto por ondas de rádio para o computador que processa esses dados.

Um exemplo da utilização da *internet* das coisas na logística é a colocação de um *chip* RFID em um objeto. Com um dispositivo integrado no veículo de remessa, os dados são transferidos para um sistema em nuvem e os dispositivos detectam o objeto, identificando a posição com coordenadas do GPS e trazendo outros dados como condições adversas de tempo, congestionamento e os dados específicos do veículo e do motorista, como padrão de condução, velocidade média e outros (LU; PAPAGIANNIDIS; ALAMANOS, 2018).

A inteligência artificial também pode ser utilizada neste contexto, através de algoritmos que processam os dados obtidos dos sensores em tempo real que possibilitam a tomada de decisão mais assertiva, o que torna o processo mais eficiente e impulsiona a produtividade geral. Assim, os processos logísticos apresentam um modo que pode prever situações bem antes de qualquer atividade acontecer (OPPITZ; TONSU, 2018). De modo resumido, podem ser utilizadas as seguintes aplicações da *internet* das coisas na Logística 4.0:

a) gestão de frota e controle de tráfego: um dos maiores problemas na logística, mais especificamente relacionado ao transporte, o gerenciamento de frotas envolve a movimentação de equipamentos e ativos. Com o uso da tecnologia da *internet* das coisas e sensores GPS e RFID para gerenciar o transporte e a frota, pode-se diminuir custos e economizar tempo. Assim, monitoram-se as informações obtidas em tempo real sobre as condições de cada veículo,

condições físicas do motorista, da carga e do trânsito, sugerindo rotas mais eficazes (MACAULAY; BUCKALEW; CHUNG, 2015);

b) gestão de estoque: uma das principais mudanças nos processos logísticos é resultante da *internet* das coisas aplicada no gerenciamento de estoque. Uma infraestrutura de *internet* das coisas possibilita o uso de *softwares* de gestão de estoque, que facilita o compartilhamento de espaço físico e informações logísticas internas e externas, ajudando-as a rastrear o inventário de forma eficiente, melhorando a rastreabilidade e transparência das operações (LU; PAPAGIANNIDIS; ALAMANOS, 2018);

c) *Design* e visibilidade da rede logística: os processos logísticos impactam na gestão adequada dos suprimentos da empresa. A *internet* das coisas pode sincronizar o fluxo de informações, financeiro e de produtos em uma cadeia de suprimentos, melhorando sua visibilidade e eficiência, através de um melhor gerenciamento dos processos logísticos (TU, 2018).

Como se pode concluir, com o uso da *internet* das coisas as informações dos processos logísticos são sincronizadas, fornecendo dados de maneira instantânea e integrada, melhorando a eficiência do processo (TU, 2018). A partir do enorme aumento na geração de dados através da *internet* das coisas, com o uso de novos *softwares* para geração, leitura e processamento de todas essas informações, cria-se a necessidade de alocar e processar toda essa nova demanda. Todavia esses sistemas e grandes volumes de dados exigem investimentos em *hardware*, *software*, manutenção e mão de obra especializada. Assim, uma solução para o gerenciamento e controle de maneira mais eficaz, ágil e com maior flexibilidade e escalabilidade é alocar todo o sistemas, *softwares* e dados em nuvem (CEGIELSKI et al., 2012).

A gestão e controle dos processos logísticos podem ser realizadas em nuvem através de *softwares* como Sistema de Gerenciamento de Armazém (WMS - *Warehouse Management System*) e Sistema de Gerenciamento de Transporte (TMS - *Transportation Management System*), aliando todo o potencial destes sistemas com os benefícios que a computação em nuvem traz para seus usuários. Com isso, os processos logísticos alocados em nuvem resultam em facilitadores no fornecimento de produtos e pacotes de serviços agregados exigidos pelos clientes (LINDNER et al., 2010).

Para Vazquez-Martinez et al. (2018), a computação em nuvem é uma solução para empresas, pois ao oferecer suporte ao gerenciamento de informações com sistemas online e interconectados, gera maior flexibilidade aos processos logísticos das empresas.

Os *softwares* logísticos hospedados em nuvem proporcionam vantagens fundamentais para localização de mercadorias em trânsito através do uso de GPS e RFID que identificam localização e rastreiam a mercadoria. Essa é uma das principais características da computação

em nuvem para os processos da Logística 4.0. Os dados recolhidos a partir das tecnologias GPS e RFID permitem que os profissionais possam configurar um sistema para automatizar o envio e a entrega da mercadoria, possibilitando prever o tempo de chegada, além de monitorar detalhes importantes como controle de temperatura que pode impactar a qualidade do produto em trânsito (SHANKAR, 2015).

Além disso, com estes *softwares* operando através da computação em nuvem, é possível reduzir drasticamente os custos, pois todo o suporte é fornecido pelo provedor de serviço contratado. Assim, todas as funcionalidades desses sistemas ficam disponíveis em tempo real, acessadas de qualquer local com maior eficácia e menor custo (VAZQUEZ-MARTINEZ et al., 2018).

Já o *Big Data* é fundamental para controlar o fluxo de informações na logística. Considerando os resultados gerados pelas técnicas e análises apresentadas, é importante destacar o papel que o *Big Data Analytics* exerce na Logística 4.0 (ROBMANN et al., 2018).

O *Big Data Analytics* é uma tecnologia relevante para a Logística 4.0 fornecendo as ferramentas para dar suporte a tomada de decisões com auxílio de inteligência artificial em ambientes cada vez mais dinâmicos. Essa tecnologia pode significar benefícios importantes para as empresas como compreensão antecipada das tendências de mercado, previsão e modelagem dos padrões de compra de clientes, novas formas de reduzir custos e tomada de decisões de negócios de maneira mais assertiva com redução da influência do homem nas tomadas de decisões (WANG et al., 2016).

Quando dados das etapas operacionais são coletados e analisados, o gestor tem informação concreta e qualificada sobre o andamento dos setores, bem como sobre os erros, gargalos, pontos fortes e fracos de seu processo logístico. Desse modo, a tecnologia ajuda a minimizar os *leads times* e promove entregas mais rápidas com um preço de frete reduzido. Possibilita ainda mapear padrões de entrega e melhorar rotas de distribuição, auxiliando no dimensionamento da frota e consumo de combustível (WANG et al., 2016; ZHU et al., 2018).

Por fim o *Big Data Analytics* possui uma análise para prever o que acontecerá, através de cálculos matemáticos, explorando padrões de dados estatísticos, uso de simulações e algoritmos (TIWARI; WEE; DARYANTO, 2018). Com o uso de métodos quantitativos e qualitativos é possível estimar o comportamento do fluxo e armazenamento de mercadoria nos estoques. A incorporação da análise preditiva à analítica do *Big Data Analytics* pode ajudar a reconhecer padrões e tendências e prever cenários que podem afetar os processos logísticos da empresa (ZHU et al., 2018).

Já o *Blockchain*, por sua vez, é confiável para rastrear de maneira singular e uniforme no mundo inteiro as entregas realizadas em todo processo de distribuição, com alta aplicabilidade na Logística 4.0. A tecnologia possibilita a melhora na negociação entre as empresas, já que envolve total transparência e autonomia nas transações, proporcionando segurança e confiabilidade para todas as partes, de maneira desburocratizada, uma vez que dispensa intermediários (APTE; PETROVSKYB, 2016).

Na Logística 4.0 a tecnologia *Blockchain* pode atuar no registro das entregas feitas constantemente em todo o mundo, com vários atores envolvidos no processo, com canais diferentes para fluxos de informação e comunicação, em um sistema que possibilita transações de maneira transparente e segura (BROSS, 2017).

Segundo Delmolino et al. (2016), novos aplicativos transacionais que estabelecem confiança, responsabilidade e transparência são promovidos por meio da tecnologia *Blockchain*. Esses aplicativos são gerenciados pelos chamados contratos inteligentes. Um contrato inteligente é um *software* que armazena regras e políticas para negociar termos e ações entre as partes. Ele verifica automaticamente se os termos contratuais foram cumpridos e executa transações. Na Logística 4.0 esse fator possibilita um incremento de segurança nos processos que requerem sigilo, visto que a preocupação com roubo de dados e informações estratégicas, por exemplo ao utilizar sistemas em nuvem, é uma das grandes barreiras para o avanço destes sistemas. Assim, o *Blockchain* pode garantir maior segurança em alguns procedimentos específicos devido sua complexa cadeia de blocos criptografada e descentralizada.

A lógica de um contrato inteligente é verificada pela rede de usuários que chegam a um consenso sobre o resultado da execução do contrato, através do código gerado sempre que recebe uma mensagem de uma das partes e atualiza os livros contábeis se os termos da rede pública ou privada forem atendidos, garantindo a segurança de todos os participantes desde processos mais simples de transporte até operações mais complexas envolvendo informações e materiais de alta importância (PETERS; PANAYI, 2016).

Em casos como distribuição por caminhões entre empresas, é possível saber todos os detalhes do transporte. Com o controle das cargas, é possível rastrear caminhões onde estiverem e monitorar a segurança dos produtos e dos funcionários. Isso controla a integridade das mercadorias, com o recebimento de informações sobre situações circunstanciais envolvendo os caminhões, como acidentes e roubos. Com o rastreamento em tempo real e sem possibilidade de alterações, os gestores podem se preparar melhor e tomar decisões mais rapidamente (BROSS, 2017).

Segundo Apte e Petrovsky (2016), a tecnologia *Blockchain* é um avanço muito importante no registro, autenticação e validação de dados nos processos logísticos. Suas transações podem ser armazenadas na forma de contratos inteligentes dentro de uma rede *Blockchain*.

Por fim, a impressão 3D agrega um importante componente no cenário nos processos logísticos das empresas, visto que sua operação possui eficiência máxima em questões como fabricação de um produto personalizado, tempo de entrega, custos, volume, estoque e distribuição (RAYNA; STRIUKOVA, 2016).

Com os produtos podendo ser processados e fabricados no local, a personalização, conceito básico da Indústria 4.0, pode ser realizada com impacto mínimo dos processos logísticos externos. Produtos personalizados, em geral, utilizam volumes reduzidos de recursos e matérias-primas específicas, o que se tornaria um problema para a logística na obtenção destes itens em pequena quantidade pelo custo unitário e em grandes quantidades pelo custo total, mas que é eliminado com a produção de peças, formas e até produtos completos por impressão 3D (DURACH; KURPJUWEIT; WAGNER, 2017; KUBAC; KODYM, 2017).

Para Weller, Klerr e Piller (2015), a impressão 3D possibilita a fabricação de produtos personalizados sem o impacto de interromper o processo produtivo para realizar o *setup* de máquinas para essa produção e depois retornar à configuração original de produção da máquina. Isso resulta em redução drástica nos custos de fabricação, além de que não haveria necessidade de mão de obra, ferramentas e moldes para fabricar tais peças, pois os próprios moldes podem ser produzidos na Impressão 3D. Com isso, seria possível reduzir o número total de componentes que devem ser montados para criar um produto acabado. Isso afeta desde pequenos fabricantes até gigantes multinacionais.

Rayna e Striukova (2016) apontam a impressão 3D como uma ferramenta fundamental para produzir protótipos rapidamente sem interrupção do processo produtivo. Deste modo torna-se uma parte importante dos processos de manufatura, viabilizando a produção local de peças específicas e até produtos finais, evitando o estágio de distribuição física do produto de um fornecedor para a empresa.

A impressão 3D ultrapassa as barreiras do tradicional modelo de abastecimento de estoque nos processos logísticos, baseado na eficiência de produção, baixo custo e alto volume. O mercado de personalização é caracterizado pelo baixo volume de itens específicos, possibilitando a criação de trabalhos com um grau de complexidade que não é possível atender pelos meios tradicionais. Assim, torna-se possível obter produtos muito específicos quando a fabricação pode ser realizada através da manufatura aditiva, com um custo muito menor. A

impressão 3D tem o potencial de remontar estruturas de cadeia de suprimentos global estabelecidas como um novo sistema local (DURACH; KURPJUWEIT; WAGNER, 2017).

Por fim, o próprio cliente pode produzir um arquivo com a descrição do produto físico que deseja adquirir. O arquivo pode ser produzido em uma gráfica 3D para impressão do produto final ou transferir o arquivo para a empresa por meio de computação em nuvem. O produto final não será produzido pela obtenção de todas as matérias-primas dos fornecedores, e sim enviado do fornecedor para o cliente final e impresso em uma impressora 3D. Caso as impressoras 3D se tornem viáveis financeiramente e de fácil configuração, os produtos poderão ser impressos pelo próprio consumidor final. Contudo, os processos logísticos ainda estarão presentes nesta situação, pois haverá a relação de transporte e gestão de estoques dos insumos na impressão 3D para o abastecimento desta nova demanda. Além disso espera-se que ocorra apenas uma ramificação para novas necessidades, e não uma total migração (KUBAC; KODYM, 2017).

2.3 Indústria 4.0 no setor moveleiro

A indústria moveleira acompanha o processo evolutivo industrial, deixando de ser apenas indústria de produção em massa para concentrar cada vez mais esforços e recursos em customização para atender as necessidades dos clientes, seja em conceito modular ou mesmo para vendas direta ao varejo. Essa demanda por personalização acarreta em dificuldades que, pela particularidade dos processos produtivos e falta de marcas de expressão que monopolizem o mercado, tornam o setor moveleiro extremamente competitivo (VIDAL, 2011).

No Brasil, o setor de móveis se caracterizava inicialmente por empresas de pequeno porte, familiar e de produção artesanal. Os móveis eram fabricados com madeira maciça e quase sempre sob medida. A partir de 1936, o setor de móveis sofreu um significativo desenvolvimento, passando para sistemas de fabricação voltados à produção em massa, o que perdurou por décadas. A produção de móveis insere-se em cadeias globais de produção, em sua grande maioria na Ásia, com destaque absoluto para a China como maior fabricante mundial, e em outros países desenvolvidos em geral. As empresas que se destacam na liderança dessas cadeias buscaram especialização nas etapas que engloba o *design*, os projetos de pesquisa e desenvolvimento, e a arquitetura da distribuição, com o uso cada vez mais intenso de tecnologias em todos os seus processos (GALINARI et al., 2013).

Para Thoben et al. (2017), a aplicação de tecnologias automatizadas pode ser mais difundida em toda a indústria de fabricação de móveis, mesmo entre as pequenas empresas, e não apenas no processo produtivo. A má implantação de tecnologias, sem os devidos estudos

para seu retorno, corrobora com o fato de que a indústria de móveis asiática tem uma difusão relativamente baixa da Indústria 3.0, que foi uma precursora da quarta revolução industrial, e que isso pode prejudicar seriamente os esforços de mudança para a Indústria 4.0.

Ratnasingam (2015) aborda que os maiores investimentos iniciais necessários podem desestimular muitos fabricantes de móveis a explorar os benefícios da automação. Os fabricantes de móveis e outros fabricantes de produtos de madeira são confrontados com o fato de que seus produtos possuem baixo custo de mão de obra, o que poderia compensar quaisquer benefícios que poderiam ser oferecidos pela automação. Assim, o desejo de explorar a Indústria 4.0 é limitado e pode não ser realizado no curto a médio prazo devido seus custos elevados (BAHRIN et al., 2016).

Já Wenjia (2013) aponta que a realização de manufatura flexível por meio de *design* e manufatura digital apresentou novos desafios e oportunidades para a indústria de decoração tradicional. Além disso, devido à influência da *internet* móvel, dos padrões de consumo das pessoas, os modos de troca de informações sofreram grandes mudanças. A demanda por consumo personalizado é uma tendência que fez surgir novos serviços. Atender às expectativas dos clientes de produtos personalizados em meio a novas circunstâncias é um tema importante para empresas de fabricação de móveis

Dada a natureza intensiva de mão-de-obra da fabricação de móveis e das indústrias tradicionais de decoração de interiores, esses campos são muito influenciados pela reestruturação e atualização industrial. Com o modelo adequado de implantação gradual, a indústria de móveis pode iniciar um novo método de produção, acompanhando o conceito da Indústria 4.0, como evolução das tendências de fabricação, decoração, móveis personalizados e casas inteligentes (WU, 2016).

A indústria de móveis começa a se integrar no processamento digital e inteligente no desenvolvimento e *design* de produtos, fabricação, controle de processos, gestão de negócios e serviços de marketing, transformando assim a fabricação de produtos e a prestação de serviços de integração de sistemas domésticos. As tendências de desenvolvimento também serão impulsionadas pela inovação por meio da Indústria 4.0, uso intensivo da *internet*, integração cultural, customização, produção flexível e fabricação modular. A gestão das informações apresenta uma direção importante para mudanças futuras em direção a Indústria 4.0 (ZHU, 2017).

Novos processos de fabricação introduziram sistematicamente tecnologias avançadas na fabricação de móveis. Influenciada pela noção de produção em massa de móveis personalizados e produção descentralizada inspirada em técnicas de fabricação avançada, as empresas

realizaram pesquisas baseadas na personalização de móveis em grande escala e construção de informatização a partir de 2002. Assim, as pesquisas se concentraram em tópicos como informações da indústria de fabricação de móveis, aumento da competitividade, pesquisa de produção flexível de móveis, gerenciamento de dados de produtos de empresas moveleiras, utilização de código de barras para controle de produção e coleta automática de informações para móveis personalizados em massa (JIA; LI; DING, 2016).

Estudos também foram conduzidos para áreas inovadoras, aplicando a teoria à prática para realizar desenvolvimentos significativos e oferecer contribuições notáveis à pesquisa sobre tecnologias-chave na customização em massa da produção de móveis e fabricação digital. As descobertas forneceram uma base teórica importante e experiência prática para a Indústria 4.0 no setor moveleiro (ZHOU, 2015).

Na China, maior fabricante de móveis do mundo, com um aumento gradual na taxa de customização, a taxa de penetração de móveis customizados aumentou rapidamente junto com a expansão da indústria de reforma residencial. A receita média das empresas de móveis personalizados foi significativamente mais alta do que a das empresas de móveis acabados. De acordo com órgãos estatísticos chineses, um relatório anual de 2016 identificou que o mercado de móveis domésticos personalizados em 2016 foi de cerca de US\$ 30,15 bilhões, respondendo por 23,95% do mercado total de móveis na China. No entanto, as taxas de penetração customizadas eram diferentes: os armários personalizados foram os mais elevados, com cerca de 48,78%, portas personalizadas atingindo 19,51% e as taxas gerais de personalização em torno de 9,75%. Além disso, mais empresas de móveis personalizados continuaram a ser criadas e empresas de móveis acabados personalizaram parte de sua produção ou migraram totalmente para o modelo personalizado. Muitas empresas regionais e especiais de customização começaram a crescer e se fortalecer. Assim, a nova tendência de consumo doméstico mudou gradualmente para casas personalizadas, casas inteligentes e madeira ambientalmente sustentável. Os usuários que estão mais preocupados com a personalização de toda a casa tendem a considerar fatores-chave, como estilo de decoração, armazenamento e proteção ambiental (XIONG et al., 2018).

Com o rápido desenvolvimento de móveis personalizados, as tecnologias aplicáveis ao setor apresentam um novo ímpeto para a economia. As empresas de móveis também estão mudando a criação de valor das empresas, modernizando as tecnologias de informação e comunicação. A tecnologia digital está sendo incorporada gradualmente em produtos, serviços e processos domésticos. Tal incorporação é possível devido ao avanço tecnológico das empresas, empregando tecnologias da Indústria 4.0 para o desenvolvimento de seus processos.

As empresas estão envolvidas nos processos de negócios, bem como na entrega de serviços, envolvimento do cliente e troca de fornecedores e parceiros. A transformação digital também está moldando o cruzamento, a combinação, o desenvolvimento e as aplicações da tecnologia de *design* de produtos de móveis, tecnologia de fabricação com o uso de sensores conectados à *internet*, utilização de *softwares* diversos, computação em nuvem e tecnologia de rede. Assim, com a aplicação de todas essas tecnologias que fazem parte do conceito da Indústria 4.0, o sucesso das empresas de móveis digitalizados definiu o modo básico de sobrevivência para as empresas domiciliares no futuro e os caminhos para transformação e modernização. A tendência de transformação e aprimoramento digital tornou-se comum e constitui o núcleo estratégico de empresas relevantes (ZHI-HUI, 2017).

Na Indústria 4.0 a chamada fabricação inteligente se refere a um sistema integrado homem-máquina composto de máquinas inteligentes e especialistas humanos que conduzem atividades, como análise, raciocínio, julgamento, concepção e tomada de decisão no processo de manufatura. Através do uso de *softwares* e aplicativos tradicionais surgiram tendências na indústria moveleira que integram tecnologias como *big data*, *internet* das coisas, computação em nuvem, realidade virtual e inteligência artificial. O conceito da Indústria 4.0 representa o núcleo de uma nova rodada de revoluções científicas e tecnológicas na direção da digitalização, da conexão de máquinas e objetos em rede e da inteligência na manufatura. A fabricação inteligente é a base dessa evolução para criar produtos e serviços digitais altamente flexíveis e personalizados. O plano de médio a longo prazo tem ênfase nos custos operacionais, ciclos de produção e atendimento personalizado (WANG; ZHOU, 2016; XIONG, 2018).

Por meio do desenvolvimento tecnológico da Indústria 4.0, o objetivo é alcançar uma fabricação personalizada (sob demanda), flexível, de alta qualidade, baixo consumo de energia, digital, conectada em rede e inteligente. A digitalização é a base desse processo e das principais tecnologias. Extraída de sistemas computadorizados, a digitalização permite às pessoas codificar e decodificar sons, textos, imagens, dados e processos através de *softwares*. É possível também coletar, analisar, armazenar, transmitir, aplicar e processar informações para facilitar a padronização e o processamento de alta velocidade. A criação de mais modelos baseados em dados permitiu ao setor moveleiro a entrega de melhores produtos, serviços e experiências que melhoram a eficiência operacional, aumentam as bases de clientes e promovem o envolvimento dos funcionários (WANG; ZHOU, 2016).

Dado o desenvolvimento de fabricação inteligente junto com tecnologias como *big data*, impressão 3D, comunicação com rede móveis 5G e inteligência artificial, a competitividade central das empresas evoluiu da competição de baixo custo para o conteúdo tecnológico,

agregando valor aos produtos. As mudanças incluem a evolução de produtos simples para produtos elaborados e de fabricantes de produtos de móveis para fornecedores de soluções de sistemas. A competição empresarial foi estendida à toda a cadeia industrial, exigindo a capacidade de desenvolvimento e *design* colaborativo de produtos, manufatura flexível e acesso às necessidades dos clientes (ZHI-HUI, 2017).

Para Xiong et al. (2018), a fase inicial de implantação de tecnologias inclui reformulação no processo de vendas, redefinição nos conceitos de fabricação de móveis e *softwares* profissionais para a gestão de todos os processos. A cooperação de longo prazo levou à integração de processos. A utilização das tecnologias da Indústria 4.0 para as indústrias de móveis possibilitou a evolução dos processos produtivos. Essa evolução permitiu um atendimento com maior assertividade às necessidades dos clientes, incluindo serviços como a personalização de toda a casa, *design* com a computação em nuvem e *big data*, transformando a indústria de fabricação de móveis tradicional por meio de tecnologias de fabricação avançadas e introduzindo um novo modelo de customização em massa nas áreas de *design*, fabricação e vendas de móveis.

2.3.1 Logística 4.0 no setor moveleiro

O cenário de customização é também o que exige maior complexidade nos processos logísticos, possuindo maior variedade e menores volumes de materiais específicos, o que aumenta custos e prazos de entrega. Com isso, o uso de tecnologias avançadas aplicadas na logística proporciona vantagens significativas, já que a modularização e personalização são tendências cada vez maiores no setor moveleiro (DRAYSE, 2008; EMOBILE, 2016).

A Indústria 4.0 permite o uso de tecnologias aplicadas nos processos logísticos do setor moveleiro, com a possibilidade de gerar vantagens competitivas. Para Wang, He, Xu (2016), os consumidores procuram produtos e serviços personalizados, e através das ferramentas da Indústria 4.0, as indústrias tradicionais moveleiras podem obter produção flexível, estoque zero e outras vantagens associadas aos processos logísticos da Indústria 4.0. Processos logísticos combinados com tecnologias da Indústria 4.0 podem trazer diversos benefícios para a fabricação de móveis com estimativas de ganho como redução do tempo de chegada do produto no mercado de 20 a 50%, redução de custos com manutenção de 10 a 40%, aumento da produtividade de 3 a 5% e redução do tempo de inatividade da máquina em 30 a 50% (LECTRA, 2018).

Automação e tecnologias de computação já eram componentes intrínsecos da Indústria 3.0, que é de fato uma transformação revolucionária no cenário industrial moveleiro, porém

com menor ênfase a aplicações dessas tecnologias nos processos logísticos. Neste contexto, a evolução para a Indústria 4.0, com a aplicação de estações de trabalho computadorizadas, robótica e outras tecnologias de informação e informática tem sido generalizada em todos os processos de fabricação de móveis nos últimos anos. Assim, é dada uma atenção especial à aplicação de tecnologias automatizadas do ponto de vista operacional na indústria moveleira com abrangência significativa nos processos logísticos (XU; XU; LI., 2018).

A Indústria 4.0 já impacta na indústria de fabricação de móveis e os processos logísticos neste setor mostram os primeiros sinais de transformação de seu estado atual de aplicação de tecnologia automatizada limitada (THOBEN et al., 2017).

O conceito da logística da Indústria 4.0 na indústria moveleira abrange componentes como digitalização de processos, máquinas inteligentes, rede horizontal e vertical. A rede horizontal é a comercialização entre empresas que contribuem entre si com suas atividades em um modo cooperativo na produção ou comercialização de produtos semelhantes, enquanto que a rede vertical ocorre entre uma empresa e os principais agentes que fazem parte da sua cadeia de suprimentos. Nesse caso a cooperação acontece entre o negócio em questão e os seus parceiros comerciais, como fornecedores, prestadores de serviços, distribuidores e produtores. Trata-se de produzir móveis da maneira mais eficiente para atender às preferências do cliente através da aplicação de tecnologias digitais. Pode ser considerada como uma fábrica em rede, em que o lote mínimo de produção pode ser uma unidade apenas, sem impactar nos custos agregados aos processos logísticos. Esse processo exige uma constante alimentação de dados do chão de fábrica para a gestão da indústria, para garantir que os pedidos dos clientes sejam atendidos no prazo, e que este prazo seja pré-determinado com a maior precisão possível e que seja constantemente atualizado mediante alterações em qualquer etapa envolvendo todos os processos logísticos internos e externos (BAHRIN et al., 2016).

Ng e Kanagasundaram (2017) apontam que a automação em processos logísticos pode oferecer soluções para obter crescimento produtivo e financeiro em indústrias de mão de obra intensiva, como a fabricação de móveis. A aplicação de alta tecnologia e maior uso de automação pode promover maior agregação de valor ao produto, gerado por maior eficiência nos processos logísticos das empresas. Contrariando, assim, as intenções da maioria das fábricas de móveis de se contentar com soluções de automação de baixo custo e estações de trabalho autônomas que realizam tarefas repetitivas de alto volume.

De acordo com Bahrin et al. (2016), a presente aplicação de automação na indústria de fabricação de móveis na Ásia está focada principalmente na fabricação com base em painéis e chapas, em vez de madeira sólida ou outros tipos de produtos. Esta preferência entre os

fabricantes está associada ao nível de tecnologias automatizadas nas instalações de manufatura e é impulsionada pela maior eficiência nas operações logísticas com elevado uso de automação. Assim, o uso de painéis se dá pela necessidade de qualidade constante nos produtos e serviços, solicitações de prazos menores e mais assertivos, menor variedade de matérias-primas, custo unitário do produto final mais baixo, componentes padronizados e conformidade com vários padrões de qualidade, obtidos mais facilmente em móveis de fabricação mais simples a base de chapas.

Ratnasingam (2015) aborda que a fabricação de móveis com base em painéis aplicou um nível mais alto de automação em comparação à fabricação de móveis de madeira maciça, principalmente devido aos componentes padronizados e às matérias-primas utilizadas, aplicando as tecnologias automatizadas na fabricação de móveis e nos processos logísticos envolvidos.

O desenvolvimento em tecnologias na área da robótica e com a *internet* das coisas, associada ao uso de sensores, como em sistemas de detecção de defeitos em linha, sistema de acabamento por *spray* automático e estações de trabalho de controle numérico computadorizado, abriram caminho para uma maior automação nos processos logísticos envolvidos na fabricação de móveis. Assim, diversas características foram colocadas em prática em várias das operações, como gestão inteligente de estoque e transporte com maior controle em variáveis que afetam tempo de entrega e custos (NG; KANAGASUNDARAM, 2017).

Em análises com aplicação das tecnologias automatizadas entre os fabricantes de móveis foi determinado que alguns dos fatores preponderantes para o uso de tecnologias pelos fabricantes de móveis são: o menor custo unitário, maior produção, maior controle no tempo de produção e de entrega, gestão otimizada do estoque e redução de custos com transporte. Essas condições incentivaram os fabricantes de móveis a adotar algumas tecnologias presentes na Indústria 4.0 não apenas nos processos produtivos, mas também aplica-las nos processos logísticos. Por outro lado, os principais obstáculos para a aplicação de algumas tecnologias entre os fabricantes de móveis foram o alto custo do investimento, a falta de trabalhadores qualificados e até os salários dos trabalhadores atualmente baixos, que não gerava motivação para explorar essas tecnologias. Assim, o critério para o investir em tecnologias da Indústria 4.0 seriam os benefícios econômicos diretamente aplicados, com retornos a curto prazo (THOBEN et al., 2017)

Estudos de Ng e Kanagasundaram (2017) apontam que as motivações que influenciaram o uso de tecnologias automatizadas na indústria moveleira em alguns casos foram os meios mais adequados de fabricação de móveis e economias de altos salários, sendo que o alto custo

da mão de obra é muitas vezes compensado pelos investimentos em tecnologias automatizadas, o que também proporciona um período mais curto para o retorno sobre o investimento.

A indústria de móveis requer suportes técnicos em linhas de produção, transporte e logística de armazém inteligente, controle de processo de produção e centros de controle de produção. Isso inclui equipamentos, robôs, aquisição automática de dados de equipamentos e ferramentas de gerenciamento inteligentes, com o uso de sensores conectados na *internet* e transmitindo dados que são armazenados e processados em nuvem. O transporte e a logística inteligentes do armazém envolvem a criação automatizada de bibliotecas tridimensionais, veículos guiados automaticamente e sistemas de posicionamento de recursos. O controle inteligente do processo de produção concentra-se no planejamento e programação avançados, programação do processo de implementação, controle de logística digital e testes de qualidade digital (XIONG et al. 2017).

Um dos maiores ganhos da Indústria 4.0 na logística do setor moveleiro é sua aplicação no transporte em geral, com ganhos significativos em rotas e veículos. Através de uma infraestrutura para mapear operações digitais no espaço físico, com o uso de tecnologia da informação e tecnologia operacional que permita aos processos de produção uma visão direta dos pedidos dos clientes, torna-se possível otimizar a logística de transporte de móveis, já que esse é uma atividade que apresenta problemas complexos, com ampla margem para serem otimizados (HOEY, 2018).

2.3.2 Modelos de análise de maturidade da aplicação de tecnologias da Indústria 4.0

Um dos precursores em modelos de maturidade da Indústria 4.0 é North Rhine-Westphalia (NRW), que atua no mercado através de um modelo de maturidade aplicável em médias empresas. A partir do seu modelo aplicável foram desenvolvidos modelos teóricos na literatura, seja para a avaliação de maturidade de maneira geral da empresa, ou atuando em dimensões específicas. Um destes é o Modelo de maturidade de Logística 4.0, desenvolvido para avaliar os níveis de tecnologias associadas a Indústria 4.0 aplicadas nos processos logísticos. Ele se baseia em cinco níveis de maturidade iniciais para avaliação industrial geral, representando a transição da produção amplamente analógica para a produção totalmente automatizada e conectada. O nível de maturidade mais alto representa uma troca automática com empresas em toda a cadeia de suprimentos (STERNAD; LERHER; GAJŠEK, 2018).

O primeiro nível é referente a produção industrial analógica, manual e desconectada. No segundo nível, é introduzido o processamento digital de dados, que no terceiro nível se transforma em coleta automática de dados através de *softwares*. O quarto nível define um alto

nível de rede de processos individuais por meio de uma solução de *software* que realiza análise de dados automatizada e permite a fácil troca de dados entre outros programas. O quinto nível descreve a produção completamente em rede, com auxílio da inteligência artificial para a tomada de decisões. O sistema de informação usado pode identificar relacionamentos reais na produção de forma independente (STERNAD; LERHER; GAJŠEK, 2018).

Após aferir o nível de maturidade da Indústria 4.0, esse modelo possui posteriormente uma avaliação de maturidade de Logística 4.0, desenvolvido para analisar os níveis de tecnologias associadas a Indústria 4.0 aplicadas nos processos logísticos. O modelo abrange desde o uso de *hardwares* como sensores para *internet* das coisas e Impressão 3D até toda infraestrutura digital de *softwares* associados as tecnologias que integram o conceito da Indústria 4.0, como computação em nuvem, *Big Data Analytics* e *Blockchain* (STERNAD; LERHER; GAJŠEK, 2018).

A partir desse modelo de referência, foi identificada a utilização das tecnologias da Indústria 4.0 existentes nas empresas e que podem ser aplicadas nos processos logísticos. Assim, podem ser implementadas melhorias nos processos logísticos através da definição atual dos processos existentes e do nível de maturidade da Indústria 4.0 da empresa em contraponto com o uso das tecnologias da Indústria 4.0 ainda não utilizadas e que possam ser aplicadas para otimizar os processos no setor logístico (STERNAD; LERHER; GAJŠEK, 2018).

Já Leyh et al. (2016) apresentam o modelo de maturidade SIMMI 4.0 (*System Integration Maturity Model Industry 4.0 – Modelo de maturidade de integração de sistema da Indústria 4.0*), que representa a classificação realista da infraestrutura de TI (Tecnologia da Informação) da própria empresa que permite classificar seu cenário de sistema de TI com foco nos requisitos tecnológicos da Indústria 4.0. SIMMI 4.0 consiste em 5 estágios e cada um descreve várias características da digitalização, o que permite que uma empresa se avalie a partir do grau de maturidade de tecnologias. Este cenário pode ser descrito desde nenhum uso de TI na empresa para o uso máximo de TI. A *internet* das coisas e o uso de sensores para coleta de dados, conectados diretamente a *softwares* para análise e gestão, a utilização de tecnologias como computação em nuvem, *Big Data Analytics* e *Blockchain* são algumas das tecnologias apontadas como indicativo de nível máximo de maturidade no uso de TI no cenário da Indústria 4.0. Além disso, são apresentadas atividades recomendadas para cada estágio da digitalização, o que pode permitir que uma empresa atinja o próximo estágio de maturidade, e não necessariamente um avanço direto para o estágio máximo que certamente é mais difícil de implementar.

Por fim, Schumacher, Erol e Sihn (2016) apresentam o modelo de maturidade da Indústria 4.0 com nove dimensões e diversos itens atribuídos para avaliar a maturidade da empresa até o estágio da Indústria 4.0, determinando o nível de maturidade em cada uma das dimensões. O modelo foi desenvolvido utilizando conceitos multimetodológicos, desde uma revisão sistemática da literatura, a criação de um modelo conceitual e, por fim, métodos qualitativos e quantitativos para validação empírica. As dimensões observadas são Estratégia, Liderança, Clientes, Produtos, Operações, Cultura, Pessoas, Governança e Tecnologia. Essas dimensões são analisadas através de parâmetros que classificam o nível de maturidade das empresas de acordo com o quão alinhadas estão as estratégias em relação aos avanços tecnológicos. Para isso foram utilizados como critérios práticas alinhadas à transformação digital.

3 METODOLOGIA

Segundo Gil (2008), o conhecimento pode ser considerado científico ao ser realizado por operações técnicas e mentais que possibilitam a sua verificação, através do método que possibilitou chegar a esse conhecimento.

Método pode ser definido como o caminho para atingir um determinado objetivo, e método científico como o conjunto de procedimentos intelectuais e técnicos adotados para obter o conhecimento. Portanto, o trabalho desenvolvido em campo científico requer métodos adequados para sua elaboração e comprovação dos resultados, de acordo com os objetivos propostos (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Serão abordados nessa seção os métodos aplicados para o desenvolvimento do presente estudo, com o propósito de cumprir o objetivo geral e os objetivos específicos apresentados, em concordância com a problemática apresentada e a justificativa correspondente. Será apresentada a classificação da pesquisa, bem como as amostras estudadas e as técnicas aplicadas para coleta e análise de dados.

3.1 Classificação metodológica da pesquisa

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa exploratória de natureza aplicada, devido a geração de soluções para situações específicas encontradas na prática, com abordagem qualitativa utilizando o método de estudo de múltiplos casos. A pesquisa aplicada é utilizada para a resolução de problemas peculiares, não estando condicionada ao desenvolvimento de teorias, e sim na aplicação e consequência prática do conhecimento, de acordo com os conceitos da literatura de Gil (2017).

Já em relação ao objetivo exploratório, a pesquisa baseia-se na investigação do problema através da busca na literatura sobre o assunto abordado, expondo todo o conhecimento da questão com os estudos existentes. Posteriormente, serão obtidos dados através de entrevistas com funcionários das empresas ligados a questão de pesquisa, proporcionando relevante contribuição para atingir os objetivos da pesquisa. Esse conceito de pesquisa baseia-se na literatura de Turrioni e Mello (2012).

Segundo Cauchick Miguel e Sousa (2012), uma pesquisa pode ser classificada como qualitativa ou quantitativa, sendo a pesquisa qualitativa definida pela busca e obtenção de dados e fatos a partir do pesquisador como instrumento. Assim, pode confrontar a relação da dinâmica concreta de dados e informações com a subjetividade do sujeito, sem a necessidade do uso de técnicas estatísticas para atribuir significados e interpretar fenômenos, e sim com o objetivo de

interpretar o ambiente onde a problemática acontece. A abordagem qualitativa busca identificar e narrar os fatos que irão confrontar a problemática estabelecida com a obtenção de resultados para uma possível solução. Por fim, essa abordagem recorre à perspectiva do pesquisador justificada na revisão bibliográfica e na realidade subjetiva dos indivíduos.

Em relação aos procedimentos técnicos aplicados, foi inicialmente realizada a pesquisa bibliográfica dos principais trabalhos nas áreas de interesse da pesquisa, fornecendo dados e informações atuais e relevantes para o estudo. Assim, a literatura fornece o suporte contextual ao tema abordado, possibilitando o cruzamento de informações entre o que já foi estudado com os dados do estudo de caso, como preconiza Turrioni e Mello (2012).

Para Cauchick Miguel e Sousa (2012), após a revisão bibliográfica, deve ser realizado o planejamento do estudo de caso para a escolha do que será investigado e a quantidade de casos (único ou múltiplos) que serão estudados. Posteriormente, são determinados os instrumentos e métodos para coleta de dados, em geral com entrevistas (estruturadas, semiestruturadas ou não estruturadas). Esta coleta de dados deverá ser realizada em conjunto com pessoas das organizações que direcionem este levantamento para melhor absorção possível das informações de maneira verídica e relevante. A coleta de dados é finalizada no momento que as informações posteriores já não acrescentam mais relevância ao assunto. Após a coleta, os dados serão analisados e o pesquisador deve fornecer um relato do caso, compilando as informações em dados relevantes para apresentá-los. Os resultados devem estar relacionados com a revisão bibliográfica apresentada, sendo que a qualidade da pesquisa estará vinculada à confiabilidade e validade dos dados.

3.2 Procedimentos operacionais

Após a definição da questão de pesquisa sobre como as tecnologias da Indústria 4.0 podem ser aplicadas no setor logístico em pequenas e médias empresas, foram estabelecidos os objetivos desse estudo. Em seguida, foi iniciada a revisão bibliográfica para a estruturação e embasamento de toda a dissertação.

O levantamento bibliográfico identificou as definições e conceitos da Indústria 4.0, bem como suas tecnologias utilizadas. Ao aprofundar a pesquisa em relação aos processos logísticos da Indústria 4.0, chamada de Logística 4.0, foi realizado o filtro das principais tecnologias da Indústria 4.0 que são utilizadas nos processos logísticos, as quais foram devidamente citadas nos estudos abordados, que são a *internet* das coisas, Computação em Nuvem, *Big Data Analytics*, *Blockchain* e Impressão 3D.

Após a conceituação das tecnologias, foi então extraído da literatura os estudos sobre a aplicação destas tecnologias nos processos logísticos, com todas as características intrínsecas a cada tecnologia.

Com o aprofundamento na revisão, foi delimitado o estudo de casos múltiplos na indústria moveleira. A fabricação de móveis faz parte do grupo de setores tradicionais das indústrias brasileiras e mundiais, caracterizada pela presença predominante de micro e pequenos estabelecimentos e também com baixa identificação de produtos por suas marcas, fazendo com que a concorrência seja determinada diretamente por uma relação de atendimento as necessidades dos clientes quanto ao *design*, qualidade e preço (COSTA; HENKIN, 2012).

Depois, foram extraídos da literatura os estudos sobre a Indústria 4.0 no setor moveleiro, com as características encontradas no setor, principalmente projeções futuras, devido à baixa aplicabilidade atual. Posteriormente, foram abordados os estudos sobre a Logística 4.0 no setor moveleiro, com os poucos casos aplicados no mundo, devido à ainda baixa adesão no uso destas tecnologias, restrita principalmente a setores de tecnologia e informática.

Por fim a revisão bibliográfica forneceu os modelos de aplicações de tecnologias da Indústria 4.0 em estudos variados para aferir o nível de maturidade da Indústria 4.0 das empresas e o nível de maturidade do uso das tecnologias da Indústria 4.0 nos processos logísticos de maneira integrada ou para diferentes tecnologias estudadas isoladamente em modelos específicos. Estes modelos servirão de referência teórica para a elaboração do modelo a ser desenvolvido neste estudo.

Após a realização da revisão na literatura com a devida abordagem no setor moveleiro, foi delimitado a amostragem para a pesquisa, de acordo com as características de concorrência da indústria moveleira, inclusive com maciças disputas no mercado nacional e internacional com fabricantes de outros países. Para tal, fez-se necessária a identificação de empresas relevantes no setor para que a coleta de dados fosse representativa para os interesses do estudo em questão.

Assim, essa pesquisa define como unidades de análises três empresas do setor moveleiro localizadas no interior do estado de São Paulo, com suas classificações de porte de acordo com critérios de enquadramento por número de funcionários do IBGE, que define empresas de pequeno porte aquelas com 20 a 99 funcionários e empresas de médio porte com 100 a 499 funcionários (SEBRAE, 2018).

Essas empresas são referências em sua área por décadas de participação no mercado nacional e internacional e por utilizarem tecnologias de automação em seus processos produtivos. A empresa número 1 é de médio porte e atua no ramo de fabricação de móveis

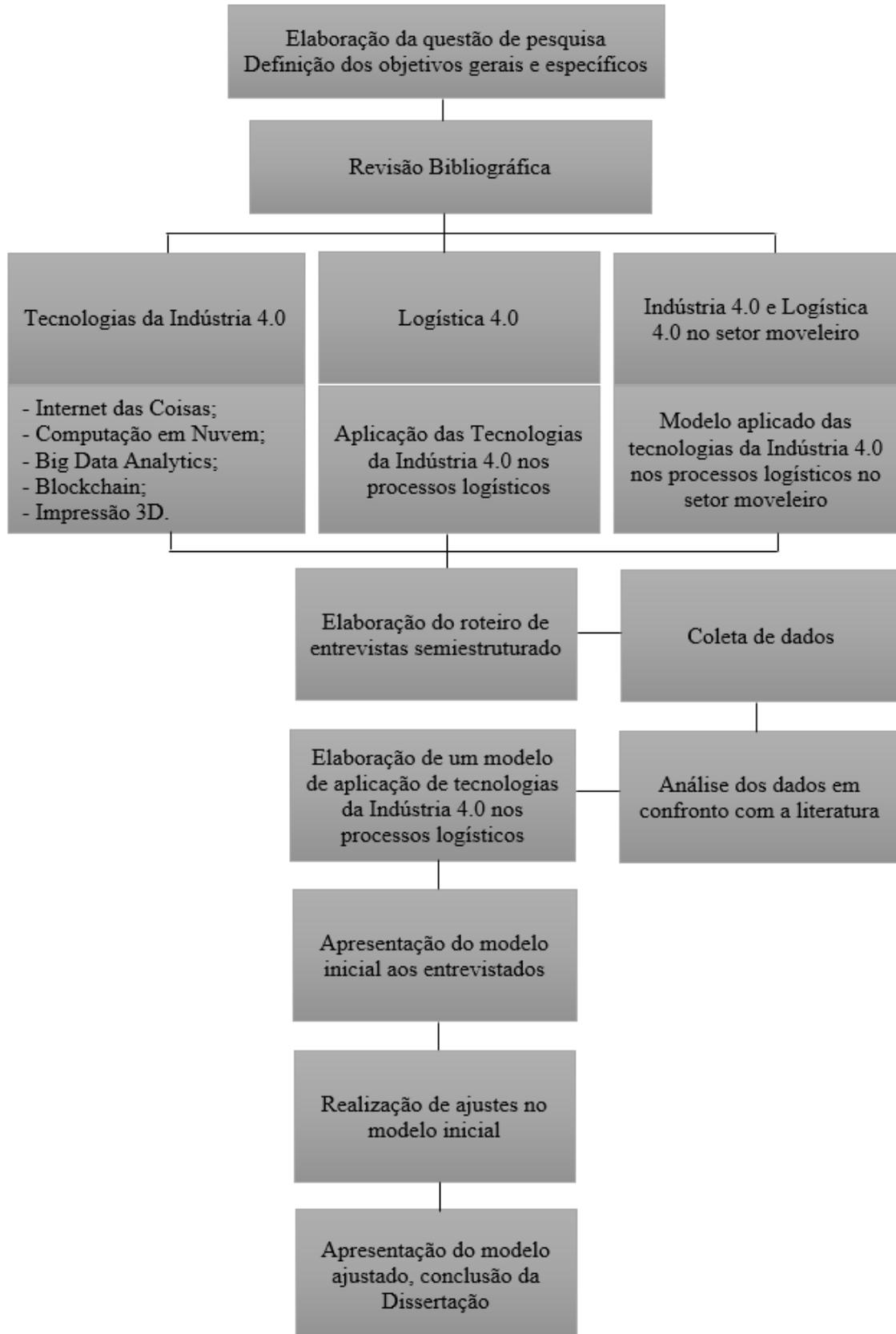
escolares, sendo referência no mercado nacional para atendimento predominante em licitações em todo território nacional. Conta com mais de 300 funcionários, instalações modernas e processos industriais quase que integralmente automatizados. Possui um quadro de funcionários com grande experiência no cargo em diversos setores diretamente ligados aos processos logísticos.

A empresa número 2 também é classificada como empresa de médio porte, atua em todo o território nacional e também exporta para os Estados Unidos, Emirados Árabes e alguns países na África, fabricando e comercializando móveis para usos diversos em linha residencial e comercial. Possui sistemas de automação espalhados pela fábrica, mas ainda conta com uma produção mecanizada sem automação em diversos setores da empresa. Contando com mais de 400 funcionários em suas instalações. Com quase cem anos de atuação, é uma empresa que adapta-se constantemente as tendências do mercado.

A empresa número 3 é classificada como pequeno porte, atuando em diversas regiões do Brasil com móveis de uso residencial. É uma empresa com menos processos automatizados em relação as empresas 1 e 2, possuindo diversos processos de beneficiamento com o uso de máquinas operadas por funcionários. Possui mais de 50 funcionários e compete no mercado interno contra grandes empresas do setor, disponibilizando seus produtos em lojas de revenda terceirizadas.

Estabelecido o cenário amostral da pesquisa, foi realizado o procedimento operacional para a elaboração desse trabalho. Na Figura 1 é apresentada a estrutura dos procedimentos metodológicos da pesquisa.

Figura 1: Estrutura analítica da dissertação



Fonte: elaboração própria

Após terminar o processo de pesquisa da literatura, foram definidos os instrumentos para a realização da pesquisa qualitativa. Como a abordagem da pesquisa é qualitativa definiu-se o roteiro de entrevistas semiestruturado como instrumento para a coleta de dados, a partir de entrevistas com funcionários diretamente e indiretamente ligados aos processos logísticos das empresas. Apresentando conhecimento nos assuntos abordados, os entrevistados responderam a perguntas abertas quanto as tecnologias abordadas na pesquisa. As perguntas foram elaboradas de acordo com cada etapa extraída na revisão bibliográfica e encontram-se no Apêndice A dessa dissertação.

Em concordância com as definições de Turrioni e Mello (2012), os critérios para a seleção da amostra de entrevistados em cada empresa foram definidos inicialmente pelo cargo ocupado, sendo requisitados cargos em nível de gerência, gestão ou supervisão e que as funções estivessem diretamente ou indiretamente envolvidas nos processos logísticos da empresa. Também foram escolhidos funcionários com maior tempo no cargo dentro da empresa ou com experiência na área em outras organizações. Esse processo de seleção possibilitou maior contribuição na coleta de dados. Após a definição dos funcionários e definido o instrumento de coleta, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com cinco funcionários de cada empresa, com cargos de gerência e supervisão.

Esses funcionários possuem atuação direta nas áreas de logística, produção, tecnologia, informática, financeira e administrativa, conforme detalha o Quadro 1, com vasta experiência na área, nos cargos ocupados, e com conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0, podendo relacionar o uso destas tecnologias de maneira aplicada aos processos logísticos das respectivas empresas, contribuindo assim com os objetivos da pesquisa.

Quadro 1 - Relação dos funcionários entrevistados para a pesquisa.

Cargo do Funcionário	Tempo no cargo	Grau de Instrução	Empresa
Coordenador de Logística	2 anos	Especialista	1
Supervisor de Logística	12 anos	Mestre	1
Gestor Comercial	3 anos	Especialista	1
Supervisor de Engenharia	14 anos	Especialista	1
Gerente de Produção	7 anos	Especialista	1
Supervisor de Logística	5 anos	Especialista	2
Gerente de Transportes	5 anos	Especialista	2
Gerente de Produção	12 anos	Especialista	2
Gerente Administrativo	22 anos	Especialista	2
Gerente de TI	7 anos	Especialista	2
Diretor Administrativo e Financeiro	23 anos	Superior	3
Gerente de Compras	10 anos	Especialista	3
Diretor de Produção	10 anos	Especialista	3
Gerente de Produção	15 anos	Superior	3
Gerente Comercial	13 anos	Especialista	3

Fonte: elaboração própria.

Segundo Duarte et al. (2009), as entrevistas semiestruturadas ocorrem com a possibilidade de que o entrevistado responda às questões de interesse com a intervenção do entrevistador apenas para complementar alguma informação ou retomar o entrevistado quando esse desvia do tema principal.

Assim, todos os dados coletados nas entrevistas através de gravações presenciais ou por telefone foram transcritos para análise e composição dos resultados. Com base nas entrevistas com os funcionários envolvidos nos processos logísticos das empresas, os dados foram analisados, confrontados com a literatura e concluídos com o parecer final do pesquisador do presente estudo.

Após a análise dos dados em confronto com a literatura, foi realizada inicialmente uma análise de maturidade do nível tecnológico das empresas para classificá-las como Indústria 1.0,

2.0, 3.0 ou 4.0, de acordo com modelos na literatura. Essa classificação foi necessária para posicionar o atual cenário tecnológico de cada empresa para a confecção do modelo inicial de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 nos processos logísticos, baseados nos modelos de maturidade existentes na literatura. Posteriormente, o modelo inicial foi apresentado aos funcionários entrevistados na pesquisa. Esta etapa trata-se do processo de verificação do modelo inicial, a partir da opinião técnica dos funcionários quanto a aplicabilidade de cada etapa sugerida. Após a verificação dos funcionários, foram realizados os ajustes no modelo inicial, criando-se então o Modelo final de aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 nos processos logísticos de empresas de pequeno e médio porte do setor moveleiro.

Os resultados da análise dos dados e da demonstração do modelo de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 nos processos logísticos são demonstrados através de textos e tabelas que possam evidenciar com clareza os resultados da pesquisa de acordo com a problemática do estudo. Estes resultados proporcionam identificar as possíveis consequências da utilização das tecnologias da Indústria 4.0 nas empresas estudadas.

Portanto, a proposta de apresentação do modelo de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 nos processos logísticos foi construída a partir dos dados coletados nas entrevistas com os funcionários, analisados e comparados com a literatura e validados por esses profissionais, buscando alcançar o objetivo desta pesquisa.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Caracterização das empresas

As três empresas objetos desse estudo estão localizadas no interior do estado de São Paulo. Elas possuem similaridades em seus processos produtivos e logísticos, com apenas algumas diferenças em relação ao uso de matérias-primas específicas para o atendimento aos seus públicos alvos. Porém, o nível de tecnologia empregada em cada uma delas é bem distinto, conforme levantamento com os funcionários, através de entrevista semiestruturada.

- **Empresa 1**

A empresa 1 possui aproximadamente 300 funcionários, quantidade que faz ser considerada de médio porte segundo classificação do Sebrae (SEBRAE, 2018). Possui predominância de produção de móveis de madeira e metal. O seu maior volume de produção é de carteiras e cadeiras escolares, com capacidade diária de produção em média de 3.000 unidades. Possui em seu mix de produção cadeiras estofadas, cadeiras de madeira, mesas de escritórios e escolares, armários de madeira, armários de aço, roupeiros de aço, gaveteiros e lousas. Parte de sua linha produtiva, como a marcenaria, serralheria (corte, dobra e solda) e pintura, é totalmente automatizada, contando com máquinas de última geração e robôs.

No processo produtivo, as peças de aço são beneficiadas na serralheria, sendo cortadas e dobradas conforme configuração do produto. As peças são consideradas padrões de acordo com a categoria de produtos, criando-se assim um estoque intermediário na própria linha de produção. Conforme a programação da fábrica, essas peças são enviadas para a solda e posteriormente para a linha de pintura para que se conclua o processo. Todo esse processo é realizado de maneira automatizada, com máquinas e robôs operados via *software* para as etapas de corte, dobra e solda.

Já na marcenaria e tapeçaria as matérias-primas são transformadas para subcomponentes que são estocados até que um pedido seja realizado. As chapas de madeira são beneficiadas em processos também automatizados, desde o corte, furação, pintura e acabamentos de borda. Já a tapeçaria é conduzida de maneira automatizada para o corte do couro sintético e das espumas. A costura e fixação de arrebites são realizadas por máquinas com o controle direto de um funcionário no manuseio das mesmas para execução das tarefas.

A montagem e embalagem de produtos são realizados diretamente pelos funcionários com o uso de máquinas. Esse processo é concomitante com o *check list* de verificação de qualidade de cada produto. Se houver falhas, o item é retirado da linha e alocado para setor específico

para correção ou desmonte da mesma. Já no caso de necessidade de peças auxiliares, como plásticos, parafusos, porcas, arrebites, entre outras particularidades, o setor de montagem faz a solicitação ao almoxarifado.

Em relação aos processos logísticos *inbound* e *outbound*, a empresa possui frota própria para coleta de matéria-prima e entrega de produtos acabados. Em alguns casos, como em aumento sazonal de produção, necessita terceirizar o transporte. Nessas situações a empresa conta com algumas transportadoras. Neste sentido, evidencia-se que a logística *inbound* possui fornecedores e processos de coletas bem definidos e padronizados. Já em relação a logística interna, como a grande maioria dos pedidos e peças são padronizadas o abastecimento tende a seguir o mesmo conceito sequencial. Em casos de pedidos diferentes, o setor de Compras indica suas necessidades para que a logística se planeje, e a retirada da matéria-prima junto ao fornecedor aconteça da melhor forma possível para que o abastecimento do material seja realizado.

A responsabilidade do setor Comercial é de receber o pedido do cliente e inseri-lo no sistema *Enterprise Resource Planning* (ERP), bem como detalhar suas particularidades como modelo, cor, tamanho, quantidade, entre outros. Com o pedido inserido no sistema, os processos produtivos se iniciam. Posteriormente esse setor também realiza a programação da produção, retornando essa informação ao setor Comercial e de Logística e acompanhando sua realização junto ao setor de Planejamento e Controle de Produção (PCP).

Destaca-se na logística interna a alocação e movimentação interna dos subcomponentes. Os materiais ficam próximos de suas próprias linhas produtivas aguardando o início da montagem para configuração do produto final. Os pedidos são repassados pelo setor Comercial para o setor de Logística, que realiza o acompanhamento do status de produção junto ao PCP.

Os pedidos montados e liberados para expedição são agendados para entrega aos clientes (devido ao volume de entrega e a necessidade do cliente em acondicionar em local apropriado). No estoque, para facilitar a movimentação e retirada dos produtos finais, eles são separados por modelo em ruas demarcadas. A logística *outbound* realiza a cubagem e indica a necessidade do tipo de transporte rodoviário para otimizar o frete.

- **Empresa 2**

A empresa 2 possui aproximadamente 400 funcionários, quantidade que faz ser considerada de médio porte segundo classificação do Sebrae (SEBRAE, 2018). Possui predominância de produção de móveis de madeira. O seu maior volume de produção é de móveis residenciais, com capacidade diária de produção em média de 1.200 unidades. Seu

portfólio de produtos inclui guarda-roupas, rack, mesas, gabinetes e conjunto para banheiro, setor que faz uso de mais materiais extras como cubas de porcelana, vidros e espelhos. Parte de sua linha produtiva, como processamento das chapas de madeira e o processo de pintura, é automatizada, contando com máquinas modernas para execução destas tarefas.

No processo produtivo as chapas de madeira de MDF (*Medium Density Fiberboard* - placa de fibra de média densidade) e MDP (*Medium Density Particleboard* - placa de partículas de média densidade) são processadas de acordo com o lote dos pedidos realizados, não havendo estoque de subcomponentes para posteriores processos. As chapas de madeira são beneficiadas em processos parcialmente automatizados, desde o corte, furação, pintura e acabamentos de borda. Em alguns processos há o emprego de máquinas manipuladas diretamente por funcionários, sem automação.

Para o setor de móveis para banheiro, as peças adicionais como cubas, espelhos e vidros vem prontas de fornecedores parceiros, não havendo processamento destes materiais, apenas montagem. A montagem e embalo de produtos são realizados diretamente pelos funcionários com o uso de máquinas e ferramentas mais simples, não havendo equipamentos de automação nesse processo.

Em relação aos processos logísticos, a empresa recebe as matérias-primas através do próprio fornecedor ou de transportadoras de terceiros. A entrega de produtos acabados, em geral, é realizada por caminhões próprios e, em algumas situações específicas, por transportadora de terceiros. No procedimento de embarque é realizada a identificação das caixas com códigos de barras, sendo providenciada a leitura em todas as caixas no processo de carregamento. Os dados são lançados no ERP da empresa e, em alguns casos, diretamente no estoque das lojas parceiras.

Em relação à logística interna, as chapas são adquiridas de acordo com a disponibilidade dos fornecedores e disponibilidade física da área de estoque, pois se trata de uma matéria-prima em escassez no mercado e com poucos fornecedores que conseguem atender grandes demandas. Para os outros materiais em geral, o estoque é abastecido diretamente de acordo com os lotes de pedidos, não havendo estoque adicional de peças sobressalentes, apenas o mínimo estabelecido para margens em caso de avarias ou defeitos nos produtos.

A empresa possui parceria com grandes lojas, e a informação do estoque das lojas é transmitida diretamente para a empresa de tal maneira que quando um cliente compra um produto através da *internet* em uma loja parceira, ele é faturado diretamente para a empresa. Conforme o estoque das lojas físicas vai diminuindo, os representantes já entram em contato para reposição.

- **Empresa 3**

A empresa 3 possui 50 funcionários, quantidade que faz ser considerada de pequeno porte segundo classificação do Sebrae (SEBRAE, 2018). Possui predominância de produção de móveis de madeira. Sua produção é de móveis residenciais, com capacidade diária de, em média, 400 unidades. Produz móveis para banheiro e cozinha, desde gabinetes simples em peça única até pacotes completos e bem equipados também para banheiro e cozinha. Para tanto, faz uso de materiais adicionais como cubas de porcelana, vidros e espelhos. Apenas sua linha de pintura é automatizada, com esse processo realizado por máquinas modernas.

No processo produtivo as chapas de madeira de MDF e MDP são processadas em lotes de pedidos. As chapas de madeira são beneficiadas com uso de equipamentos controlados por funcionários, não havendo automação no processo de corte, furação e acabamentos de borda. Para o setor de móveis para banheiro, as peças adicionais como cubas, espelhos e vidros vem prontas de fornecedores parceiros, não havendo processamento destes materiais, apenas montagem. A montagem e embalagem de produtos são realizados diretamente pelos funcionários com o uso de máquinas e ferramentas mais simples.

Já em relação aos processos logísticos, o recebimento de matérias-primas é realizado através do próprio fornecedor ou de transportadoras. Alguns itens menores como parafusos, arrebites, puxadores e outros são comprados em lojas especializadas próximas, fazendo a retirada com veículos da empresa. A entrega de produtos acabados é realizada por caminhões próprios e, em algumas situações específicas, por transportadora. Em relação a logística interna, as chapas são adquiridas em lotes já de acordo com a previsão de produção, considerando oscilação em torno de 15% a mais de demanda para pedidos adicionais dos clientes. Para os outros materiais, o estoque é abastecido diretamente de acordo com os lotes de pedidos, não havendo estoque adicional de peças sobressalentes, apenas o mínimo estabelecido para margens em caso de avarias ou defeitos nos produtos.

A empresa possui representantes que atuam diretamente no varejo, com uma carteira de clientes fixos, e que mantêm um itinerário de entregas regular. A logística interna é realizada de tal modo que um *software* calcula as matérias-primas necessárias para cada lote de produção, semanalmente. Essa demanda é descontada do atual inventário do estoque e então é gerada uma planilha para o controle manual de compras e do uso das matérias-primas.

Os pedidos montados e liberados para expedição são armazenados de acordo com a região onde serão entregues até que a carga referente a um dos veículos esteja pronta para o processo de embarque.

4.1.1 Classificação de maturidade do nível tecnológico das empresas

Após o levantamento dos processos industriais de cada empresa, com destaque aos seus processos produtivos e logísticos, foi realizada a compilação de todas as informações coletadas nas empresas para a classificação da maturidade de seu nível tecnológico. Para essa classificação foram utilizados modelos na literatura que identificam o nível de maturidade industrial das empresas, seja de maneira geral ou através de dimensões específicas, como nível de maturidade dos processos produtivos, da logística, uso de TIC, digitalização de processos, gestão, estratégia e recursos humanos. Para cada modelo foram determinadas categorias, como Indústria 1.0, 2.0, 3.0 e 4.0, que não necessariamente se relacionam com todos os aspectos dos estágios de evolução da Indústria mas sim com a maturidade de utilização de processos e tecnologias conforme descrito em cada modelo.

O modelo North Rhine-Westphalia (NRW), mencionado por Sternad, Lerher e Gajšek (2018), foi um dos precursores para avaliação e aplicação de tecnologias da Indústria 4.0, a partir de uma análise prévia da maturidade tecnológica realizado em médias empresas. A partir dele foram desenvolvidos na literatura modelos teóricos.

Um destes é o modelo de maturidade de Logística 4.0. Esse modelo desenvolvido por Sternad, Lerher e Gajšek (2018) é dividido em duas etapas distintas: na primeira efetua-se a classificação do nível de maturidade geral da indústria, e na segunda a classificação do nível de maturidade dos processos logísticos. Com isso, os resultados da primeira etapa e da segunda etapa do modelo foram apresentados separadamente como dois modelos, pois o nível de maturidade tecnológico geral da indústria e o nível de maturidade tecnológico dos processos logísticos não estão necessariamente no mesmo nível de maturidade.

A primeira etapa do modelo de Sternad, Lerher e Gajšek (2018) define cinco níveis de maturidade da Indústria 4.0 que representam a transição da produção amplamente analógica para a produção totalmente automatizada e conectada, sendo:

- **Primeiro nível:** referente a produção industrial analógica, manual e desconectada (para fins dessa pesquisa denominado como Indústria 1.0);
- **Segundo nível:** produção com introdução do processamento digital de dados (para fins dessa pesquisa denominado como Indústria 2.0);
- **Terceiro nível:** introdução da produção automatizada com coleta de dados através de *softwares* (para fins dessa pesquisa denominado como Indústria 3.0);

- **Quarto nível:** alto nível de automação na produção e conectividade em rede de processos individuais por meio de *softwares* que realizam análises de dados automatizada (para fins dessa pesquisa denominado como transição da Indústria 3.0 para 4.0);
- **Quinto nível:** descreve a produção completamente automatizada, em rede, com auxílio da inteligência artificial para a tomada de decisões. O sistema de informação usado pode identificar relacionamentos reais na produção de forma independente (para fins dessa pesquisa denominado como Indústria 4.0).

Com base no modelo de Sternad, Lerher e Gajšek (2018) de maturidade da Indústria 4.0, através do levantamento realizado *in loco* com os funcionários das empresas, foi constatado que:

- a) Empresa 1: possui o Terceiro nível de maturidade já implementado, além de possuir algumas características implementadas do Quarto nível de maturidade, devido ao elevado nível de automação no processo industrial. Porém, ainda necessita de maior conectividade entre máquinas e processos para poder evoluir a um processo de transição de Indústria 3.0 para Indústria 4.0;
- b) Empresa 2: possui o Terceiro nível de maturidade já implementado, e pequenos sinais de início do processo de transição para o Quarto nível, porém ainda distante;
- c) Empresa 3: tem o Segundo nível de maturidade totalmente implementado. Apesar de introduzir processos automatizados em algumas etapas da produção, ainda é bem limitado, necessitando evoluir diversos aspectos para iniciar a transição para um nível de Indústria 3.0.

Posteriormente, esse modelo de maturidade de Logística 4.0 de Sternad, Lerher e Gajšek (2018) verifica em uma segunda etapa a possibilidade de atingir o nível de maturidade logístico da Indústria 4.0, conhecida como Logística 4.0. Para tanto, esse modelo baseou-se em três dimensões, que são:

- 1) Gestão: investimentos, gestão de inovações, integração de cadeias de valor;
- 2) Fluxo de materiais: grau de automação e robotização em gestão de estoque e transporte, *internet* das coisas, impressão 3D, digitalização 3D, materiais avançados, realidade aumentada, produtos inteligentes;
- 3) Fluxo de informações: serviços baseados em dados, *Big Data* (captura e uso de dados), RFID, sistemas de localização em tempo real, sistemas de TI (ERP, WMS, sistemas em nuvem).

O modelo define cinco níveis de maturidade da Indústria e Logística 4.0, sendo estes níveis:

- **Primeiro nível (Ignorando):** não há ciência da necessidade de integração de tecnologias e nem conhecimento sobre soluções de melhorias de fluxo de materiais e do fluxo de informações (para fins dessa pesquisa denominado como Indústria 1.0);
- **Segundo nível (Definindo):** vê a necessidade de integração de tecnologias mas não sabe como gerencia-la. Tem conhecimento sobre soluções avançadas que melhoram o fluxo de materiais e de informações, mas não as utiliza (para fins dessa pesquisa denominado como Indústria 2.0);
- **Terceiro nível (Adoção):** integração das tecnologias é iniciada. Algumas soluções avançadas para melhorar o fluxo de materiais e de informações são implementadas (para fins dessa pesquisa denominado como Indústria 3.0);
- **Quarto nível (Gerenciando):** integração tecnológica na maioria dos níveis. Muitas soluções avançadas que melhoram o fluxo de materiais e de informações são implementadas (para fins dessa pesquisa denominado como transição da Indústria 3.0 para 4.0);
- **Quinto nível (Integrado):** integração total resultando em sinergia. Todas as soluções avançadas possíveis para melhorar o fluxo de materiais e de informações são implementadas (para fins dessa pesquisa denominado como Indústria 4.0).

Com base no modelo de Sternad, Lerher e Gajšek (2018) de maturidade de logística da Indústria 4.0, através do levantamento realizado *in loco* com os funcionários das empresas, foi constatado que:

- a) Empresa 1: possui o Terceiro nível de maturidade já implementado, mas sem dar mostras de avançar para um nível de transição de Indústria 3.0 para Indústria 4.0;
- b) Empresa 2: possui o Terceiro nível de maturidade implementado, porém necessitando de pequenos ajustes em alguns parâmetros analisados;
- c) Empresa 3: tem o Segundo nível de maturidade implementado, ainda necessitando de grandes avanços nos processos logísticos para iniciar a transição para um nível de Indústria 3.0.

Já o modelo de maturidade SIMMI 4.0 mencionado por Leyh et al. (2016) consiste em cinco estágios e cada um descreve várias características da digitalização a partir do grau de maturidade de tecnologias em TI como *internet* das coisas, computação em nuvem, *Big Data*

Analytics e *Blockchain*. Para tanto, esses estágios são avaliados de acordo com quatro dimensões, que são:

- 1) Dimensão - Integração vertical: esta dimensão se concentra nos componentes do nível mais baixo de uma empresa, no qual diferentes objetos físicos (produtos, máquinas) precisam trocar informações com o próprio nível e com os níveis superiores. O critério mais importante aqui é que essa troca seja possível em ambas as direções;
- 2) Dimensão - Integração horizontal: a Indústria 4.0 requer integração horizontal entre as diferentes redes de valor. Um fluxo de informações automatizado e integrado é necessário ao longo do nível empresarial horizontal. Sem esse fluxo de informações, uma rede de valor em toda a empresa não é realizável, o que significa que os vários sistemas corporativos dos diferentes parceiros nas redes de valor requerem interoperabilidade no nível de dados. Portanto, um fluxo de informações contínuo e consistente é necessário;
- 3) Dimensão - Desenvolvimento de produto digital: para a continuidade digital da engenharia é especialmente importante que cada etapa do processo seja representada digitalmente. Para este propósito, pelo menos um sistema empresarial deve ser integrado em cada etapa do respectivo processo. Além disso, os dados e informações resultantes de cada etapa devem ser encaminhados para o próximo nível;
- 4) Dimensão - Critérios de tecnologia transversal: esta dimensão se concentra em avaliar até que ponto as tecnologias são usadas em todos os diferentes campos da indústria 4.0. Com base nos requisitos, os respectivos campos são: *internet* das coisas, computação em nuvem, *Big Data Analytics* e Segurança de TI. Além disso, o nível de suporte que os sistemas corporativos podem fornecer para esses campos deve ser avaliado nesta dimensão.

Com base nessas dimensões, os cinco estágios do modelo SIMMI 4.0 de Leyh et al. (2016) são:

- **Estágio 1:** Nenhum processo de digitalização: a empresa não alcançou o processo de digitalização em nenhum nível, não fazendo uso de TI (para fins dessa pesquisa denominado como Indústria 1.0);
- **Estágio 2:** Nível básico de digitalização: os requisitos foram minimamente alcançados, se limitando ao uso de computação básica e equipamentos eletrônicos sem interação com outros equipamentos e sistemas. Os sistemas corporativos ao longo da cadeia de suprimentos da empresa suportam apenas seus respectivos campos de atividade. A

empresa não busca abordagens orientadas a serviços digitais e baseadas na nuvem (para fins dessa pesquisa denominado como Indústria 2.0);

- **Estágio 3:** Digitalização entre departamentos: a digitalização foi implementada em todos os departamentos. As informações podem ser trocadas automaticamente em alguns processos, entre diferentes departamentos e áreas de negócios. Este nível de integração não contém mais ilhas de dados dentro da empresa. Ainda faz uso de troca de informações por meio de papel, planilhas e e-mail. A troca de dados e informações não é automatizada (para fins dessa pesquisa denominado como Indústria 3.0);
- **Estágio 4:** Digitalização horizontal e vertical: os fluxos de informações foram automatizados. Para trocar informações dentro da empresa, os princípios da nuvem são aplicados. Os serviços estão disponíveis em toda a empresa e podem ser acessados remotamente. Os funcionários podem recuperar informações em qualquer lugar por meio de dispositivos móveis (para fins dessa pesquisa denominado como transição da Indústria 3.0 para 4.0);
- **Estágio 5:** Digitalização completa: as abordagens da Indústria 4.0 são ativamente seguidas e ancoradas na estratégia corporativa. Máquinas e produtos são exibidos nos dispositivos móveis assim que entram em seu alcance, podendo exibir informações adicionais sobre as máquinas (etapa de processamento atual, status de manutenção). A empresa possui serviços baseado na nuvem, trocando informações ao longo da cadeia de suprimentos em tempo real. Os dados são agregados e processados em toda a empresa. O chão de fábrica está em um nível altamente otimizado. A criptografia de dados está em toda a empresa. Os usuários podem acessar dados em qualquer lugar usando medidas de autenticação estabelecidas (para fins dessa pesquisa denominado como Indústria 4.0);

Para o modelo de Leyh et al. (2016), com base no levantamento realizado *in loco* com os funcionários das empresas, foi constatado que:

- a) Empresa 1: possui o Estágio 3 já implementado, com alguns pontos a melhorar. Conta ainda com pequenos aspectos característicos do Estágio 4, mas de maneira embrionária;
- b) Empresa 2: possui um mix de atendimento do Estágio 2 e Estágio 3, de tal modo que o terceiro já parece ser uma realidade, porém com muitos aspectos a corrigir e melhorar no Estágio 2 para enfim encontrar-se estabelecido no Estágio 3;
- c) Empresa 3: tem o Estágio 2 de maturidade implementado, com alguns pontos do Estágio 3 em processo de evolução.

Por fim, o modelo de maturidade da Indústria 4.0 de Schumacher, Erol e Sihm (2016) consiste em cinco níveis e cada um descreve várias características para analisar o grau de maturidade até o estágio da Indústria 4.0 em empresas de manufaturas de acordo com questões de gestão, aspectos organizacionais, estratégia e produto. Para tanto, esses níveis são avaliados de acordo com nove dimensões:

- 1) Estratégia: roteiro de implementação de estratégias, recursos disponíveis para realização e adaptação de modelos de negócios;
- 2) Liderança: vontade dos líderes, competências e métodos de gestão, existência de coordenação nas lideranças;
- 3) Clientes: utilização de dados do cliente, digitalização de vendas e serviços, competência de mídia digital do cliente;
- 4) Produtos: individualização de produtos, digitalização de produtos, integração de produtos em outros sistemas;
- 5) Operações: descentralização de processos, modelagem e simulação, interdisciplinaridade, colaboração entre departamentos;
- 6) Cultura: compartilhamento de conhecimento, colaboração da empresa para inovação de processos e produtos;
- 7) Pessoas: competências de TIC dos funcionários, abertura dos funcionários às novas tecnologias, autonomia dos funcionários;
- 8) Governança: regulamentações trabalhistas, adequação de padrões tecnológicos, proteção de propriedades intelectuais;
- 9) Tecnologia: existência de TIC moderna, utilização de dispositivos móveis, utilização de comunicação entre máquinas.

Com base nessas dimensões, os cinco níveis do modelo de maturidade Indústria 4.0 em questão são:

- **Nível 1:** relativo a indústria que não faz uso de tecnologia em questões estratégicas, organizacionais e de manufatura (para fins dessa pesquisa denominado como Indústria 1.0);
- **Nível 2:** relativo a indústria que faz uso limitado e obsoleto de tecnologias utilizadas em questões estratégicas, organizacionais e de manufatura (para fins dessa pesquisa denominado como Indústria 2.0);
- **Nível 3:** faz uso regular de tecnologias recentes em questões estratégicas, organizacionais e de manufatura. Porém necessita de maior integração entre essas

tecnologias, equipamentos e pessoas nos diferentes setores da indústria (para fins dessa pesquisa denominado como Indústria 3.0);

- **Nível 4:** faz uso regular das tecnologias mais recentes em questões estratégicas, organizacionais e de manufatura. Possui integração tecnológica na maioria dos setores da indústria (para fins dessa pesquisa denominado como transição da Indústria 3.0 para 4.0);
- **Nível 5:** faz uso das tecnologias mais recentes e inovadoras em questões estratégicas, organizacionais e de manufatura. Possui integração e comunicação digital em toda indústria entre setores, pessoas, equipamentos e produtos (para fins dessa pesquisa denominado como Indústria 4.0).

Para o modelo de Schumacher, Erol e Sihm (2016), com base no levantamento realizado *in loco* com os funcionários das empresas, foi constatado que:

- a) Empresa 1: possui o Nível 3 implementado e operacional, porém com pequenos aspectos que necessitam melhorias pois destoam dos processos característicos do nível de maturidade da Indústria 3.0;
- b) Empresa 2: transição em estágio final para o Nível 3, com processos bem implementados e operacionais, mas com vários aspectos a corrigir e melhorar para estabelecer-se no Nível 3, necessitando de melhorias consideráveis em alguns setores;
- c) Empresa 3: tem o Nível 2 de maturidade implementado, com alguns pontos do Nível 3 em processo de evolução.

Sintetizando os resultados das avaliações das empresas com base nos modelos da literatura, o nível tecnológico aferido de cada empresa de acordo com cada modelo de maturidade se encontra no Quadro 2.

Quadro 2 - Classificação das empresas estudadas conforme categorização definida.

EMPRESAS	MODELOS			
	Maturidade de Logística 4.0 – 1ª etapa	Maturidade de Logística 4.0 – 2ª etapa	SIMMI 4.0	Maturidade da Indústria 4.0
Empresa 1	Indústria 3.0	Indústria 3.0	Indústria 3.0	Indústria 3.0
Empresa 2	Indústria 3.0	Indústria 3.0	Indústria 2.0	Indústria 2.0
Empresa 3	Indústria 2.0	Indústria 2.0	Indústria 2.0	Indústria 2.0

Fonte: elaboração própria.

Desse modo chega-se à conclusão que a Empresa 1 é classificada como Indústria 3.0, com características desse conceito industrial bem sedimentados como uso de automação e de processos produtivos com auxílio da informática e uso da robótica em diversos processos produtivos, com apenas pequenos pontos a corrigir. A organização conta até com pequenas melhorias características da Indústria 4.0 como uso de sensores para controle automatizado de processos produtivos, mas nada ainda significativo que sugira um início de transição, e sim apenas a constatação do uso de alguma tecnologia de maneira isolada.

Já a Empresa 2 encontra-se em um processo de transição da Indústria 2.0 para a 3.0. Diversos processos e tecnologias já fazem jus ao conceito da Indústria 3.0, principalmente no chão de fábrica e nos processos produtivos com o uso de informatização e automação em diversas etapas do processo produtivo, porém fatores relacionados a gestão, estratégias, pessoas e geração e uso de dados ainda são característicos da Indústria 2.0, o que mostra que a transição ainda não foi completada.

Por fim, a Empresa 3 encontra-se no estágio da Indústria 2.0, apesar de possuir em suas instalações processos e características da Indústria 3.0, como uso de automação em alguns processos produtivos isolados. Porém, são consideráveis as lacunas existentes para uma classificação para Indústria 3.0, pois alguns processos são realizados com máquinas rudimentares, sem auxílio de eletricidade, além do baixo uso de informática na produção, o que posiciona a empresa em um processo de transição para a Indústria 3.0, mas ainda com um longo caminho a percorrer.

4.2 Percepção das empresas quanto a aplicabilidade de tecnologias da Indústria 4.0 nos processos logísticos

As entrevistas tiveram o propósito de identificar a percepção das empresas estudadas, através de seus funcionários, quanto a aplicabilidade de tecnologias da Indústria 4.0 nos processos logísticos. Os dados coletados e analisados revelaram que os entrevistados entendem a Indústria 4.0 como um conceito ainda incipiente no Brasil e no mundo, mas que seus ganhos podem ser significativos por se tratar do processo natural de evolução da tecnologia e dos processos no cenário logístico.

4.2.1 Indústria 4.0 e possíveis melhorias nos processos logísticos

Inicialmente, os entrevistados foram abordados sobre o conceito da Indústria 4.0 e as possíveis melhorias que essa evolução dos processos industriais poderiam ser agregadas nos processos logísticos

Os entrevistados da Empresa 1 entendem que os avanços tecnológicos da Indústria 4.0 trarão benefícios aos processos logísticos da empresa. Do ponto de vista do Supervisor de Logística, a Indústria 4.0 é uma evolução de todo o processo industrial, principalmente devido ao conceito de integração com toda a cadeia de suprimentos que envolve a concepção e venda de um produto ou serviço, visão que está em concordância com os conceitos abordados na literatura por Li (2017).

Esse profissional acredita que essa evolução na indústria é algo ainda sem previsão de implantação em sua empresa. Porém, as tecnologias da Indústria 4.0 podem perfeitamente ser usadas nos processos logísticos a curto e médio prazo, resultando em enormes ganhos no setor. Essa visão é a mesma de Witkowski (2017), que aponta o uso das tecnologias da Indústria 4.0 aplicadas na logística, criando um novo conceito conhecido como Logística 4.0 que impacta diretamente nos processos logísticos e se alinha com os requisitos necessários da integração da Indústria 4.0. Logo, o profissional está ciente dos ganhos proporcionados pelas tecnologias em sua empresa.

Os profissionais da Empresa 2, em geral, associaram novas tecnologias para possibilidades de melhorias principalmente nos processos de despachos de produtos, a fim de otimizar tempo e custo. Para o Gerente Administrativo da Empresa 2, novas tecnologias devem proporcionar maior precisão nas informações de gestão de estoque, carregamento e despacho, reduzindo erros nessas etapas. Ele entende que as tecnologias podem impactar na empresa como um todo, mas que de fato os principais ganhos estariam associados a logística, por se tratar de processos interconectados com todos os setores da empresa, desde a compra de matéria-prima, movimentação interna na indústria e despacho do produto. Seus argumentos vão de encontro com os de Drees (2016), ao abordar que a logística influi diretamente em todos os processos industriais. Assim, o entrevistado compreende a importância dos processos logísticos para a empresa como um todo.

Já os funcionários da Empresa 3 apontam melhorias desde a chegada da matéria-prima até a saída do produto final, pois quanto mais automatizados são os processos, menor serão os erros e maior será a produtividade. A gestão do tempo também seria otimizada, com auxílio de tecnologias que substituam o trabalho manual, citando que em alguns casos na empresa ocorre uso de planilhas digitais ou mesmo impressas. Na opinião dos funcionários, os processos são pouco evoluídos em relação às tecnologias já ofertadas no mercado. A opinião geral converge

com Kupfer (2016), o qual aborda quais as necessidades das empresas atualmente, considerando que a maioria ainda se encontra no estágio 2.0 da Indústria. Desse modo, os profissionais das empresas pesquisadas entendem as possibilidades de melhorias nos processos logísticos com o uso de novas tecnologias, mas sabem das limitações técnicas possíveis para a implementação dessas tecnologias.

4.2.2 Tecnologias da Indústria 4.0: aplicação e impacto nos processos logísticos

Os entrevistados foram questionados sobre as principais tecnologias da Indústria 4.0 e como elas poderiam ser aplicadas nos processos logísticos em suas empresas. De uma maneira geral, os entrevistados de todas as empresas constataram que as tecnologias mencionadas têm potencial para melhorar os processos logísticos. A única dúvida, em alguns casos, é sobre a atual capacidade da empresa de implementar determinada tecnologia e quanto a capacidade dos funcionários de operar ferramentas de uso pouco conhecido. A seguir esse trabalho providencia um detalhamento das considerações sobre as tecnologias da Indústria 4.0 analisadas.

- ***Internet das coisas***

Os entrevistados da Empresa 1 analisaram os impactos da *internet* das coisas nos processos logísticos de sua empresa, e suas opiniões foram na mesma linha, apontando que essa tecnologia possibilita muitos avanços nesses processos. Segundo esses profissionais, suas aplicações podem resultar ganhos inclusive no processo produtivo, mostrando-se uma eficaz tecnologia para a empresa de maneira geral.

O Coordenador de Logística e o Supervisor de Logística destacaram que o tripé que sustenta os processos logísticos é composto por redução de custos, otimização de recursos e melhoria de serviços, e que a Indústria 4.0 atuará no setor nessas três vertentes. O Coordenador de Logística indicou que algumas empresas parceiras já apontam redução de 15% de custos com combustíveis devido a gestão de indicadores no transporte através de sensores conectados à internet.

Este cenário está de acordo com o uso da tecnologia Internet das Coisas, que é a conexão de qualquer objeto à internet, gerando novos e inovadores serviços e aplicações que possibilitam maior eficiência na gestão de transportes na logística (LU, 2018). Portanto, nota-se que os profissionais da empresa estudada compreendem seus benefícios por conta da divulgação que é feita por seus parceiros de negócios.

Na Empresa 2, também há um consenso em relação aos benefícios que a tecnologia poderia proporcionar à logística. O Gerente de TI e o Supervisor de Logística abordaram a

necessidade do uso de ferramentas de rastreamento por meio de *softwares* para otimizar a roteirização das entregas. Esse rastreio, na visão dos entrevistados, poderia otimizar o tempo e custos no processo de despacho de produtos. Neste caso, o uso de sensores traria grandes impactos na empresa, pois como as peças estão se movimentando no processo, a possibilidade de ter o controle de todo este movimento no tempo exato, com comunicação e rastreabilidade, poderia proporcionar maior confiança nos processos, melhor relação de informação, atualização de status de pedidos com os clientes e o controle total de processo, tempo e recursos.

Essa visão é a mesma dos demais profissionais da organização, e vai de encontro com a literatura, que aborda o uso de sensores como etapa primordial no conceito da Indústria 4.0, possibilitando vantagem competitiva (LEE; LEE, 2015; HOMPEL; KERNER, 2015; OPPITZ; TONSU, 2018). Nota-se assim que os profissionais entendem que o uso desta tecnologia pode contribuir para melhorias na empresa.

Por fim, os entrevistados da Empresa 3 também apontaram benefícios associados ao uso da *internet* das coisas nos processos logísticos.

O Diretor de Produção e o Gerente de Comercial apontam que, como não há logística apenas no transporte, e sim em todo o processo interno, incluindo armazenamento e etapas de produção, a *internet* das coisas poderia contribuir para maior eficiência dos processos e para melhorar a comunicação geral com o setor comercial, devido a maior precisão das informações de prazos e estoque fornecidos pelo setor logístico. Apontam também que a *internet* das coisas poderá atuar na rastreabilidade de veículos, obtendo otimização de custos e aumentando a segurança, de colaboradores e cargas, tudo em tempo real.

Sua opinião converge com autores da literatura que abordam a *internet* das coisas como ferramenta que possibilita reduzir tempo e desperdícios com transporte (ZANELLA et al., 2014; MACAULAY; BUCKALEW; CHUNG, 2015; LU; PAPAGIANNIDIS; ALAMANOS, 2018), deixando claro que o uso desta tecnologia pode proporcionar não só melhorias diretamente nos processos logísticos como beneficiaria também o setor comercial.

Porém, os entrevistados das três empresas considerem que suas empresas não atingiram um processo totalmente informatizado, gerando assim algumas dúvidas quanto ao momento de implementar a *internet* das coisas na logística. Os profissionais da Empresa 2 e 3, por exemplo, apontam que como não há um processo rastreado do fluxo com precisão, seria interessante o uso desta ferramenta para obter informações específicas em tempo real. Mas para isso seria necessária uma metodologia muito bem trabalhada para implantar algo deste nível, visto que não é um processo simples.

Os profissionais entrevistados da Empresa 1 entendem que a rastreabilidade poderia ser realizada de maneira eficaz, podendo impactar positivamente nos processos logísticos internos. As opiniões dos profissionais das três empresas é a mesma de Tu (2018), que aborda o uso da *internet* das coisas como ferramenta que torna sincronizadas as informações dos processos logísticos, com geração e leitura de dados em tempo real, melhorando a eficiência do processo. Assim, apesar dos entrevistados compreenderem os possíveis ganhos com a ferramenta, eles entendem que existem dificuldades para implementá-la.

- **Computação em nuvem**

Em relação a Computação em nuvem, todos os entrevistados da Empresa 1 apontam que esse é um grande passo para um melhor aproveitamento de *softwares* diversos de maneira mais eficaz e aplicada, principalmente pelo acesso e processamento remoto, tal qual abordado por Wang et al. (2014).

Segundo relatos do Supervisor de Engenharia e do Gerente de Produção, a computação em nuvem demonstra ser aplicável na comunicação entre fornecedores, empresa, revendas e consumidor final. Se toda a informação gerada puder ser acessada pelas partes interessadas de maneira remota, para descobrir o nível de andamento de um projeto ou para montar um orçamento, por exemplo, sem a necessidade de uma infraestrutura própria, seria um enorme avanço que facilitaria controles internos da fábrica, melhor controle de estoque e maior eficiência na informação de prazos. Por fim, os profissionais mencionaram que sua implementação depende de alguns estudos para a empresa entender os impactos diretos que ela realmente traria, mas entendem que a empresa já tem infraestrutura suficiente para aplica-la na empresa e nos processos logísticos.

Esses relatos vão de encontro com a literatura, que aborda as maiores vantagens dos sistemas em nuvem como disponibilidade em tempo real e acesso de qualquer local com maior eficácia e menor custo (LINDNER et al., 2010). Assim, os profissionais ouvidos entendem que, além da melhor eficácia do sistema, haveria também uma relevante redução de custos.

Na Empresa 2 todos os funcionários identificaram grandes qualidades e avanços que a computação em nuvem tem a acrescentar aos processos logísticos. O Gestor Comercial e o Gerente Administrativo afirmaram que o uso de *softwares* de logística alocados em nuvem, como o TMS e o WMS, poderiam auxiliar tanto na questão dos transportes, possibilitando ganhos expressivos em custos e economia de tempo, como poderiam proporcionar uma visão global de todos os processos da fábrica de maneira dinâmica e com maior assertividade.

Apontaram também a possibilidade de visualizar todo o processo em um aplicativo no celular, mesmo estando em outra localidade.

Assim, nota-se que essa tecnologia traria potenciais melhorias como a possibilidade de saber o nível exato de um pedido, facilitando a comunicação entre logística e comercial, o que vai de encontro com a visão de Shankar et al. (2015) e também com a dos profissionais de logística ouvidos na empresa. Eles compreendem que a empresa ainda precisa avançar um pouco mais na informatização dos processos logísticos para que a utilização da computação em nuvem possa ser mais eficaz.

Já para os profissionais entrevistados da Empresa 3, a computação em nuvem pode elevar o nível geral da empresa para outro patamar, devido a diversas melhorias que a tecnologia traria aos processos logísticos e que, por consequência, impactariam diretamente na indústria como um todo.

Para o Gerente de Compras e o Gerente de Produção, essa tecnologia auxilia na gestão de estoque e armazenamento, disponibilizando de maneira fácil e intuitiva o acesso às informações e possibilitando que todos os setores da empresa visualizem os processos de maneira instantânea. Acrescentam também que os atuais sistemas em nuvens possuem maior flexibilidade para armazenamento e principalmente processamento, além do suporte técnico qualificado, sem o uso de servidores próprios, aumentando a eficiência que a computação em nuvem pode proporcionar para a logística.

A opinião desses profissionais é corroborada pelas pesquisas de Vazquez-Martinez et al. (2018). Logo, os entrevistados entendem que seria de grande importância o uso da Computação em nuvem para os processos logísticos da empresa.

- ***Big Data Analytics***

Quanto a tecnologia *Big Data Analytics*, há o entendimento de sua importância para os processos logísticos embora, em geral, os funcionários das três empresas demonstraram ter maiores dúvidas sobre a sua aplicação, seja por dificuldades com infraestrutura ou por falta de mão de obra qualificada.

Na Empresa 1, os funcionários apontaram os benefícios da tecnologia apesar de possíveis dificuldades para implementação. O Gestor Comercial e o Supervisor de Engenharia disseram que o importante do *Big Data* é, além da geração de dados, analisar estes dados de maneira precisa, com profissionais capacitados que saibam fazer a interpretação das informações e usar a inteligência artificial para tomada de decisões. Eles apontaram um certo

receio quanto a capacidade atual de implementar a tecnologia devido a dificuldade de obter profissionais que possam fazer a leitura correta do grande volume de dados gerados.

Porém os entrevistados entendem os benefícios da tecnologia, e apontam que essas análises de dados podem acarretar em melhorias na logística com ganhos de tempo de entrega, economia de recursos, se as entregas vão ser entregue a tempo, dentre outros fatores relevantes, assim como abordado na literatura por Wang et al. (2016). Dessa forma, os profissionais compreendem que a tecnologia é promissora e pode trazer ganhos à empresa.

Os funcionários da Empresa 2 também vão na mesma linha dos funcionários da Empresa 1 sobre o uso do *Big Data Analytics*. O Gerente de Transportes e o Supervisor de Logística indicaram que os ganhos do *Big Data* podem ser evidenciados nas etapas de envios de produtos, com o uso de *softwares* que auxiliem em situações que propiciem economia de combustível e otimização de rotas via inteligência artificial.

Trata-se de uma questão de vantagem competitiva e, mais que isso, sobrevivência no mercado, já que qualquer ganho que possibilite melhoria de margem, otimização de recursos e redução de tempo e custos, traria ganhos substanciais à empresa, assim como abordado por Zhu et al. (2018). Assim, os profissionais de logística entendem que o uso desta tecnologia e seus benefícios nos processos logísticos estariam atrelados mais ao processo de transporte.

Na Empresa 3, o Diretor Administrativo e Financeiro e o Gerente de Compras apontam que a empresa necessita de maior infraestrutura informatizada e mão de obra qualificada para realizar um bom uso do *Big Data Analytics*. A geração e análise dos dados auxiliaria a visualização total de todos os processos logísticos, como na gestão de estoque, o que influenciaria muito no total controle na quantidade de material estocado, valores de estoque e na otimização dos processos através da inteligência artificial. Assim, tornaria mais assertiva a tomada de decisão sobre qual o momento ideal para realizar novos pedidos e quais as quantidades adequadas de matérias-primas a serem compradas, podendo reduzir custos com estoque e direcionar esses valores para outros setores da empresa.

Essa tecnologia poderia ser implementada na empresa com o uso de *softwares*, o que vai de encontro com a literatura citada por Tiwari, Wee e Daryanto (2018), que indicam o uso de ferramentas do *Big Data Analytics* que possuem métodos de análise para prever o que acontecerá no negócio através de cálculos matemáticos, explorando padrões de dados estatísticos, uso de simulações e algoritmos. Desse modo, torna-se possível estimar o comportamento do fluxo e armazenamento de mercadoria nos estoques, podendo ajudar a reconhecer padrões, tendências e prever cenários.

- **Blockchain**

Sobre a tecnologia *Blockchain*, houve um consenso entre todos os entrevistados que esse é uma recurso importante relacionado a segurança de operações. Foi também a tecnologia em que os entrevistados demonstraram ter menor conhecimento e domínio, e que certamente seria a que levaria mais tempo para ser aplicada.

Na Empresa 1, o Gestor Comercial e o Gerente de Produção apontaram que quanto maior a presença de informações em formato digital e conectadas à internet, maior devem ser os protocolos de segurança, com uso de *softwares* com criptografia avançada. Assim, essas operações com impactos diretos na logística, com envolvimento de participantes de fora da empresa (fornecedores e clientes), podem ser realizadas com maior confiabilidade e transparência.

Na Empresa 2 o Gerente de TI e o Gerente Administrativo abordam questões de segurança associadas à rastreabilidade de matérias-primas e produtos, de maneira que as transações ocorram com maior segurança para todos os envolvidos, principalmente para exportação de produtos.

Por fim na Empresa 3 o Gerente de Produção e o Gerente Comercial apontaram que o *Blockchain* é um facilitador de transações, pois em caso de danos, acidentes ou roubo de cargas que geram desgastes excessivos e processos judiciais para resolver pendências, uma tecnologia que rastreie cada operação, a registre em um local seguro, transparente e confiável poderia auxiliar na solução desses problemas. Essas percepções estão de acordo com a literatura, que aborda a tecnologia como fator que eleva o nível de segurança de qualquer negociação devido suas características de registros imutáveis (APTE; PETROVSKYB, 2016).

Apesar do conhecimento relativamente limitado desta tecnologia, os entrevistados foram capazes de apontar os benefícios que ela pode proporcionar, mas ainda se nota a necessidade de um maior conhecimento sobre o tema para a sua aplicação.

- **Impressão 3D**

Por fim, a impressão 3D trouxe, em geral, dois principais aspectos para os entrevistados: primeiro a customização de peças específicas, o que em geral não é o forte das empresas, mas que é uma tendência de mercado e não pode ser ignorada, e segundo a produção de protótipos, que ocorre de maneira acelerada, não prejudica setores da produção que são interrompidos para fabricar protótipos e necessitam de um *setup* de máquina diferente, além de reduzir erros na escolha de matérias-primas para novos produtos.

Na Empresa 1 o Coordenador de Logística e o Supervisor de Logística afirmaram que a partir da adoção da impressão 3D seria possível verticalizar alguns processos e produzir peças que não são essenciais para a operação mas que trazem grandes custos quando são necessárias, otimizando tempo e custos.

Na Empresa 2 o Gestor Comercial e o Gerente de Transportes disseram que a impressão 3D possibilitaria que a empresa entrasse de vez na área de móveis customizados com maior margem de segurança, por evitar a compra elevada de matérias-primas específicas resultando em dificuldades relacionadas a gestão de estoque e custos, envolvidos no controle logístico das operações.

A opinião dos profissionais das duas empresas vai de encontro novamente com a literatura, considerando a abordagem de que a impressão 3D melhora a eficiência dos processos logísticos para itens customizáveis, já que todo o processo é realizado dentro da empresa (RAYNA; STRIUKOVA, 2016).

Assim, esses entrevistados entendem que a impressão 3D é peça fundamental para competir no mercado de itens personalizados.

Na linha da criação de protótipos, o Diretor de Produção e o Diretor Administrativo e Financeiro da Empresa 3 ressaltaram que a falta de um setor específico de desenvolvimento de novos produtos, principalmente devido a custos, faz com que a empresa se baseie sempre na concorrência para novos lançamentos, sem tomar a iniciativa de desenvolvimento com total autonomia de projeto. A impressão 3D poderia resolver essa pendência, pois necessitaria, na visão dos entrevistados, de menos esforço do ponto de vista de infraestrutura da empresa e de funcionários capacitados a exercer essas atividades.

Assim, seria algo de fundamental importância para evolução de projetos próprios da empresa. É importante notar que interromper o processo produtivo para acertar *setup* de máquinas para criar protótipos gera enorme custos e desperdícios de matéria-prima, e isso influi diretamente no cumprimento de prazos e atendimento pleno dos processos logísticos.

Esses relatos refletem também as pesquisas realizadas na literatura, que caracterizam o uso da impressão 3D como ferramenta para auxiliar em projetos sem interromper atividades da produção, além de permitir trabalhar com estoque limitado de determinadas matérias-primas específicas a um custo reduzido por fabricar as peças customizadas na própria empresa, não necessitando de grandes estoques (DURACH; KURPJUWEIT; WAGNER, 2017).

Assim, é possível concluir que os profissionais entendem que a impressão 3D pode agregar valor na empresa tanto em uma melhor gestão de tempo nos processos logísticos como em uma melhor gestão de estoque.

4.2.3 Necessidades da empresa em relação aos processos logísticos e modelo de aplicação

Após essa abordagem em relação as tecnologias, os entrevistados foram questionados sobre as necessidades da empresa relacionadas aos processos logísticos, e também se verificou sobre o modelo de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 na logística das empresas.

Foi então perguntado aos funcionários das empresas, em relação as tecnologias da Indústria 4.0 aplicadas nos processos logísticos que foram apresentadas na primeira etapa da entrevista, qual seria a mais atrativa para ser aplicada nos processo logísticos de suas empresas. O Quadro 3 indica os resultados dessa verificação.

Quadro 3 – Opinião de cada funcionário sobre qual tecnologia é mais atrativa

Cargo do Funcionário	Empresa	Tecnologia mais atrativa
Coordenador de Logística	1	Computação em nuvem
Supervisor de Logística		Computação em nuvem
Gestor Comercial		Computação em nuvem
Supervisor de Engenharia		<i>Internet das coisas</i>
Gerente de Produção		<i>Internet das coisas</i>
Supervisor de Logística		<i>Internet das coisas</i>
Gerente de Transportes	2	<i>Internet das coisas</i>
Gerente de Produção		<i>Internet das coisas</i>
Gerente Administrativo		Computação em nuvem
Gerente de TI		<i>Blockchain</i>
Diretor Administrativo e Financeiro	3	<i>Internet das coisas</i>
Gerente de Compras		<i>Internet das coisas</i>

Diretor de Produção		<i>Internet</i> das coisas
Gerente de Produção		Computação em nuvem
Gerente Comercial		Computação em nuvem

Fonte: elaboração própria.

Duas tecnologias se destacaram como as mais indicadas: *internet* das coisas, citada por oito profissionais, e computação em nuvem, citadas por seis funcionários. *Blockchain* teve uma citação.

A *internet* das coisas foi citada pelo Supervisor de Engenharia e Gerente de Produção da Empresa 1, pelo Supervisor de Logística, Gerente de Transportes e Gerente de Produção da Empresa 2, e pelo Diretor Administrativo e Financeiro, Gerente de Compras e Diretor de Produção da Empresa 3.

Esses profissionais indicaram que a *internet* das coisas seria a mais atrativa basicamente pelo mesmo motivo: essa tecnologia é a base de todas as tecnologias da Indústria 4.0 ao promover comunicação entre máquinas, peças, veículos, entre outros recursos. A geração de dados através dessa tecnologia é o passo inicial para que sejam implementadas melhorias nos processos logísticos baseadas no conceito da Indústria e Logística 4.0. Essa opinião é a mesma de Lu, Papagiannidis e Alamanos (2018), que de modo geral apontam que a *internet* das coisas é o pilar da Indústria 4.0, e seu início se dá por todo o processo de geração de dados que depende basicamente desta tecnologia.

Assim, apesar de entender a importância das outras tecnologias, esses entrevistados acreditam que todas estão atreladas ao uso da *internet* das coisas.

Na Empresa 1 o Gestor Comercial, o Coordenador de Logística e o Supervisor de Logística, na Empresa 2 o Gerente Administrativo, e na Empresa 3 o Gerente de Produção e o Gerente Comercial apontaram que a Computação em Nuvem é a tecnologia mais atrativa no momento, por ser aquela que suas respectivas empresas estariam mais preparada para investir de imediato e obter resultados mais diretamente, criando mecanismos e lapidando alguns processos. Os profissionais citaram também que para resultados a médio e longo prazo, a computação em nuvem seria mais interessante não só nos processos logísticos, mas para toda a sinergia da empresa de maneira interna e externa.

Essa opinião é corroborada por Thames e Schaefer (2016), que apontam a Computação em nuvem como peça chave na Indústria 4.0. Assim, é possível concluir que esses entrevistados entendem que através da computação em nuvem, com sua possibilidade de acessar informações e executar programas de maneira remota, sem o uso de um servidor próprio, uma empresa

poderia obter uma melhor integração interna e externa e reduzir custos com tecnologia de informação.

Por fim, o Gerente de TI da Empresa 2 citou o *Blockchain* como tecnologia mais atrativa para os processos logísticos. Por considerar possuir um bom domínio da tecnologia, ele entende que o *Blockchain* poderia proporcionar a curto prazo ótimos resultados quanto ao rastreamento em todas as etapas no envio de produtos. Como sua empresa trabalha com grandes volumes de exportação, ele afirma que em diversas etapas existem pontos cegos, como problemas com acidentes ou extravios que são situações com potencial risco para prejuízos ou problemas com clientes que possuem fatias significantes de compras na empresa.

Essa percepção é a mesma de Apte e Petrovskyb (2016), que apontam como características da tecnologia a confiabilidade para rastrear de maneira singular e uniforme no mundo inteiro as entregas realizadas em todo processo de distribuição, com alta aplicabilidade na Logística 4.0.

Após essa etapa, os entrevistados foram questionados sobre qual das tecnologias abordadas seria a menos atrativa de ser aplicada nos processos logísticos da empresa. Inicialmente todos os entrevistados disseram que nenhuma seria pouco atrativa, porém emitiram suas opiniões elencando suas respostas em termos de importância, escala ou maiores necessidades atuais. O Quadro 4 indica os resultados dessa verificação.

Quadro 4 – Opinião de cada funcionário sobre qual tecnologia é menos atrativa

Cargo do Funcionário	Empresa	Tecnologia menos atrativa
Coordenador de Logística	1	<i>Blockchain</i>
Supervisor de Logística		<i>Blockchain</i>
Gestor Comercial		<i>Blockchain</i>
Supervisor de Engenharia		Computação em nuvem
Gerente de Produção		<i>Blockchain</i>
Supervisor de Logística	2	Impressão 3D
Gerente de Transportes		Impressão 3D
Gerente de Produção		<i>Blockchain</i>
Gerente Administrativo		<i>Blockchain</i>
Gerente de TI		Impressão 3D
Diretor Administrativo e Financeiro	3	Impressão 3D
Gerente de Compras		Impressão 3D

Diretor de Produção		<i>Blockchain</i>
Gerente de Produção		<i>Blockchain</i>
Gerente Comercial		<i>Blockchain</i>

Fonte: elaboração própria.

Novamente duas tecnologias dominaram as respostas e uma apareceu com uma indicação. Nove funcionários responderam como menos atrativa o *Blockchain*, cinco funcionários responderam impressão 3D e um funcionário optou por computação em nuvem.

Houve um padrão de respostas em relação ao momento atual de cada empresa. No caso da Empresa 1, que dentre as três empresas é a que faz maior uso de tecnologias de automação, os funcionários entendem que, em relação as duas tecnologias que em geral foram consideradas menos atrativas, há uma maior importância da impressão 3D. Esses profissionais entendem que se trata de uma tecnologia que permite estarem um passo à frente das concorrentes, produzindo protótipos sem que seja necessário interromper processos produtivos. Com isso, as indicações gerais na Empresa 1 como tecnologia menos atrativa predominaram em *Blockchain*.

Já nas Empresas 2 e 3 houve um maior equilíbrio entre *Blockchain* e impressão 3D, especialmente pelos entrevistados não compreenderem ainda toda a dinâmica necessária para a implementação e extração de vantagens oferecidas por essas tecnologias.

Em geral, os entrevistados indicaram o *Blockchain* como menos atrativa por entenderem como a mais difícil de ser acessível atualmente, principalmente por clientes e fornecedores que provavelmente não se enquadrariam neste contexto, sendo mais viável em exportações (motivo pelo qual o Gerente de TI da Empresa 2 indicou essa tecnologia como a mais atrativa).

As opiniões sobre *Blockchain* como menos atrativa estão de acordo com o conceito da tecnologia, já que ela é uma ferramenta que engloba a participação de fornecedores e clientes, que poderiam não estar familiarizados com a tecnologia (APTEA; PETROVSKYB, 2016). Assim, apesar dos profissionais observarem suas vantagens, entendem também que é uma tecnologia a ser utilizada a médio e longo prazo, com menor aderência atualmente. Todavia ressalta-se novamente que os entrevistados demonstraram menor conhecimento dessa tecnologia, o que pode influir em suas respostas.

Já a impressão 3D foi indicada por funcionários nas empresas 2 e 3. Apesar de citarem as vantagens do seu uso, essa indicação teve como justificativa a customização de móveis, que deve ganhar espaço nas empresas, mas não parece ser uma necessidade atual que justifique o uso da tecnologia. Os profissionais indicaram que a produção de protótipos tem maior potencial

para impactar nos processos logísticos a curto prazo. Porém, dentre todas as tecnologias, acreditam que seria a menos expansiva e que traria em relação as outras um menor benefício.

Suas opiniões convergem com os autores Durach, Kurpjuweit e Wagner (2017) e Kubac e Kodym (2017), que apontam como principal vantagem da impressão 3D a capacidade de fabricar produtos específicos com máxima personalização, sem que sejam necessários grandes estoques de uma determinada matéria prima, sendo um conceito básico da Indústria 4.0 com grandes impactos nos processos logísticos.

Por fim, o Supervisor de Engenharia da Empresa 1 indicou que a tecnologia menos atrativa no momento seria a computação em nuvem pois, das tecnologias existentes, o que a empresa tem de mais próximo hoje seria acessar o servidor da empresa através da internet, sem necessariamente ele estar conectado em nuvem. O acesso por nuvem poderia proporcionar vantagens como maior velocidade de acesso e maior capacidade de processamento, o que certamente geraria ganhos. Todavia para o profissional isso pode ser atualmente realizado por um servidor próprio, diferente das outras tecnologias que não tem um substituto semelhante.

Sua opinião vai de encontro com a tecnologia que ele julga mais atrativa, que é a *internet* das coisas, considerada o pilar da Indústria 4.0 (LU; PAPAGIANNIDIS; ALAMANOS, 2018), mas diverge da literatura em relação aos ganhos proporcionados pela computação em nuvem, pois ela por si só já possibilita enormes ganhos nos processos logísticos, independente do uso das outras tecnologias que fazem parte do conceito da Indústria e Logística 4.0 (LINDNER et al., 2010; VAZQUEZ-MARTINEZ et al., 2018).

Por fim, os funcionários foram questionados em relação as maiores necessidades de suas empresas em relação a tecnologias para o uso nos processos logísticos.

Os funcionários das três empresas concordam em geral que para a logística *inbound* as empresas necessitam de melhor uso de tecnologias de comunicação e uso de conectividade em tempo real proporcionadas pela computação em nuvem. O Gestor Comercial da Empresa 1 afirmou que a empresa deveria evoluir muito no elo entre fornecedor, produção e a logística, e que isso poderia ser realizado através da computação em nuvem, pois atualmente toda checagem de *status* de pedidos é realizada manualmente. Ter essa informação em tempo real e de maneira assertiva aumentaria muito a credibilidade e confiabilidade junto aos clientes.

Assim, ter a visão total da empresa para controle dos pedidos se torna um dos grandes trunfos da computação em nuvem relacionado a logística, mesma opinião abordada na literatura por Wang et al. (2014). A literatura, assim, corrobora sua visão quando aponta a computação em nuvem como tecnologia relevante da Indústria 4.0.

Já em relação a logística interna e gestão de estoques, para muitos funcionários esses são os processos que carecem maior evolução nas empresas. O Supervisor de Logística da Empresa 1 e o Supervisor de Logística da Empresa 2 apontaram que a computação em nuvem junto com a *internet* das coisas trariam grandes benefícios na gestão de estoques. O funcionário da Empresa 1 aponta que poderiam ser disponibilizadas melhores informações no chão de fábrica, com exibição de dados e informações em painéis digitais, de forma preventiva ao invés de corretivas. Possibilitaria também a visualização de todo o processo, o que acarretaria em tomadas de decisões mais assertivas, até com auxílio da inteligência artificial.

Essa constatação vai de encontro com a literatura, que aborda a *internet* das coisas e a computação em nuvem como tecnologias com grande potencial de gerar vantagens competitivas em relação a gestão de estoques (LU; PAPAGIANNIDIS; ALAMANOS, 2018; MITRA et al., 2017). Isso ressalta a importância dada pelos profissionais diretamente da área de logística ao uso dessas tecnologias.

Por fim, em relação a logística *outbound*, a gestão de dados no processo de despacho de produtos e a falta de recursos tecnológicos aplicados no transporte são os grandes pontos a serem melhorados com o uso de tecnologias aplicadas nos processos logísticos.

O Gerente de produção da Empresa 3 aponta que os dados e informações na empresa em relação a *status* de pedidos e entregas são estimados sem nenhum controle estatístico, sendo realizado por experiência dos funcionários, e que muitas vezes não há como passar uma informação exata de prazos e andamento de pedidos. Isso acaba gerando informações na base de suposições e previsões, sem qualquer estimativa certa com o uso de dados confiáveis. Assim, o uso da *internet* das coisas poderia transformar todo este processo de geração de dados para solucionar esses problemas. Essa opinião vai de encontro com o abordado na literatura sobre a geração de informação através do uso de sensores (VARGHESE; TANDUR, 2014, TRAPPEY et al., 2017). O raciocínio converge novamente para o uso da *internet* das coisas como tecnologia mais atrativa da Indústria 4.0 nos processos logísticos.

Finalizando as entrevistas, os funcionários das empresas foram questionados sobre quais as características e configurações que eles esperam de um modelo de aplicação de tecnologias nos processos logísticos.

Na Empresa 1 o Supervisor de Logística e o Coordenador de Logística esperam que o modelo de aplicação de tecnologias apresente ampla aplicação e integração em todos os processos logísticos da empresa. Já o Gestor Comercial indica que o modelo deve integrar toda a comunicação de dados da empresa e tornar as previsões de prazos para entrega de produtos precisas através de ferramentas que possibilitem a gestão de estoque e controle de prazos.

Por fim, o Supervisor de Engenharia e o Gerente de Produção indicaram que o modelo deve criar sinergia entre todos os setores da empresa de tal maneira que os processos produtivos possam apresentar um controle de prazos que hoje ele não possui. Isso melhoraria a eficácia na gestão de estoques e possibilitaria à empresa melhorar todos seus setores, não apenas a logística, a elevando a um novo patamar e rompendo barreiras que hoje a limitam.

Na Empresa 2, os funcionários indicam que a empresa encontra-se em uma boa posição atualmente no mercado. Eles esperam que um modelo venha para manter esse patamar da empresa e poder ampliar operações internacionais através de maior controle de prazos e redução de custos. O Gerente de TI apontou que o modelo poderia impactar nos processos logísticos de tal maneira que otimizaria a gestão interna, podendo resultar até em aumento de produção. Com isso, ele espera obter redução de prazos e custos. Ele espera que o modelo torne os novos programas e ferramentas totalmente integrados com os *softwares* de gestão da empresa.

O Supervisor de Logística e o Gerente de Transportes esperam que um modelo de aplicação de novas tecnologias indique suporte de mão de obra qualificada dentro da empresa para se tornar um investimento assertivo, visando principalmente a questão de rastreamento de produtos e telemetria de veículos. O Gerente de Produção e o Gerente Administrativo esperam que o modelo proporcione um salto tecnológico relacionado a informatização dos processos logísticos, podendo visualizar qualquer dado relacionado a logística em tempo real.

Por fim, na Empresa 3, o Diretor de Produção e o Gerente Comercial esperam que o modelo resolva muitos problemas e supra lacunas associadas aos processos logísticos que a empresa tem dificuldades, apontando que a empresa possui limitações que a impede de crescer, e a maior dificuldade é obter novas tecnologias sem saber exatamente como fazer isso. O Diretor Administrativo e Financeiro e o Gerente de Compras também vão nessa direção, dizendo que a maior dificuldade é saber como implementar as tecnologias, como elas seriam utilizadas e como mensurar seu retorno, e que eles esperam que o modelo tenha um suporte detalhado de como ocorreria todas essas melhorias passo a passo.

As opiniões dos funcionários estão em sintonia com a literatura. Xiong et al. (2017) e Hoey (2018) apontam que as tecnologias da Indústria 4.0 aplicadas aos processos logísticos no setor moveleiro possibilitam ganhos em redução de custos, redução de prazos, maior controle operacional e otimização de atividades, tornando possível melhorar os processos logísticos da indústria moveleira, já que esse é uma atividade que apresenta problemas complexos, com ampla margem para serem otimizados (HOEY, 2018).

4.3 Modelo de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 nos processos logísticos

Após a classificação de maturidade do nível tecnológico das empresas e entrevistas com funcionários para verificar a percepção das empresas em relação à aplicabilidade de tecnologias da Indústria 4.0 nos processos logísticos, foi desenvolvido o modelo de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 nos processos logísticos através da compilação dos dados já analisados combinados com os estudos da literatura apresentados neste trabalho.

O modelo foi desenvolvido com o objetivo de identificar as tecnologias da Indústria 4.0 aplicáveis nos processos logísticos de indústrias do setor moveleiro. A literatura trouxe as informações de quais tecnologias são utilizadas na Indústria 4.0 e quais possuem aplicação nos processos logísticos. Posteriormente foi identificada a atuação da indústria moveleira no uso das tecnologias da Indústria 4.0 e como o setor moveleiro tem se desenvolvido em relação aos seus processos logísticos.

Com essas informações, foi possível realizar o levantamento de dados junto aos funcionários das empresas estudadas, expondo a eles quais as tecnologias da Indústria 4.0 são utilizadas nos processos logísticos para então extrair, através de uma entrevista semiestruturada, quais os resultados esperados do uso dessas tecnologias nos processos logísticos de suas empresas. No final da entrevista, foi solicitado aos entrevistados a identificação de quais as maiores necessidades das empresas em relação a logística, e o que os entrevistados esperavam de um modelo de aplicação de tecnologias. Assim, pode-se concluir toda a coleta de dados para a produção do modelo inicial de aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 no setor moveleiro.

O modelo foi baseado na literatura com destaque para os modelos de Sternad, Lerher e Gajšek (2018), Leyh et al. (2016) e Schumacher, Erol e Sihm (2016). Seus modelos fundamentam-se em dimensões analisadas e em estágios ou níveis de desenvolvimento de cada parâmetro estudado.

Para propor o modelo de tecnologias da Indústria 4.0 aplicados na logística, seu formato foi delimitado com cinco dimensões relacionadas as atividades dos processos logísticos da indústria moveleira, que são:

- 1) Recebimento de matérias-primas;
- 2) Armazenamento e retirada de matérias-primas do estoque;
- 3) Fluxo de matérias-primas e produtos na produção;
- 4) Armazenamento e separação de produtos para despacho;
- 5) Expedição de produtos;

Essas dimensões foram criadas através da percepção das necessidades apontadas pelos funcionários das empresas estudadas em conjunto com as necessidades identificadas pelos autores nos modelos de Sternad, Lerher e Gajšek (2018), Leyh et al. (2016) e Schumacher,

Erol e Sihn (2016), além de toda a revisão da literatura abordada sobre as tecnologias da Logística 4.0, resultando na utilização de tecnologias da Indústria 4.0 que possibilitem melhorias nos processos logísticos das empresas.

Já as tecnologias que são abordadas no modelo são as mesmas consideradas como relevantes para a Indústria 4.0 nesse trabalho, a saber:

- a) *Internet* das coisas;
- b) Computação em nuvem;
- c) *Big Data Analytics*;
- d) *Blockchain*;
- e) Impressão 3D.

Na apresentação do modelo, são consideradas portanto quatro colunas:

- 1) Dimensões: atividades dos processos logísticos que ocorrem nas empresas estudadas;
- 2) Tecnologias: para cada uma das dimensões logísticas foi indicada qual ou quais tecnologias poderiam ser aplicadas;
- 3) Situação proposta: para cada dimensão logística foi indicado o uso de ferramentas tecnológicas associadas às cinco tecnologias da Indústria 4.0, explicando a função de cada ferramenta a ser aplicada em cada atividade logística descrita anteriormente;
- 4) Resultados esperados: para cada ferramenta tecnológica empregada foi descrito os resultados e benefícios esperados com cada aplicação.

No Quadro 5 tem-se a apresentação do modelo inicial de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 no setor logístico de pequenas e médias empresas da Indústria moveleira.

Quadro 5 – Modelo Inicial de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 no setor logístico

DIMENSÃO	TECNOLOGIAS	SITUAÇÃO PROPOSTA	RESULTADOS ESPERADOS
Recebimento de matérias-primas	<p><i>Internet das coisas</i> Computação em nuvem <i>Big Data Analytics</i> <i>Blockchain</i> Impressão 3D</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sensores em caixas e <i>pallets</i>, portais para detecção de sensores; • Integração e processamento de informações e dados entre <i>softwares</i> diversos como WMS, ERP da empresa e alocar em nuvem; • Uso de <i>softwares</i> de <i>Big Data Analytics</i> alocados em nuvem para cálculos e simulações matemáticas; • Uso de <i>software Blockchain</i> em nuvem para registro e gestão de pedidos; • Obtenção de insumos e <i>hardware</i> para manufatura aditiva. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rastreamento automatizado de mercadorias e otimização da gestão de estoque; • Transparência de dados e informações com fluxo automatizado e em tempo real, possibilitando maior assertividade na quantidade de insumos comprados; • Gestão de estoque com auxílio de modelos matemáticos de simulação e uso de inteligência artificial, proporcionando redução de estoque; • Segurança nas transações e rastreabilidade de insumos; • Produção de peças personalizadas na própria indústria e prototipagem de novos produtos sem afetar o processo produtivo e os prazos de entregas.
Armazenamento e retirada de matérias-primas do estoque	<p><i>Internet das coisas</i> Computação em nuvem <i>Big Data Analytics</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sensores em caixas e <i>pallets</i>, portais para detecção de sensores; • Integração e processamento de informações entre 	<ul style="list-style-type: none"> • Controle total de insumos evitando baixas ou excesso de matérias-primas no estoque, rastreamento do fluxo de matérias-primas no estoque, controle quantitativo da entrada e saída de insumos de maneira automatizada;

		<p><i>softwares</i> diversos como WMS, ERP da empresa e alocar em nuvem;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uso de <i>softwares</i> de <i>Big Data Analytics</i> alocados em nuvem para gestão de estoque. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fluxo automatizado de dados e informações em tempo real, otimizando a gestão e redução de estoque. Uso de <i>software</i> WMS em nuvem integrado com ERP da empresa, otimizando fluxo de dados de armazenamento; • Uso de simulações e algoritmos para estimar o comportamento do armazenamento de insumos, proporcionando redução de estoque.
Fluxo de matérias-primas e produtos na produção	<p><i>Internet</i> das coisas Computação em nuvem <i>Big Data Analytics</i> Impressão 3D</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sensores em insumos e produtos em produção, sensores nas máquinas da produção, portais para detecção de sensores; • Integração e processamento de dados e informações do WMS e ERP com dados gerados na produção e alocar em nuvem; • Uso de <i>softwares</i> de <i>Big Data Analytics</i> alocados em nuvem para análise de dados de gestão de estoque e produção; • Uso da impressão 3D para produção de peças específicas que não são fabricadas internamente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rastreamento automatizado do fluxo de insumos e de produtos no chão de fábrica e comunicação entre máquinas da produção, obtendo dados sobre <i>status</i> do pedido, resultando em maior assertividade nos prazos de produção e controle das condições de equipamentos, o que também poderia antecipar manutenções corretivas, evitar quebras e diminuir prazos de entrega de produtos; • Fluxo de dados e informações em tempo real de <i>software</i> WMS e ERP integrados com os dados de produção, possibilitando fornecer informações em tempo real de <i>status</i> da produção através da disponibilização de dados em nuvem; • Uso de simulações e algoritmos com os dados das etapas operacionais, possibilitando a visualização estatística do andamento dos processos em cada setor, identificando erros e gargalos que impactam nos prazos de produção e nos processos logísticos; • Personalização de produtos com a impressão 3D possibilitando reduzir custos logísticos adicionais ao obter peças específicas em menor quantidade, e prazos controlados devido peças serem produzidas internamente.
Armazenamento e separação de produtos para despacho	<p><i>Internet</i> das coisas Computação em nuvem <i>Big Data Analytics</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sensores em produtos acabados, portais para detecção de sensores; • Integração e processamento de dados e informações do WMS e ERP alocados em nuvem; • Uso de <i>softwares</i> de <i>Big Data Analytics</i> alocados em nuvem para análise de dados da gestão de estoque. 	<ul style="list-style-type: none"> • Controle automatizado do estoque de produtos acabados, informações atualizadas em tempo real conforme andamento de produção e pedidos dos clientes, controle quantitativo da entrada e saída de produtos acabados de maneira automatizada; • Fluxo automatizado de dados e informações em tempo real, otimizando a gestão e redução de estoque de produtos acabados. Uso de <i>software</i> WMS em nuvem, integrado com ERP da empresa, otimizando fluxo de dados de armazenamento, atualização e trocas de dados de estoque da empresa com estoque dos clientes; • Uso de simulações e algoritmos para estimar o comportamento do fluxo de armazenamento de mercadoria nos estoques, ajudando a reconhecer padrões, tendências e prever cenários que podem afetar os processos logísticos da empresa, possibilitando redução de estoque.
Expedição de produtos	<p><i>Internet</i> das coisas Computação em nuvem <i>Big Data Analytics</i> <i>Blockchain</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sensores em produtos acabados, portais para detecção de sensores no caminhão para carregamento e descarga dos produtos; Sensores no veículo para rastreamento e aferição de condições mecânicas, Sensores no motorista para aferição de fadiga e condições físicas; • Integração e processamento de dados 	<ul style="list-style-type: none"> • Gerenciar o transporte e a frota, podendo identificar a localização do veículo, identificar quando a carga for entregue, obter informações de trânsito para otimizar o trajeto em tempo real, fazer diagnósticos de desgaste do veículo e monitorar a saúde e fadiga do motorista possibilitando diminuir custos, reduzir riscos de acidentes e economizar tempo; • Fluxo automatizado de dados e informações em tempo real do estoque da empresa com o estoque e pedidos dos clientes, otimizando a gestão e reduzindo o estoque de produtos acabados. Uso de <i>software</i> TMS em nuvem para otimizar a gestão de transporte, integrado com

		e informações do WMS, TMS e ERP alocados em nuvem; <ul style="list-style-type: none"> • Uso de <i>softwares de Big Data Analytics</i> alocados em nuvem para análise de dados da gestão de estoque • Uso de <i>software Blockchain</i> em nuvem para registro e gestão de pedidos. 	WMS e ERP da empresa, otimizando fluxo de produtos e dados de armazenamento; <ul style="list-style-type: none"> • Auxílio de modelos matemáticos, inteligência artificial e simulações que possibilitam mapear padrões de entrega, otimizar roteiros de distribuição, rotas e trajetos com atualização do trânsito em tempo real para promover entregas mais rápidas com um preço de frete reduzido. Possibilita ainda otimizar o dimensionamento da frota e consumo de combustível; • Segurança nas transações e rastreabilidade de produtos.
--	--	--	--

Fonte: elaboração própria.

A seguir é detalhado como cada uma das Dimensões do modelo inicial são trabalhadas em relação a possibilidade de utilização das tecnologias da Indústria 4.0 com a situação proposta e benefícios esperados.

- **Recebimento de matéria-prima**

O processo de recebimento de matérias-primas causa grande impacto nas empresas em geral e nos processos logísticos, envolvendo grandes custos como um todo e sendo fator preponderante para os prazos de entrega dos produtos acabados para os clientes. Desse modo, o dimensionamento de estoque de matérias-primas e uma avaliação de demanda assertiva pode proporcionar redução de custos e estoque. Além disso, esse processo possui dependência das empresas fornecedoras, o que condiciona o controle de prazos da operação de acordo com o relacionamento entre as empresas (WITKOWSKI, 2017). Para tanto, o modelo proposto sugere a implementação das tecnologias *internet* das coisas, computação em nuvem, *Big Data Analytics*, *Blockchain* e impressão 3D. Por abordar todas as tecnologias do estudo nessa dimensão, faz-se necessária a descrição da proposta de utilização de cada tecnologia de maneira mais objetiva.

A ideia é que a *internet* das coisas possibilite otimizar o processo de recebimento de matérias-primas através da instalação de sensores em caixas e *pallets*, os quais enviam dados via *internet* para sistemas alocados em nuvem, transmitindo informações remotamente em tempo real. Outra etapa consiste na instalação de portais de detecção de sensores na empresa, pois assim a matéria-prima pode ser automaticamente contabilizada no estoque quando passar por um portal ao entrar na área de armazenamento.

A instalação desses sensores pode ser realizada no recebimento da matéria-prima ou até pelos fornecedores dos insumos, o que traria mais benefícios como rastreamento e assertividade no tempo de recebimento. Para tanto, vai depender do relacionamento da empresa com seus

fornecedores de matérias-primas. Porém, há a possibilidade de instalar sensores somente ao receber os insumos e se beneficiar das vantagens na gestão de estoque.

O uso da internet das coisas possui suporte na literatura ao ser mencionado como tecnologia que resulta em uma das principais mudanças em sistemas logísticos e gerenciamento de estoque, fornecendo uma plataforma de armazenamento colaborativa que facilita o compartilhamento de espaço físico e informações logísticas por várias empresas, ajudando-as a rastrear o inventário de forma eficiente, melhorando a rastreabilidade e transparência das operações e reduzindo erros no processo (LU; PAPAGIANNIDIS; ALAMANOS, 2018).

A proposta também atende as necessidades das empresas estudadas, de acordo com as entrevistas realizadas, como abordado pelos funcionários das três empresas, que entendem o uso da tecnologia *internet* das coisas como fator para reduzir custos e prazos na logística.

Já a computação em nuvem, na proposta do modelo, é responsável por receber, armazenar, disponibilizar e processar todos os dados gerados pelos sensores instalados e programas em geral. Para tanto, a empresa deve fazer uso dos serviços de uma fornecedora de sistemas em nuvem. Esse sistema deve ser flexível e escalável, de acordo com as necessidades da organização, e deve suportar a alocação do sistema ERP, *softwares* de WMS e TMS, além de *softwares* estatísticos do *Big Data Analytics*.

Com essa tecnologia posta em prática, a empresa terá seus dados disponibilizados para qualquer funcionário ou setor, além de atingir a comunicação entre máquinas e a integração de informações e dados com fornecedores. Isso tornaria o fluxo de informações totalmente automatizado, e com auxílio de inteligência artificial na tomada de decisões através de *softwares* de *Big Data* seria possível obter maior assertividade na compra de insumos, o que contribui na redução de custo e uma melhor gestão de estoque.

O uso da computação em nuvem é corroborado na literatura quando abordada como tecnologia fundamental para a transformação digital com a utilização de *softwares* diversos em nuvem, traçando caminhos para a mudança e modernização do setor moveleiro. A tendência de transformação e aprimoramento digital tornou-se comum e constitui o núcleo estratégico de empresas relevantes para obter maior competitividade no mercado de móveis, na busca de otimizar o uso de informações e possibilitando redução de custos e de prazos de entrega de produtos (ZHI-HUI, 2017).

A implementação da tecnologia vai de acordo com às necessidades apontadas pelos entrevistados das empresas estudadas. Como apontado pelo Supervisor de Engenharia e pelo Gerente de Produção da empresa 1, a computação em nuvem demonstra ser aplicável na questão da comunicação entre fornecedores. Esses profissionais relataram que se toda a informação

gerada puder ser acessada pelas partes interessadas de maneira remota, seria um enorme avanço que facilitaria controles internos da fábrica, melhor controle de estoque e maior eficiência na informação de prazos.

A proposta de implementação do *Big Data Analytics* passa pela instalação de *softwares* de cálculos estatísticos, modelos matemáticos e inteligência artificial, coletando e tratando os dados gerados pelos sensores da *internet* das coisas que foram disponibilizados na nuvem. Assim, são fornecidas ferramentas para dar suporte à tomada de decisões com auxílio de inteligência artificial em ambientes cada vez mais dinâmicos.

O processamento de todos esses dados gerados, disponibilizados em tempo real e possibilitando a tomada de decisões com o auxílio de inteligência artificial tornaria o fluxo de dados e processos logísticos envolvidos no transporte e recebimento de matérias-primas totalmente automatizado.

A literatura menciona o *Big Data Analytics* ao abordar seu uso com auxílio aos dispositivos de *internet* das coisas, considerando grandes fluxos de dados gerados que podem ser analisados e armazenados *online* em *softwares* na nuvem. Logo, os resultados destas análises podem otimizar operações e produzir dados e informações que possibilitem aumentar a eficiência de processos e reduzir os custos operacionais (GILCHRIST, 2016).

Já para os entrevistados, o *Big Data Analytics* é peça importante para que faça sentido o uso da *internet* das coisas e da computação em nuvem, senão seriam apenas dados gerados sem real utilização. Na empresa 3, o Diretor Administrativo e Financeiro e o Gerente de Compras apontam que a tecnologia influenciaria muito para que fosse possível obter total controle na quantidade de material estocado, valores de estoque e otimizar processos através da inteligência artificial. Assim, a tomada de decisão se tornaria mais assertiva, especialmente em relação à qual o momento ideal para realizar novos pedidos e quais as quantidades adequadas de matérias-primas a serem compradas, podendo reduzir custos com estoque.

Em seguida, o *Blockchain* é a tecnologia responsável por trazer rastreabilidade, segurança e transparência nas operações entre empresas. Sua implementação pode ser realizada através de uma plataforma de uma empresa fornecedora de serviços, tal qual como ofertado na computação em nuvem (APTE; PETROVSKY, 2016).

Essa tecnologia aplicada no modelo proposto será responsável por registrar todas as transações podendo, por exemplo, fazer a rastreabilidade de cada matéria-prima obtida em todas as etapas de sua manipulação até chegar a empresa. Isso permitiria identificar precisamente lotes de materiais danificados em alguma etapa de manipulação ou transporte. Todo esse

processo seria registrado em uma *Blockchain* com características de possuir um registro imutável que proporcionaria maior segurança para todas as partes envolvidas.

Na literatura, a justificativa do uso da *Blockchain* é abordada por Delmolino et al. (2016). Considerando que essa tecnologia armazena regras e políticas para negociar termos e ações entre as partes, seu uso na logística possibilita um incremento de segurança nos processos que requerem sigilo, além de reduzir riscos de roubos de dados e informações estratégicas e identificação precisa do caminho dos materiais transportados.

A proposta de uso dessa tecnologia também vai de encontro com a opinião dos entrevistados, como exposto na empresa 2 pelo Gerente de TI e o Gerente Administrativo quando citaram necessidade de segurança associadas a rastreabilidade de matérias-primas e produtos de maneira com que as transações ocorram com maior transparência para todos os envolvidos.

Por fim, propõe-se que a impressão 3D seja responsável pela obtenção de peças específicas, de pequenas a grandes quantidades, sem que seja envolvido um fornecedor para formatar e produzir tal peça, o que provavelmente acarretaria maiores prazos e custos associados à logística. A utilização de uma impressora 3D também poderia inserir a empresa no conceito de personalização de produtos, além de possibilitar a criação de protótipos sem que afete a produção e, conseqüentemente, os prazos de entregas.

A literatura corrobora essa proposta quando menciona que a Impressão 3D agrega um importante componente no cenário nos processos logísticos das empresas, visto que sua operação proporciona eficiência na fabricação de um produto personalizado, o que melhora o tempo de entrega, custos, volume e distribuição de estoques (RAYNA; STRIUKOVA, 2016).

Essa opinião é compartilhada pelas organizações estudadas, como é o caso da empresa 2, na qual o Gestor Comercial e o Gerente de Transportes disseram que a empresa pode atuar na área de móveis customizados com maior margem de segurança ao utilizar a impressão 3D ao evitar a compra elevada de matérias-primas específicas, eliminando dificuldades relacionadas a gestão de estoque e custos envolvidos no controle logístico das operações.

- **Armazenamento e retirada de matérias-primas do estoque**

O processo de armazenamento de matérias-primas e a retirada desses insumos para a produção é uma etapa que conecta o recebimento de produtos dos fornecedores com o abastecimento desses materiais para a produção. Logo, a digitalização desse processo pode proporcionar ganhos em gestão de estoque, redução de prazos e de custos. Para tanto, a ideia é que esse processo logístico ocorra de maneira automatizada, com todos os dados fornecidos

através de sensores processados por *softwares* estatísticos e disponibilizados na nuvem em tempo real. Assim, o modelo sugere a implementação das tecnologias *internet* das coisas, computação em nuvem e *Big Data Analytics*.

Em relação à *internet* das coisas, basicamente sugere-se uma continuação das etapas anteriores, nas quais as matérias-primas já haviam sido rastreadas via sensores. Ao adentrar o processo produtivo e passar por portais de identificação, a matéria-prima passa a ser identificada automaticamente como em produção, dando baixa no estoque do sistema que é controlado por *software* WMS de gestão de estoque. A identificação em peças primárias da produção, como chapas MDF ou MDP que representam o corpo do produto, poderá determinar exatamente em qual processo produtivo a peça se encontra, pelo envio de dados via *internet* para sistemas alocados em nuvem, transmitindo informações remotamente em tempo real.

O uso da *internet* das coisas possui suporte na literatura ao ser mencionado por Uckelmann (2011), que aborda a identificação de produtos através de sensores. Quando um objeto que possui um sensor é identificado por um leitor digital que coleta suas informações ao passar por ele, esse leitor digital envia as informações do produto por ondas de rádio para o computador que processa os dados, tornando o processo automatizado e assertivo, realizado em tempo real, o que reduz tempo de processo.

Isso atende às necessidades das três empresas estudadas de acordo com as entrevistas realizadas. Os profissionais das empresas 2 e 3 apontaram que como não há um processo rastreado do fluxo com enorme precisão, seria interessante o uso desta ferramenta para obter informações específicas em tempo real, enquanto que os entrevistados da empresa 1 entendem que a rastreabilidade poderia ser mais eficaz, melhorando a qualidade operacional dos processos logísticos.

Assim como a *internet* das coisas, a computação em nuvem está presente em todas as etapas dos processos logísticos. Nessa dimensão, a computação em nuvem atua na integração dos dados da gestão de estoque via WMS alocado em nuvem com o *software* ERP da empresa. A partir da movimentação das peças do estoque para a produção, detectados por sensores, o sistema é alimentado de maneira automatizada, fornecendo os dados remotamente em tempo real, possibilitando em redução de custo e uma melhor gestão de estoque.

O uso da computação em nuvem no controle de matérias-primas tem suporte na literatura, abordada como tecnologia que auxilia na gestão e controle de estoque ao alocar *software* WMS em nuvem, aliando todo o potencial deste sistema com os benefícios que a computação em nuvem traz para seus usuários. Com isso, toda a informação da gestão de estoque poderá estar disponível de maneira digitalizada, em tempo real, em qualquer dispositivo

para todos os funcionários e setores interessados da empresa, aumentando a eficácia na gestão de estoque, auxiliando na redução de erros operacionais e, conseqüentemente, reduzindo custos (LINDNER et al., 2010).

O uso da computação em nuvem no controle de matérias-primas atende às necessidades apontadas pelos entrevistados das empresas estudadas. Como apontado na empresa 3 pelo Gerente de Compras e pelo Gerente de Produção, essa tecnologia auxilia na gestão de estoque e armazenamento, disponibilizando de maneira fácil e intuitiva o acesso as informações e possibilitando que todos os setores da empresa visualizassem os dados e processos relacionados à gestão de estoque de matérias-primas de maneira instantânea.

Por fim o *Big Data Analytics*, assim como internet das coisas e computação em nuvem, faz parte das três tecnologias básicas que participam de todos os processos logísticos, devido sua característica de processamento e análises de dados, com o uso de *softwares* de cálculos estatísticos, modelos matemáticos e inteligência artificial. Assim, essa tecnologia processa os dados gerados pelos sensores no armazenamento de matérias-primas e os transforma em informações e tomadas de decisões geradas pela inteligência artificial que auxiliam na gestão de estoque, otimizando esse processo.

Essa proposta é embasada na literatura, que aponta que o *Big Data Analytics* faz uso de análises para prever o que acontecerá através de cálculos matemáticos, explorando padrões de dados estatísticos, uso de simulações e algoritmos, possibilitando assim a otimização da gestão de estoques, redução de custos e aumento da eficiência do processo (TIWARI; WEE; DARYANTO, 2018).

Isso converge com a opinião dos entrevistados, como na empresa 1, com o Gestor Comercial e o Supervisor de Engenharia. Esses profissionais apontaram que essas análises de dados podem acarretar em melhorias na logística, o que é difícil de se fazer atualmente devido a dificuldades em analisar corretamente esses dados e reproduzir as estatísticas em ações que tragam benefícios. Desse modo, entende-se que essa tecnologia pode trazer ganhos de tempo em geral e economia de recursos na gestão de estoques.

- **Fluxo de matérias-primas e produtos na produção**

Os processos logísticos que envolvem o fluxo de matérias-primas e produtos na produção se iniciam pelo beneficiamento dos insumos, consumindo as matérias-primas do estoque. Envolvem também todo o chão de fábrica, máquinas e etapas de produção, se conectando com os setores comerciais que, através das vendas, geram as ordens de produção, até a produção dos lotes que abastecem o estoque de produtos acabados. Assim, nessa dimensão

se propõe o uso das tecnologias *internet* das coisas, computação em nuvem, *Big Data Analytics* e impressão 3D.

Em relação à *internet* das coisas, a matéria-prima pode ser identificada em peças primárias da produção, como chapas MDF ou MDP que representam o corpo do produto. Essa identificação poderá determinar exatamente em qual processo produtivo a peça se encontra, pelo envio de dados via *internet* para sistemas alocados em nuvem, transmitindo informações remotamente em tempo real. Assim, há o controle exato de um pedido em relação ao *status* de produção que ele se encontra, podendo através do processamento de dados e uso de simulação identificar exatamente quando este pedido estará finalizado no processo produtivo, o que irá otimizar a comunicação entre produção, setor comercial e clientes. Esse processo poderá ser realizado também com o uso de sensores nas máquinas, possibilitando a comunicação entre elas, automatizando as etapas do processo produtivo e os dados gerados em cada etapa para que não ocorram gargalos em determinadas etapas da produção, possibilitando a redução do tempo no processo. Os sensores nos equipamentos podem também alertar para desgastes e avarias, antecipando manutenções e evitando que ocorram quebras que atrasam a produção e impactem nos prazos para entrega de produtos.

A *internet* das coisas, na literatura, é destacada como facilitadora dos processos logísticos associada ao setor de produção, pois impacta na gestão adequada dos suprimentos da empresa, podendo sincronizar o fluxo de informações em uma cadeia de suprimentos, melhorando sua visibilidade, eficiência e a gestão de tempo e recursos através de um melhor gerenciamento dos processos logísticos (TU, 2018). Além disso, o uso da *internet* das coisas associada ao uso de sensores, como em sistemas de detecção de defeitos em linha, sistema de acabamento por *spray* automático e estações de trabalho de controle numérico computadorizado, possibilitam maior automação nos processos logísticos envolvidos na fabricação de móveis, resultando em gestão inteligente de estoque e controle de variáveis que afetam tempo de entrega e custos (NG; KANAGASUNDARAM, 2017).

O Diretor de Produção e o Gerente de Comercial da empresa 3 abordaram que nos processos logísticos internos, incluindo armazenamento e etapas de produção, a *internet* das coisas poderia contribuir para maior eficiência dos processos e para melhorar a comunicação geral com o setor comercial, devido a maior precisão das informações de prazos e estoque fornecidos pelo setor logístico, o que compactua com os benefícios apresentados da tecnologia e com a proposta apresentada.

Já a computação em nuvem, por essa proposta, atuaria na integração dos dados de produção, desde o fluxo da matéria-prima em processamento até a finalização do produto. Esse

controle poderia ser realizado via WMS alocado em nuvem, assim como o ERP da empresa. A partir da movimentação das peças em produção, detectados por sensores, o sistema seria alimentado de maneira automatizada, fornecendo os dados remotamente em tempo real e possibilitando precisão nos dados de andamento de produção de lotes.

A computação em nuvem no setor moveleiro é abordada na literatura associada a necessidade de melhorias no fluxo de insumos nas linhas de produção, com ferramentas que auxiliam no gerenciamento de processos, conectadas à *internet* e transmitindo dados que são armazenados e processados em nuvem. Isso pode otimizar o processo logístico associado à etapa de produção ao quantificar de maneira automatizada as matérias-primas que estão em produção, podendo também atualizar em tempo real o status dos pedidos em fabricação, trazendo maior assertividade de prazos (XIONG et al. 2017).

O uso da computação em nuvem no controle logístico nos processos produtivos atende as necessidades apontadas pelos entrevistados das empresas estudadas. Como ressaltado na empresa 2 pelo Gestor Comercial e pelo Gerente Administrativo, o uso de *softwares* de logística alocados em nuvem, como o WMS, poderia proporcionar uma visão global de todos os processos de produção de maneira dinâmica e com maior assertividade. Os profissionais apontaram também a possibilidade de visualizar todo o processo em um aplicativo no celular, mesmo estando em outra localidade, o que justifica a sugestão dessa tecnologia no modelo proposto.

O *Big Data Analytics*, através do processamento e análises de dados gerados pelos sensores alocados nas matérias-primas, nos produtos em produção, nos produtos finalizados e também nos equipamentos da produção, possibilitaria total transparência no andamento da fabricação de cada pedido. Isso traria assertividade nas informações entre os setores de produção, comercial e logística, o que resultaria em otimização dos processos, redução de tempo, redução de custo e maior qualidade ao trazer informações de prazos precisas aos clientes. O uso de *softwares* de cálculos estatísticos, uso de simulações e inteligência artificial possibilitaria ainda eliminar gargalos e melhorar o processo produtivo, o que resulta em redução do tempo de produção e impacto direto nos processos logísticos. Isso é corroborado pela literatura, como aponta Gilchrist (2016).

Assim, a ideia de utilização do Big Data tem respaldo nos dados coletados, tanto em pesquisas acadêmicas quanto nos dados coletados. Como abordado na empresa 1 pelo Gestor Comercial e o Supervisor de Engenharia, as análises de dados feitas por essa tecnologia podem acarretar em melhorias na logística dos processos produtivos, possibilitando a eliminação de gargalos e ganhos de tempo produtivo.

Partindo para a impressão 3D, a proposta é que essa tecnologia seja responsável pela obtenção de peças específicas, em pequenas ou grandes quantidades, sem impactar a produção. Seu uso possibilitaria a personalização de produtos, além também de poder ser utilizada na criação de protótipos sem afetar a produção e, conseqüentemente, os prazos de entregas.

A literatura corrobora com essas ideias ao abordar que os produtos ou partes deles podem ser processados e fabricados no local. Assim, resolve-se um problema sobre produtos personalizados que, em geral, utilizam volumes reduzidos de recursos e matérias-primas específicas, o que se tornaria um problema para a logística na obtenção destes itens em pequena quantidade pelo custo unitário e em grandes quantidades pelo custo total, mas que é eliminado com a produção de peças, formas e até produtos completos por impressão 3D (DURACH; KURPJUWEIT; WAGNER, 2017; KUBAC; KODYM, 2017).

Essa opinião é compartilhada pelas empresas, como na empresa 1 com o Coordenador de Logística e o Supervisor de Logística afirmando que a partir da adoção da impressão 3D seria possível verticalizar alguns processos e produzir peças que não são essenciais para a operação mas que trazem grandes custos quando são necessárias. Essa opção otimizaria tempo e custos. A proposta corrobora também com o Diretor de Produção e o Diretor Administrativo e Financeiro da empresa 3, que apontaram a falta de um setor específico de desenvolvimento de protótipos de novos produtos. Assim, a impressão 3D resolveria essa pendência sem parar setores produtivos e reconfigurar máquinas para produzir protótipos.

- **Armazenamento e separação de produtos para despacho**

Os processos logísticos que envolvem o armazenamento e separação de produtos para despacho ocorrem de maneira similar ao processo de armazenamento de matérias-primas quanto ao uso de tecnologias. Logo, a utilização de tecnologias da Indústria 4.0 nessa dimensão poderia proporcionar também ganhos em gestão de estoques, redução de prazos e de custos. Entre as atividades aqui englobadas estão a gestão de estoque de produtos acabados com o setor comercial de vendas, além da possibilidade de ligar-se diretamente aos consumidores através da troca de dados de estoque e vendas dos clientes, possibilitando o controle de abastecimento de maneira automatizada. Para tanto, esse processo logístico deve ocorrer de maneira automatizada, com todos os dados fornecidos através de sensores, processados por *softwares* estatísticos e disponibilizados na nuvem em tempo real. Assim, nessa etapa ocorre o uso das tecnologias da *internet* das coisas, computação em nuvem e *Big Data Analytics*.

O uso da *internet* das coisas, através de sensores e portais de identificação, quantificaria de maneira automática o estoque de produtos acabados com a entrada e retirada de produtos,

abastecendo os *softwares* ERP e WMS. Nesse sentido, a informação de finalização da produção de lotes seria atualizada em tempo real, aumentando a precisão de prazos e reduzindo tempo entre operações de separação e carregamento de mercadoria, o que poderia trazer uma melhoria no atendimento junto ao cliente.

A *internet* das coisas é notadamente considerada como facilitadora na aplicação de tecnologias automatizadas entre os fabricantes de móveis, possibilitando uma gestão otimizada do estoque e redução de custos com transporte. Essas condições incentivaram os fabricantes de móveis a adotá-la nos processos logísticos (THOBEN et al., 2017), e também sua inclusão no modelo nessa dimensão.

O uso da *internet* das coisas atende as necessidades das empresas estudadas, o que colaborou para sua inclusão na proposta do modelo. Como abordado pelos entrevistados nas três empresas, a precisão e velocidade nas informações compartilhadas entre a produção, logística, comercial, vendedores e clientes possibilita redução de prazos e custos e melhoria de qualidade no atendimento aos clientes.

Já a computação em nuvem realizaria a integração dos dados da gestão de estoque via WMS alocado em nuvem com o *software* ERP da empresa. Assim, todos os setores da empresa seriam informados em tempo real após a finalização de lote de produção, otimizando tempo entre todas as operações.

O uso da computação em nuvem no controle de estoque de produtos acabados é citado na literatura como fator auxiliador na gestão e controle de estoque ao alocar *software* WMS em nuvem, integrando informações com sistema ERP da empresa. Desse modo, torna-se possível transmitir, de maneira automatizada, informações e dados em tempo real para os setores comercial, de venda e para os clientes, possibilitando a atualização e virtualização do estoque da empresa e dos clientes de maneira precisa (LINDNER et al., 2010). Nesse sentido, a inclusão dessa tecnologia no modelo acaba se justificando.

A computação em nuvem aplicada na logística atende às necessidades das empresas estudadas para o controle de estoque de produtos acabados, como apontado pelos entrevistados na empresa 3 sobre o auxílio que a tecnologia proporciona na gestão de estoque e armazenamento de produtos. Através dela torna-se possível disponibilizar, de maneira fácil e intuitiva, o acesso às informações, possibilitando que todos os setores da empresa visualizem os dados e processos relacionados a gestão de estoque em tempo real.

Por fim, o *Big Data Analytics*, ao processar os dados gerados pelos sensores alocados em produtos e pallets no armazenamento de produtos acabados, possibilitaria disponibilizá-los na nuvem como informações úteis para a tomada de decisão. Além disso, a utilização de

softwares de cálculos estatísticos, uso de simulações e inteligência artificial possibilitaria melhorar os processos logísticos, auxiliando na gestão de estoque, otimizando esse processo para redução de custos e de tempo de operação.

Na literatura, o *Big Data Analytics* é recomendado para controlar o fluxo de informações na logística, com destaque para a gestão de estoque de produtos acabados e toda a integração de dados entre produção, gestão de estoque, triagem de produtos, transporte, setores comercial e de vendas, além do estoque de produtos dos clientes. Com o uso de *softwares* estatísticos e inteligência artificial, a gestão destas informações ocorre em tempo real, possibilitando maior assertividade de todos os envolvidos nas operações, otimizando o processo e reduzindo custos e prazos em todas etapas (ROßMANN et al., 2018).

Isso vai de encontro com a opinião dos entrevistados das empresas, e motivou a inclusão dessa tecnologia no modelo proposto. Como foi abordado pelos entrevistados, as análises de dados feitas pelo *Big Data Analytics* podem acarretar em melhorias na logística para a gestão de estoque de produtos, com ações que trazem benefícios como ganhos de tempo em geral e economia de recursos na gestão de estoque.

- **Expedição de produtos**

O processo de expedição de produtos está relacionado diretamente a etapa de transportes na logística. Um dos maiores ganhos da Indústria 4.0 na logística do setor moveleiro é sua aplicação no transporte em geral, com ganhos significativos em rotas e veículos. Através de uma infraestrutura para mapear operações digitais no espaço físico, com o uso de tecnologia da informação e tecnologia operacional que permita aos processos de produção uma visão direta dos pedidos dos clientes, torna-se possível otimizar a logística de transporte de móveis, já que esse é uma atividade que apresenta problemas complexos, com ampla margem para serem otimizados (HOEY, 2018).

O uso de sensores em cargas, veículos e motorista, o processamento de dados de trajeto, a disponibilização em tempo real e a segurança da operação são os princípios básicos da ideia do uso das tecnologias nessa dimensão. Desse modo, o dimensionamento de frota, a otimização de rotas de envio, a manutenção preventiva de veículos, monitoramento da saúde do motorista, a segurança e transparência da operação para todos os envolvidos e a sincronização de dados de localização e de descarregamento da mercadoria são alguns dos benefícios que poderão ser obtidos, possibilitando melhoria na qualidade do serviço, redução de custos e de tempo de entrega. Para tanto, o modelo em questão sugere a implementação das tecnologias *internet* das coisas, computação em nuvem, *Big Data Analytics* e *Blockchain*.

A *internet* das coisas possibilitaria o gerenciamento do processo de envio de produtos, através da instalação de sensores em veículos, motoristas e produtos, os quais enviariam dados via *internet* para sistemas alocados em nuvem que transmitiriam informações remotamente em tempo real. Integrando ao uso de *software* TMS, isso auxiliaria no rastreamento em todo o trajeto, possibilitando otimizar rotas em casos de congestionamento ou interdição de pista, podendo recalcular trajeto em tempo real para que se estabeleça as melhores rotas, reduzindo custo e tempo. O uso de portais de detecção de sensores nos veículos permitirá também a detecção de quando é realizado a entrega dos produtos de maneira automatizada. O uso de sensores nos veículos como GPS e RFID atuaria no controle de localização, e sensores em pneus e motores poderiam auxiliar no desgaste do veículo, antecipando manutenção e evitando quebras ou acidentes no trajeto, o que acarretam em custos adicionais e afetam o prazo de entrega dos produtos. Sensores que monitoram a saúde dos motoristas poderiam identificar quadros de fadiga, orientando os profissionais a realizarem paradas preventivas e evitar acidentes de trânsito.

A *internet* das coisas é uma tecnologia que oferece uma plataforma de armazenamento digital compartilhada do espaço físico, auxiliando no rastreo de inventário de maneira eficiente. Com o uso de sensores RFID e GPS em veículos, torna-se possível identificar a localização do veículo e da carga, trazendo maior segurança e assertividade de prazos na operação. Ela possibilita obter informações de trânsito em tempo real, o que acarretaria em maior velocidade para chegada no destino, evitando vias congestionadas, reduzindo custo com combustível e possibilitando que o veículo de entrega retorne mais cedo à empresa para ser carregado para uma nova viagem, otimizando o processo. Além disso, poderiam ser realizados diagnósticos de desgaste do veículo, otimizar o dimensionamento da frota e monitorar a saúde e fadiga do motorista. Este cenário proporciona diversas possibilidades de importantes ganhos relacionados à logística e à empresa como um todo, pois reduz erros relacionados aos processos logísticos através da melhora na qualidade do serviço prestado e possibilita reduzir tempo e custos nas operações com transporte (ZANELLA et al., 2014; MACAULAY; BUCKALEW; CHUNG, 2015).

Assim, o uso da *internet* das coisas atende os preceitos da literatura e as necessidades das empresas estudadas, justificando sua inclusão no modelo nessa dimensão. Como abordado pelo Coordenador de Logística e o Supervisor de Logística da empresa 1, o uso dessa tecnologia por empresas parceiras aponta redução de 15% de custos com combustíveis devido a gestão de indicadores no transporte através de sensores conectados à *internet*. Já o Gerente de TI e o Supervisor de Logística da empresa 2 abordaram a necessidade do uso de ferramentas de

rastreamento por meio de *softwares* para otimizar a roteirização das entregas, podendo otimizar o tempo e custos no processo de despacho de produtos. Neste caso, o uso de sensores traria impactos enormes na empresa, pois como as peças estão se movimentando no processo, a possibilidade de ter o controle de todo este movimento no tempo exato, com comunicação e rastreabilidade, poderia proporcionar maior confiança nos processos, melhor relação de informação, atualização de status de pedidos com os clientes e o controle total de processo, tempo e recursos.

Já o uso da computação em nuvem seria responsável, nessa proposta, por receber, armazenar, disponibilizar e processar todos os dados gerados pelos sensores instalados e programas em geral, como ERP e TMS. Assim, a empresa teria seus dados disponibilizados para qualquer funcionário em todos os setores, integrando informações e dados com clientes, para que o fluxo de informações seja totalmente automatizado. Isso possibilitaria maior assertividade e precisão no processo de envio de produtos, o que contribuiria na redução de custo e prazos de entrega.

A computação em nuvem na literatura é apontada em conjunto com uso da *internet* das coisas, como na colocação de um sensor RFID em um objeto e o uso de *software* TMS alocado em nuvem. Com um dispositivo integrado no veículo de remessa, os dados são transferidos para um sistema em nuvem e os dispositivos detectam o objeto, identificando a posição com coordenadas do GPS e trazendo outros dados como condições adversas de tempo, congestionamento e os dados específicos do veículo e do motorista, como padrão de condução, velocidade média e outros. A computação em nuvem permite que todas essas informações sejam obtidas e gerenciadas em tempo real, o que leva a um controle preciso do tráfego e rotas com o auxílio do TMS em nuvem, otimizando tempo de percurso e reduzindo custos (LU; PAPAGIANNIDIS; ALAMANOS, 2018).

Assim, a computação em nuvem atende às necessidades dos entrevistados das empresas. Segundo relatos do Supervisor de Engenharia e do Gerente de Produção da empresa 1, a computação em nuvem demonstra ser aplicável na questão da comunicação entre fornecedores, empresa, revendas e consumidor final. Se toda a informação gerada puder ser acessada pelas partes interessadas de maneira remota, sem a necessidade de uma infraestrutura própria, seria um enorme avanço que facilitaria controles internos da fábrica, melhor controle de estoque e maior eficiência na informação de prazos. Na empresa 2 o Gestor Comercial e o Gerente Administrativo afirmaram que o uso de *softwares* de logística alocados em nuvem como o TMS poderia auxiliar na gestão de transportes, possibilitando ganhos expressivos em custos e economia de tempo.

Já a aplicação do *Big Data Analytics* forneceria as ferramentas para processar os dados gerados por sensores, disponibilizados em tempo real, e possibilitando a tomada de decisões com o auxílio de inteligência artificial, tornando o fluxo de dados e processos logísticos envolvidos no transporte de produtos totalmente automatizado.

Na literatura, o uso do *Big Data Analytics* no transporte de produtos aponta para a utilização de *softwares* diversos que possibilitam o uso da inteligência artificial através de algoritmos que processam os dados obtidos dos sensores em tempo real, resultando em situações que tornam a tomada de decisão mais assertiva. Com isso, o processo fica mais eficiente e, desse modo, a tecnologia ajuda a minimizar os *leads times* e promove entregas mais rápidas com um preço de frete reduzido. Possibilita ainda mapear padrões de entrega e melhorar rotas de distribuição, auxiliando no dimensionamento da frota e consumo de combustível (WANG et al., 2016; ZHU et al., 2018).

Esses benefícios corroboram com as opiniões dos entrevistados da empresa 2, e fortalecem a inclusão dessa tecnologia no modelo. O Gerente de Transportes e o Supervisor de Logística dessa empresa apontaram que os ganhos do *Big Data* podem ser evidenciados nas etapas de envios de produtos, com o uso de *softwares* que auxiliam em situações que proporcionam economia de combustível e otimização de rotas via inteligência artificial. Trata-se de uma questão de vantagem competitiva, já que qualquer ganho que possibilite alguma margem a ser melhor trabalhada pode otimizar recursos, tempo e reduzir custos, o que pode resultar em vantagens competitivas no mercado.

Por fim, o *Blockchain* é a tecnologia responsável por trazer rastreabilidade, segurança e transparência nas operações entre empresas, e a ideia é que ele seja utilizada nessa dimensão do modelo. Com o registro de todas as transações, ele pode, por exemplo, rastrear o produto em cada etapa de envio ao destino final, podendo identificar precisamente lotes danificados em alguma etapa de transporte, roubo ou extravio de carga. Todo esse processo é registrado em uma *Blockchain*, com características de possuir um registro imutável, proporcionando maior segurança para todas as partes envolvidas.

O *Blockchain* é, de fato, uma tecnologia que pode atuar no registro das entregas feitas constantemente em todo o mundo, com vários atores envolvidos no processo, com canais diferentes para fluxos de informação e comunicação, em um sistema que possibilita transações de maneira transparente e segura para as empresas envolvidas, possibilitando prevenção em casos de irregularidades como acidentes ou roubos de cargas, evitando grandes prejuízos (BROSS, 2017).

Em casos como distribuição por caminhões entre empresas, é possível saber todos os detalhes do transporte. Com o controle das cargas, é possível rastrear caminhões onde estiverem e monitorar a segurança dos produtos e dos funcionários. Isso controla a integridade das mercadorias, com o recebimento de informações sobre situações circunstanciais envolvendo os caminhões, como acidentes e roubos. Com o rastreio em tempo real e sem possibilidade de alterações, os gestores podem se preparar melhor e tomar decisões mais rapidamente. Toda essa situação gera maior prevenção em situações como acidentes e roubos, que poderiam gerar grandes custos à empresa (BROSS, 2017).

A opinião dos entrevistados também é favorável em relação à inclusão da tecnologia *Blockchain* nos processos logísticos. Como exposto na empresa 3 pelo Gerente de Produção e o Gerente Comercial, o *Blockchain* é um facilitador de transações, pois evita que em caso de danos, acidentes ou roubo de cargas, ocorram desgastes excessivos e processos judiciais para resolver pendências que poderiam ser auxiliadas por uma tecnologia que rastreie cada operação, a registre em um local seguro, transparente e confiável auxiliando na solução desses problemas. Desse modo, justifica-se a inclusão dessa tecnologia no modelo inicial no âmbito da dimensão da expedição de produtos.

Assim, apresentado o modelo e todo seu detalhamento, cabe ressaltar alguns dados obtidos nas entrevistas, como os comentários do Diretor de Produção e do Gerente Comercial da empresa 3, que apontaram que a maior dificuldade é saber como investir em novas tecnologias sem saber exatamente como fazer isso. Já o Diretor Administrativo e Financeiro e o Gerente de Compras da empresa 3 apontaram que a maior dificuldade é saber como implementar as tecnologias, como elas seriam utilizadas e como mensurar seu retorno, e que eles esperam que um modelo tenha um suporte detalhado de como ocorreria essas melhorias.

O modelo proposto por essa pesquisa não atinge especificamente essas recomendações pois o foco desse estudo é identificar as tecnologias da Indústria 4.0 aplicáveis aos processos logísticos das empresas e quais seus potenciais benefícios ao serem utilizadas. Assim, o trabalho não se volta para métodos de implementação do modelo e nem foca nos custos envolvidos para o investimento dessas tecnologias. A implementação e os custos correspondem a um estágio posterior a esta etapa do modelo, no qual poderia ser determinada, a partir do modelo proposto, uma metodologia de sua implementação prevendo etapas e passo a passo para cada fase, associados aos investimentos para cada tecnologia aplicada. Com isso, poderia ser abordada a relação de implementação, viabilidade econômica, custos e retornos financeiros, abrindo oportunidades para estudos futuros que trabalhem estes aspectos.

4.3.1 Verificação do Modelo Inicial

Finalizada a elaboração do modelo inicial de aplicação das tecnologias, ele foi apresentado aos mesmos funcionários entrevistados das empresas estudadas. Essa é a etapa de verificação do modelo inicial, feita a partir da opinião técnica dos funcionários especificamente quanto a aplicabilidade de cada tecnologia da Indústria 4.0 abordada no modelo.

O modelo inicial apresentado foi elogiado por todos os profissionais. Eles apontaram que ferramentas tecnológicas em geral já fazem parte do cotidiano das empresas, porém são pouco aproveitadas nos processos logísticos. Assim, de maneira unânime, entendem que essa modernização faz parte do futuro das empresas, e que trata-se de uma questão de evolução e sobrevivência no competitivo mercado do setor moveleiro.

Para cada uma das Dimensões criadas no modelo foi identificada a percepção dos entrevistados, como demonstram as subseções seguintes.

- **Recebimento de matérias-primas**

Para os funcionários da Empresa 1, o modelo contempla uso de alta tecnologia de uma maneira clara e objetiva. Um dos receios era justamente que o modelo fosse complexo demais a ponto de ser inviável seu uso, o que não parece ser o caso na opinião dos entrevistados. Um dos pontos abordados foi o uso da tecnologia *Blockchain*. Para o Gestor Comercial, o uso dessa tecnologia faz mais sentido para o fornecedor criar todo um sistema em que ele se proteja para o envio de sua mercadoria, e não para a empresa receptora. Já o uso da Impressão 3D abre um leque de oportunidades para fabricação de moldes para ferramentas ou peças específicas, além da possibilidade de prototipagem sem interromper o processo produtivo. Assim, há ganhos financeiros e de tempo na aquisição de moldes e peças específicas, além da economia de tempo no processo de fabricação de protótipos sem a necessidade de parar a produção e reconfigurar as máquinas do chão de fábrica. Em geral, foi apontado que as tecnologias possibilitam controle total do recebimento de mercadoria, o que agilizaria muito o processo e também traria assertividade no controle de estoque, proporcionando grandes reduções no tempo de manuseio e custos desta operação.

Para os funcionários da Empresa 2 a linha de raciocínio foi similar aos da Empresa 1: um modelo surpreendentemente avançado e acessível do ponto de vista técnico, carecendo apenas de mão de obra operacional, mas que aparentemente não deve ser grande problema, visto o suporte que empresas de computação em nuvem e *Big Data Analytics* fornecem. Também foi abordado o uso do *Blockchain* nessa etapa. O Gerente Administrativo apontou que os fornecedores em geral são parceiros, e que, em caso de problemas em lotes de matérias-

primas, eles assumem a responsabilidade pelo mesmo, não detectando uma utilidade inicial da tecnologia nessa Dimensão. Em geral, todos os entrevistados dessa organização afirmaram que os processos abordados estão alinhados com o futuro da empresa na busca por novas tecnologias que resultem em benefícios para a indústria. No setor logístico em específico, entendem que esse modelo pode elevar a empresa a um novo patamar, devido a robustez que ele apresenta na gestão de estoque de matéria-prima, que é o primeiro processo na empresa e consequentemente impacta no resultado final quanto a prazos e custos. Espera-se que um modelo como esse reduza drasticamente o tempo de operações e custos do processo,

Por fim, para os funcionários da Empresa 3, o modelo é uma oportunidade de dar um grande passo em direção a maiores níveis de desenvolvimento ao agregar elevado índice de automação nessa Dimensão. Para o Gerente de Compras, a automação e a inteligência artificial presente nessa Dimensão do modelo, associadas a computação em nuvem, podem trazer uma maior integração de informações e dados aos setores da empresa que envolvem o recebimento de matérias-primas, potencializando etapas desse processo que são de grandes custos para a empresa, além de atacar diretamente a primeira linha do processo logístico, ou seja, pode possibilitar ganhos de tempo já desde antes do início da produção, o que certamente mudaria a empresa como um todo. Em relação as tecnologias utilizadas, há uma sinergia entre todas, porém o *Blockchain* também gerou dúvidas aqui se realmente traria benefícios para a empresa. Isso porque o Diretor de Produção, o Gerente de Produção e o Gerente comercial entendem que, nessa Dimensão, as grandes vantagens do uso do *Blockchain* seriam absorvidas pela empresa que realiza o envio de materiais, ou seja, seus fornecedores. Como em caso de problemas de envio de materiais todas as responsabilidades são assumidas pelo fornecedor ou transportadora, para os profissionais não faz sentido nesse momento o uso dessa tecnologia nessa Dimensão.

- **Armazenamento e retirada de matérias-primas do estoque**

Os funcionários da Empresa 1 aprovaram o modelo em relação a essa Dimensão. Para o Gerente de Produção, realizar um controle automatizado do estoque de matérias-primas, com a entrada e retirada de materiais sendo computadas por sensores da *internet* das coisas, possibilita ganhos expressivos no operacional de todo o processo, o que certamente deixaria a empresa em uma posição mais confortável especialmente ao trabalhar com estoques mais reduzidos de insumos, o que hoje representa os maiores gastos da empresa. Inclusive, o Gerente de Produção acrescentou que um benefício esperado seria a possibilidade dos sensores dimensionarem as cargas a serem manipuladas, identificando tamanho, volume e peso, o que

otimizaria o processo de manipulação e transporte interno e reduziria o riscos de acidentes. Assim, todo esse controle possibilitaria melhoria operacional, redução de custos e assertividade na gestão de estoque. Ele compreende o uso das tecnologias da Indústria 4.0 e aponta que o conceito está perfeitamente aplicado, na sua visão.

Os funcionários da Empresa 2 apontaram que o modelo pode suprir uma das maiores deficiências da empresa, que é sua gestão de estoque. O Gerente de TI aborda que a falta de transparência na operação, sem a clareza de dados do controle de insumos no estoque, faz com que a empresa tenha muito capital parado. Por vezes, alguma matérias-primas são compradas em excesso. Em outros casos, há grandes volumes de materiais obsoletos que são utilizados em frequência muito baixa. Assim, com a computação em nuvem possibilitando que o controle desses dados chegue a todos os setores da empresa em tempo real através de *software* ERP e WMS, essa etapa se tornará mais ágil e com grande redução de custos no armazenamento de matérias-primas.

Para os funcionários da Empresa 3, a evolução de um controle manual, com o uso de planilhas e tabelas em pranchetas de papel, para um sistema automatizado, ajudaria a inserir a indústria em um patamar mais elevado quanto ao uso de tecnologias de ponta, algo carente hoje na empresa. O Gerente de Produção apontou que a gestão de estoque é um dos grandes gargalos técnicos da empresa, com sua gestão manual acarretando em grandes custos e desperdícios de insumos, além da dificuldade de comunicação entre os setores, tornando o processo lento e custoso. O uso de tecnologias de inteligência artificial e *softwares* estatísticos do *Big Data Analytics* elevaria a gestão de estoque a um nível jamais imaginado, possibilitando enormes economias com insumos e agilizando as atividades desse processo logístico.

- **Fluxo de matérias-primas e produtos na produção**

Os funcionários da Empresa 1 apontaram que um dos maiores ganhos do modelo seria justamente no fluxo de insumos e produtos na produção, já que é no chão de fábrica que tudo acontece. Assim, otimizar os processos logísticos nessa Dimensão, desde a chegada da matéria-prima até a saída do produto da produção, faz com que toda a estrutura da empresa seja remodelada, incluindo o setor de compras de insumos e passando pelo setor de vendas de produtos, pois todos os prazos seriam remodelados devido a possibilidade de ganhar muito tempo nessas etapas. Para o Supervisor de Engenharia, os ganhos seriam enormes, e a integração entre as tecnologias proporcionaria o máximo de evolução em logística no setor da produção. Porém, em relação ao uso da Impressão 3D, ele indica que, embora seu uso seja muito atraente na primeira Dimensão para fabricação de moldes e peças específicas, além da

prototipagem, não acredita que seria justificável seu uso nessa etapa, pois a empresa não fabrica produtos personalizados. Além disso, esse profissional imagina que caso fabricasse produtos sob encomenda, a empresa deveria realizar um extenso estudo para saber qual seria o impacto no processo produtivo da utilização de impressoras 3D, que ainda são máquinas caras e lentas. Por essa razão, o tempo hábil para disponibilizar uma peça ou produto personalizado poderia ser muito grande, e dependendo do volume de pedidos poderia gerar uma situação de gargalo na etapa de personalização na produção. Isso levaria a necessidade de muitas impressoras para ter velocidade razoável de produção, o que poderia afetar o custo e não necessariamente melhoraria o processo. Essa opinião é corroborada pelo Gerente de Produção, que também entende a grande utilidade da Impressão 3D, porém apenas na primeira Dimensão do modelo para fabricação de peças específicas e moldes, sem associar o equipamento a uma etapa da produção.

Para os funcionários da Empresa 2 a etapa de produção é onde ocorre toda a confusão entre informações e prazos relacionados à chegada de matérias-primas na produção, tempo de fabricação dos produtos e prazo para entrega de pedidos, sendo essa Dimensão considerada a de menor controle geral. Para o Gerente de Produção, o modelo supera as expectativas quanto a suprir estas carências no setor pois, por mais que considere possuir relativo conhecimento sobre Indústria 4.0 e suas tecnologias, não imaginava a possibilidade do processo se tornar totalmente automatizado, com o uso de inteligência artificial e integração total de dados em tempo real de uma maneira bem clara e factível de acontecer. O profissional aponta ainda que o modelo pode simplificar o processo logístico, clarificando os dados e informações de produção e tempo de pedido de modo que toda a empresa se mantenha conectada e atualizada. Isso, obviamente, resultaria em enormes ganhos de prazos, além da assertividade de informações de status de produção, o que agrega qualidade ao serviço. Também aponta, assim como outros funcionários da Empresa 2, que nessa Dimensão a Impressão 3D não parece ter lugar, já que deveria haver um alinhamento entre a produção atual com uma produção de grandes quantidades de peças na impressora 3D, o que não parece ser possível com os equipamentos atuais. Assim, ela ficaria totalmente alinhada nos processos logísticos apenas na primeira Dimensão abordada.

Já para os funcionários da Empresa 3 a possibilidade do uso de sensores para rastreamento automatizado de insumos e produtos e para a comunicação entre as máquinas e equipamentos da produção possibilitam o controle total de insumos, produtos e prazos. Para o Diretor de Produção, estar diante da possibilidade de evoluir os processos logísticos do chão de fábrica a tal ponto parecia uma realidade distante. Conhecedor do tema da Indústria 4.0, ele corrobora

que o modelo atende as necessidades da empresa dentro do conceito das tecnologias da Indústria 4.0, avaliando acreditar que as tecnologias propostas no modelo poderiam ser implementadas na empresa e que possivelmente elas possibilitariam ganhos de tempo e redução de custos. Assim, a empresa daria um enorme passo na direção de obter um elevado nível de qualidade nos processos logísticos no meio produtivo.

- **Armazenamento e separação de produtos para despacho**

Para os funcionários da Empresa 1, o controle automatizado de estoque seria o final do ciclo logístico dentro da empresa, sendo este processo já beneficiado por todas as melhorias nos processos logísticos anteriores, além da otimização do processo de armazenamento e separação de produtos individualmente com o uso das tecnologias propostas. Para o Coordenador de Logística, o uso de sensores conectados em produtos e *pallets* possibilitaria ter o total controle da gestão de estoque dos produtos acabados, significando que setores de produção, logística, comercial, vendas e outros tenham acesso instantâneo a todas as informações. Isso possibilitaria que cada setor se atualize e de andamento nas suas atividades sem que falte informações de outros setores, aumentando agilidade no processo, assertividade nos prazos e ações e melhor atendimento ao cliente. Essas ações resultam em enormes ganhos de tempo e custos no processo, agilizando o processo de embarque e despacho de produtos.

Já para os funcionários da Empresa 2, o armazenamento e separação de produtos é considerado um fator determinante para toda indústria. Sua eficácia leva ao sucesso se executado com rapidez, assertividade e agilidade para preparação do carregamento, diminuindo o tempo no processo final, que é a entrega. O Supervisor de Logística inclusive acrescentou que o uso da *internet* das coisas possibilitaria determinar com precisão a localização de produtos acabados em ruas e corredores do armazém, com todas as informações integradas ao WMS e ERP para acesso de todos envolvidos através da computação em nuvem, principalmente para os setores de logística e expedição. Com isso, seria possível garantir uma melhor alocação dos produtos, resultando em menos retrabalho, o que traria também ganho de espaço e maior rapidez para executar todos os processos.

Os funcionários da Empresa 3 abordaram que o modelo pode auxiliar na gestão de estoque trazendo organização, localização de produtos e rastreamento, diminuindo a quantidade de erros e o tempo que se leva para executar as tarefas. Para o Diretor Administrativo e Financeiro, o uso de sensores após a finalização da fabricação dos produtos gera informações importantíssimas no processo de gestão de estoque de produtos acabados. Informações precisas de localização dos lotes de produtos e suas quantidades facilita a rotina de trabalho. Com as

informações chegando aos supervisores em tempo real a partir do monitoramento de estoque de maneira automatizada, aliadas à inteligência artificial para auxiliar na tomada de decisões, seria possível diminuir consideravelmente o tempo para executar as tarefas, além de tornar os processos assertivos e reduzir situações de envio de cargas erradas. Por fim, o profissional aponta que indústria que não se prontificar a evoluir nesses pontos deverá ficar obsoleta.

- **Expedição de produtos**

Os funcionários da Empresa 1 abordaram que o uso de tecnologias como o Big Data Analytics transforma totalmente a maneira como a gestão dos transportes é realizada. Para o Supervisor de Logística, a possibilidade de utilizar *softwares* estatísticos e inteligência artificial para otimização de rotas faz com que a empresa eleve consideravelmente a maneira como o processo de expedição de produtos é realizado. Ele aborda ainda que as possibilidades para redução de tempo de entrega, redução de frota, menor custo com combustível, motorista, manutenção de veículos, dentre outros, possibilitaria grandes reduções de prazos de entrega e de custos envolvidos no processo de transporte, além de uma substancial melhoria na qualidade de atendimento ao cliente. Isso permitiria operar com menores prazos para entrega, o que pode acarretar em uma vantagem competitiva vital frente a concorrentes que não estão nesse patamar.

Para os funcionários da Empresa 2, a etapa de transporte seria totalmente otimizada com a *internet* das coisas e a computação em nuvem. A precisão de dados como localização do caminhão e da carga, tempo exato de descarregamento e deslocamento e se houve algum imprevisto, seriam situações controladas com essas tecnologias e relevantes para a empresa. Para o Gerente de Transportes, hoje em dia, com o aumento significativo de vendas em *e-commerce*, a rapidez nas entregas é primordial. O uso dessas tecnologias nessa Dimensão pode resultar em enormes reduções de tempo e também de custos de frete, que é um valor bem alto hoje em dia. Já o *Blockchain* traz a confiabilidade dos dados e a transparência para a empresa, assim como para os lojistas e aos consumidores finais, que desejam estar constantemente atualizados sobre o *status* de entrega de seu produto. Além disso, essa tecnologia proporciona segurança a todas as informações. O profissional também mencionou que essa Dimensão seria a mais beneficiada pelo uso de tecnologias da Indústria 4.0.

Por fim, para os funcionários da Empresa 3, o controle em tempo real e a automação do processo preenche um ponto cego no setor de transportes, pois não há transmissão de dados após a saída do veículo da empresa, ou seja, não há informações sobre o tempo de trajeto, rotas utilizadas, paradas e momento de desembarque. Para o Gerente Comercial, esse controle é fundamental para que possa ser otimizado o processo de entrega, que tem custos elevados e

impacta diretamente nos prazos de entrega. Ele aponta que a utilização de *software* TMS em nuvem combinado com o uso de sensores possibilitaria um total controle em todas as variáveis envolvendo o transporte, atacando os pontos mais problemáticos com auxílio de *softwares* do *Big Data Analytics* e obtendo importantes ganhos de prazo e custos envolvidos em toda essa Dimensão. Outro benefício apontado por ele é que o uso de sensores de dimensionamento permitem o conhecimento do tamanho, volume e peso das caixas, otimizando o uso do espaço interno do veículo e melhorando o processo de embarque e desembarque das mercadorias do caminhão, reduzindo riscos de acidentes nesses processos.

Realizada a verificação junto aos funcionários, cabe ressaltar que a apresentação do modelo para o Diretor de Produção e o Gerente Comercial da empresa 3 clarificou o recorte do trabalho. Assim, eles compreenderam que este estudo tinha como objetivo identificar as tecnologias da Indústria 4.0 aplicáveis aos processos logísticos e seus possíveis benefícios e concordaram com a abordagem do trabalho, entendendo que uma etapa para implementação não fazia parte desta proposta, mas que poderia ser realizado em trabalhos futuros a partir deste estudo. O Diretor Administrativo e Financeiro e o Gerente de Compras da empresa 3 também entenderam na verificação do modelo o viés do trabalho em apresentar um estágio de identificação das tecnologias, e apontaram ainda que esta etapa atual é fundamental para um próximo passo, que seriam estudos sobre viabilidade e implementação das tecnologias.

4.3.2 Modelo final

Após a verificação dos profissionais, foram realizados os ajustes no modelo inicial, criando-se então o modelo final de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 no setor logístico.

É importante ressaltar que essa proposta de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 no setor logístico de pequenas e médias empresas da indústria moveleira pode ser enquadrada como um modelo que segue os preceitos da Indústria 4.0. Conforme afirma Tao et al. (2016) e Lu (2017), a Indústria 4.0 é caracterizada por novas abordagens sobre a produção, análise de dados, fornecimento, inventário, transporte, distribuição, dentre outros aspectos. Isso acontece utilizando tecnologias, ferramentas e técnicas que otimizam processos através do uso da automação e auxílio de inteligência artificial para execução de processos e tomada de decisões, gerando um conceito de total integração de dados e comunicação entre máquinas, funcionários, produtos, veículos, entre setores diferentes, com a informação obtida e processada em tempo real e conectada em rede.

Do mesmo modo, o modelo proposto foi baseado na literatura, especificamente nos modelos de Sternad, Lerher e Gajšek (2018), Leyh et al. (2016) e Schumacher, Erol e Sihm

(2016), os quais identificam e classificam o nível de maturidade industrial das empresas nos conceitos da Indústria 4.0 e Logística 4.0, de maneira geral ou através de dimensões específicas, como nível de maturidade dos processos produtivos, da logística, uso de TIC, digitalização de processos, gestão, estratégia e recursos humanos.

Seguindo esses preceitos, o modelo final aponta as dimensões de recebimento de matérias-primas, armazenamento e retirada de matérias-primas do estoque, fluxo de matérias-primas e produtos na produção, armazenamento e separação de produtos para despacho e expedição de produtos e propõe utilizar as tecnologias *internet* das coisas, computação em nuvem, *Big Data Analytics*, *Blockchain* e Impressão 3D em situações específicas. Essas tecnologias são utilizadas através do uso de *hardwares* que permitam personalização de peças e produtos associada a produção em massa, uso de sensores para coleta de dados, *softwares* que façam a gestão da empresa, gestão de armazém, gestão de transporte, processamento de dados e uso de inteligência artificial para tomada de decisões, todos conectados em rede e alocados em nuvem.

Em relação aos ajustes no modelo inicial, nenhuma inclusão ou modificação foi solicitada pelos profissionais nos campos Dimensão, Tecnologia ou Situação Proposta, entendendo que o modelo já traz todos os preceitos da Indústria 4.0 e da Logística 4.0 que poderiam ser utilizados nos processos logísticos de suas empresas. Alguns entrevistados que possuem maior conhecimento sobre Indústria 4.0 e suas tecnologias apontaram que o modelo está plenamente de acordo com o conceito deste modelo industrial.

Sobre as possíveis consequências do uso desse modelo em indústrias de pequeno e médio porte no setor moveleiro, os profissionais avaliaram que as consequências identificadas no modelo inicial, especificamente na coluna Resultado Esperado, são factíveis e de acordo com o que se pode esperar nessa indústria e nessa área. Além disso, os entrevistados incluíram algumas outras possíveis consequências da utilização do modelo proposto. O Gerente de produção da Empresa 1 apontou que na Dimensão “Armazenamento e retirada de matérias-primas do estoque”, os sensores possibilitariam o dimensionamento das cargas a serem manipuladas, identificando tamanho, volume e peso, para que otimize o processo de manipulação e transporte interno, reduzindo riscos de acidentes. Já o Supervisor de Logística da Empresa 2 acrescentou que o uso da *internet* das coisas na Dimensão “Armazenamento e separação de produtos para despacho” possibilitaria determinar com precisão a localização de produtos acabados em ruas e corredores do armazém. Assim, integrando as informações ao WMS e ERP alocados na nuvem, o processo seria otimizado e resultaria em menos retrabalho, ganho de espaço e maior rapidez para executar todas as atividades. Por fim, para o Gerente

Comercial da Empresa 3, na Dimensão “Expedição de produtos”, uma outra consequência apontada por ele é que o uso de sensores de dimensionamento auxiliariam o processo de “cubagem” da carga, permitindo o conhecimento do tamanho, volume e peso das caixas. Isso otimizaria o uso do espaço interno do veículo e melhoraria o processo de embarque e desembarque das mercadorias do caminhão, além de reduzir riscos de acidentes nesses processos. A partir dessas constatações, a coluna “Resultados esperados” foi alterada para a inclusão das consequências da utilização do modelo proposto pelos funcionários.

Entretanto, além da adição das consequências no campo “Resultados esperados”, boa parte dos entrevistados entendeu que haveria uso reduzido das tecnologias *Blockchain* na Dimensão recebimento de matérias-primas e da Impressão 3D na Dimensão fluxo de matérias-primas e produtos na produção. Porém, os profissionais deixaram claro a importância dessas tecnologias nas outras dimensões onde são citadas. Apesar da menor utilização do *Blockchain* e da Impressão 3D em relação as outras tecnologias do modelo, os entrevistados afirmam que elas são fundamentais para a sinergia e integração proporcionada por todas tecnologias. A partir dessas constatações, tanto o *Blockchain* quanto a Impressão 3D foram removidas, respectivamente, do recebimento de matérias-primas e do fluxo de matérias-primas e produtos na produção.

Em relação ao *Blockchain*, sua remoção das tecnologias no “Recebimento de matérias-primas” significou retirar da situação proposta o “uso de software *Blockchain* em nuvem para registro e gestão de pedidos”, o que conseqüentemente provocou a remoção dos resultados esperados da “segurança nas transações e rastreabilidade de insumos”, que era proporcionada pela tecnologia *Blockchain*. Conforme abordado pelos funcionários, essas vantagens, no momento, seriam interessantes para os fornecedores, não fazendo sentido sua implementação no modelo.

Já em relação à Impressão 3D, sua remoção das tecnologias no “Fluxo de matérias-primas e produtos na produção” significou retirar da situação proposta o “uso da impressão 3D para produção de peças específicas que não são fabricadas internamente”, o que conseqüentemente provocou a remoção dos resultados esperados da “personalização de produtos com a impressão 3D possibilitando reduzir custos logísticos adicionais ao obter peças específicas em menor quantidade, e prazos controlados devido peças serem produzidas internamente”. Conforme abordado pelos funcionários das empresas, existe ainda uma necessidade de entender como a Impressão 3D se sairia atuando diretamente no processo produtivo. Com isso, apontam que sua possível aplicação carece ainda de mais estudos e dados de sua ação diretamente na produção.

O Quadro 6 apresenta o modelo final das tecnologias da Indústria 4.0 no setor logístico proposto por essa pesquisa, com as adições dessa fase destacadas em negrito.

Quadro 6 – Modelo Final de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 no setor logístico

DIMENSÃO	TECNOLOGIAS	SITUAÇÃO PROPOSTA	RESULTADOS ESPERADOS
Recebimento de matérias-primas	<i>Internet das coisas</i> Computação em nuvem <i>Big Data Analytics</i> Impressão 3D	<ul style="list-style-type: none"> • Sensores em caixas e <i>pallets</i>, portais para detecção de sensores; • Integração e processamento de informações e dados entre <i>softwares</i> diversos como WMS, ERP da empresa e alocar em nuvem; • Uso de <i>softwares</i> de <i>Big Data Analytics</i> alocados em nuvem para cálculos e simulações matemáticas; • Obtenção de insumos e <i>hardware</i> para manufatura aditiva. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rastreamento automatizado de mercadorias e otimização da gestão de estoque; • Transparência de dados e informações com fluxo automatizado e em tempo real, possibilitando maior assertividade na quantidade de insumos comprados; • Gestão de estoque com auxílio de modelos matemáticos de simulação e uso de inteligência artificial, proporcionando redução de estoque; • Produção de peças personalizadas na própria indústria e prototipagem de novos produtos sem afetar o processo produtivo e os prazos de entregas.
Armazenamento e retirada de matérias-primas do estoque	<i>Internet das coisas</i> Computação em nuvem <i>Big Data Analytics</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Sensores em caixas e <i>pallets</i>, portais para detecção de sensores; • Integração e processamento de informações entre <i>softwares</i> diversos como WMS, ERP da empresa e alocar em nuvem; • Uso de <i>softwares</i> de <i>Big Data Analytics</i> alocados em nuvem para gestão de estoque. 	<ul style="list-style-type: none"> • Controle total de insumos evitando baixas ou excesso de matérias-primas no estoque, rastreamento do fluxo de matérias-primas no estoque, controle quantitativo da entrada e saída de insumos de maneira automatizada, dimensionamento de tamanho, volume e peso de cargas, otimizando processo de manipulação; • Fluxo automatizado de dados e informações em tempo real, otimizando a gestão e redução de estoque. Uso de <i>software</i> WMS em nuvem integrado com ERP da empresa, otimizando fluxo de dados de armazenamento; • Uso de simulações e algoritmos para estimar o comportamento do armazenamento de insumos, proporcionando redução de estoque.

Fluxo de matérias-primas e produtos na produção	<i>Internet das coisas</i> <i>Computação em nuvem</i> <i>Big Data Analytics</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Sensores em insumos e produtos em produção, sensores nas máquinas da produção, portais para detecção de sensores; • Integração e processamento de dados e informações do WMS e ERP com dados gerados na produção e alocar em nuvem; • Uso de <i>softwares</i> de <i>Big Data Analytics</i> alocados em nuvem para análise de dados de gestão de estoque e produção; 	<ul style="list-style-type: none"> • Rastreamento automatizado do fluxo de insumos e de produtos no chão de fábrica e comunicação entre máquinas da produção, obtendo dados sobre <i>status</i> do pedido, resultando em maior assertividade nos prazos de produção e controle das condições de equipamentos, o que também poderia antecipar manutenções corretivas, evitar quebras e diminuir prazos de entrega de produtos; • Fluxo de dados e informações em tempo real de <i>software</i> WMS e ERP integrados com os dados de produção, possibilitando fornecer informações em tempo real de <i>status</i> da produção através da disponibilização de dados em nuvem; • Uso de simulações e algoritmos com os dados das etapas operacionais, possibilitando a visualização estatística do andamento dos processos em cada setor, identificando erros e gargalos que impactam nos prazos de produção e nos processos logísticos;
Armazenamento e separação de produtos para despacho	<i>Internet das coisas</i> <i>Computação em nuvem</i> <i>Big Data Analytics</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Sensores em produtos acabados, portais para detecção de sensores; • Integração e processamento de dados e informações do WMS e ERP alocados em nuvem; • Uso de <i>softwares</i> de <i>Big Data Analytics</i> alocados em nuvem para análise de dados da gestão de estoque. 	<ul style="list-style-type: none"> • Controle automatizado do estoque de produtos acabados, informações atualizadas em tempo real conforme andamento de produção e pedidos dos clientes, controle quantitativo da entrada e saída de produtos acabados de maneira automatizada, localização de produtos acabados em ruas e corredores do armazém; • Fluxo automatizado de dados e informações em tempo real, otimizando a gestão e redução de estoque de produtos acabados. Uso de <i>software</i> WMS em nuvem, integrado com ERP da empresa, otimizando fluxo de dados de armazenamento, atualização e trocas de dados de estoque da empresa com estoque dos clientes; • Uso de simulações e algoritmos para estimar o comportamento do fluxo de armazenamento de mercadoria nos estoques, ajudando a reconhecer padrões, tendências e prever cenários que podem afetar os processos logísticos da empresa, possibilitando redução de estoque.
Expedição de produtos	<i>Internet das coisas</i> <i>Computação em nuvem</i> <i>Big Data Analytics</i> <i>Blockchain</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Sensores em produtos acabados, portais para detecção de sensores no caminhão para carregamento e descarga dos produtos; Sensores no veículo para rastreamento e aferição de condições mecânicas, Sensores no motorista para aferição de fadiga e condições físicas; • Integração e processamento de dados e informações do WMS, TMS e ERP alocados em nuvem; • Uso de <i>softwares</i> de <i>Big Data Analytics</i> alocados em nuvem para análise de dados da gestão de estoque • Uso de <i>software Blockchain</i> em nuvem para registro e gestão de pedidos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gerenciar o transporte e a frota, podendo identificar a localização do veículo, realizar o dimensionamento do tamanho, volume e peso da carga para embarque e desembarque, identificar quando a carga for entregue, obter informações de trânsito para otimizar o trajeto em tempo real, fazer diagnósticos de desgaste do veículo e monitorar a saúde e fadiga do motorista possibilitando diminuir custos, reduzir riscos de acidentes e economizar tempo; • Fluxo automatizado de dados e informações em tempo real do estoque da empresa com o estoque e pedidos dos clientes, otimizando a gestão e reduzindo o estoque de produtos acabados. Uso de <i>software</i> TMS em nuvem para otimizar a gestão de transporte, integrado com WMS e ERP da empresa, otimizando fluxo de produtos e dados de armazenamento; • Auxílio de modelos matemáticos, inteligência artificial e simulações que possibilitam mapear padrões de entrega, otimizar roteiros de distribuição, rotas e trajetos com atualização do trânsito em tempo real para promover entregas mais rápidas com um preço de frete reduzido. Possibilita ainda otimizar o

			dimensionamento da frota e consumo de combustível; <ul style="list-style-type: none">• Segurança nas transações e rastreabilidade de produtos.
--	--	--	--

Fonte: elaboração própria.

O modelo trouxe satisfação aos entrevistados ao identificarem que as necessidades das empresas foram atendidas, inclusive ao clarificar questões que foram levantadas na entrevista para coleta de dados utilizados em sua elaboração. Todos os entrevistados entenderam e concordaram com seu caráter técnico de apresentar quais as tecnologias podem ser aplicadas nos processos logísticos e quais os resultados esperados e que, partindo desse ponto, em uma próxima etapa seria possível utilizar esse modelo para iniciar um processo de implementação dessas tecnologias. Assim, em um próximo estágio, as empresas poderão se aprofundar em como esse modelo poderia ser implementado e qual a viabilidade econômica, custos e retornos financeiros para tal implementação.

5 CONCLUSÕES

A Indústria 4.0 engloba o uso de ferramentas tecnológicas, com destaque para a *internet* das coisas, computação em nuvem, *Big Data Analytics*, *Blockchain* e impressão 3D (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013; LASI et al., 2014; MOUEF et al., 2017). Dentro deste conceito, o uso dessas tecnologias aplicadas nos processos logísticos da Indústria 4.0 é conhecido como Logística 4.0 (LEE; LEE, 2015). A Logística 4.0 pode ser aplicada em diferentes modelos industriais, como em indústrias do setor moveleiro, conforme abordado por Ng e Kanagasundaram (2017).

Entretanto, para que possa ser realizada a utilização das tecnologias da Indústria 4.0 nos processos logísticos, mostrou-se relevante a elaboração de um procedimento. Na literatura, essa necessidade foi detectada e estudada na forma de modelos de níveis de maturidade como os de Sternad, Lerher e Gajšek (2018), Leyh et al. (2016) e Schumacher, Erol e Sihm (2016), os quais oferecem uma classificação do nível de maturidade industrial das empresas nos conceitos da Indústria 4.0 e Logística 4.0

Diante deste contexto, esta pesquisa buscou identificar como as tecnologias da Indústria 4.0 poderiam ser aplicadas nos processos logísticos de pequenas e médias empresas do setor moveleiro. Entende-se que a partir desse resultado, as empresas podem evoluir seus processos logísticos a nível da logística da Indústria 4.0, gerando resultados positivos. O presente trabalho se justificou pois, dentro do conceito da Indústria 4.0, com exceção da produção, é relativamente baixo o número de estudos sobre esse tema em outras áreas da indústria, como a logística, principalmente no âmbito de aplicação de tecnologias.

Portanto, o objetivo principal da pesquisa era criar um modelo de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 que possam ser usadas na logística das empresas e identificar as possíveis consequências de seu uso em indústrias de pequeno e médio porte no setor moveleiro. Para que tal objetivo proposto fosse alcançado, buscou se levantar na bibliografia, entre outros temas pertinentes, as características da Indústria 4.0, suas tecnologias que compõe esse conceito industrial e como elas são aplicáveis aos processos logísticos das empresas. Também procurou-se conhecer as características e peculiaridades da indústria moveleira para a criação de um modelo de aplicação de tecnologias nas indústrias desse setor.

Para tanto, além do levantamento bibliográfico, foi realizada a análise da percepção através de entrevistas com funcionários de três empresas, em relação aos conceitos apresentados na literatura da área, possibilitando o cruzamento de informações da literatura com as entrevistas para a geração do modelo. Por fim, após a confecção do modelo inicial, o mesmo

passou pelo crivo dos entrevistados no processo de verificação, realizando os ajustes necessários para a elaboração do modelo final.

Dessa maneira, considera-se que o objetivo proposto foi alcançado ao ser possível criar um modelo que possibilite aplicar as tecnologias da Indústria 4.0 nos processos logísticos de pequenas e médias empresas do setor moveleiro e colher os resultados e benefícios esperados da utilização dessas tecnologias.

Em relação ao conhecimento Indústria 4.0 e suas tecnologias, observou-se que as empresas estudadas, através de seus funcionários, possuem entendimento parcial do seu conceito, das tecnologias existentes e de qual maneira são empregadas. É interessante notar que isso pode resultar em perda de oportunidades de melhorias, uma vez que os processos logísticos compreendem atividades de alto impacto nas empresas em relação à custos, prazos para entrega e qualidade de serviços ofertados, com o objetivo de melhor atender o cliente.

Percebeu-se também que as empresas estudadas detém automação e uso de tecnologias avançadas em vários processos de produção e gestão, porém alguns processos logísticos são executados ou controlados de maneira precária, com uso de planilhas e tabelas no computador ou mesmo de pranchetas com anotações a mão.

Em relação ao nível de maturidade tecnológico das empresas estudadas, essa classificação foi realizada com base nos modelos da literatura de Sternad, Lerher e Gajšek (2018), Leyh et al. (2016) e Schumacher, Erol e Sihm (2016), os quais oferecem uma classificação do nível de maturidade industrial das empresas nos conceitos da Indústria 4.0 e Logística 4.0, e serviu como referência para nortear a elaboração de um modelo de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 nos processos logísticos das empresas do setor moveleiro.

As empresas apresentaram algumas diferenças em relação a classificação tecnológica geral e também na classificação baseada na maturidade dos processos logísticos. Outro fator importante foi a diferença entre os profissionais que atuavam diretamente no setor logístico, com a Empresa 1 possuindo um quadro mais robusto no setor, enquanto a Empresa 3 delegava funções dos processos logísticos a gerentes ou supervisores gerais. Essa heterogeneidade foi importante na coleta de dados para entender as necessidades de cada empresa buscando, ao final, a elaboração de um modelo que atendesse as exigências gerais das indústrias do setor moveleiro.

Nas entrevistas ficou evidente que todos os funcionários entendem a grande importância dos processos logísticos para suas empresas, de tal modo a atuarem buscando a melhor maneira de executar as atividades pertinentes a logística. Porém, também ficou claro que estes profissionais sentem a necessidade de um maior uso de novas tecnologias nos processos

logísticos para que essas atividades possam ser executadas com maior nível de automação e integração entre funcionários e setores diferentes.

Diante disto, os entrevistados apontaram que a maior dificuldade é saber quais tecnologias devem ser empregadas nos processos logísticos, como elas vão atuar e quais os resultados esperados de seu uso. Com todos esses dados, combinados com o conteúdo da literatura, foi elaborado o modelo inicial de aplicação das tecnologias.

Após sua confecção, o modelo inicial foi apresentado aos funcionários para o processo de verificação. O modelo em si foi unânime, sendo aprovado por todos os profissionais. Entendeu-se que ele solucionou dúvidas que haviam ficado pendentes em relação a quais e como as tecnologias iriam atuar. Não foi solicitada qualquer inclusão de tecnologias ou processos, apenas a inclusão de consequências do uso das tecnologias na coluna “Resultados esperados”. Além disso, foi sugerida a retirada das tecnologias *Blockchain* na Dimensão recebimento de matérias-primas e Impressão 3D na Dimensão fluxo de matérias-primas e produtos na produção. Isso porque entendeu-se que elas não estavam compatíveis com as necessidades das empresas nessas dimensões citadas. Entretanto, os entrevistados reafirmaram a importância dessas tecnologias nas outras Dimensões que as tecnologias também são empregadas. Assim, *Blockchain* e Impressão 3D foram removidas somente das Dimensões mencionadas.

Concluída a verificação, foram realizados os ajustes no modelo inicial, produzindo o modelo final de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 nos processos logísticos do setor moveleiro.

O modelo final possui as Dimensões de “Recebimento de matérias-primas”, “Armazenamento e retirada de matérias-primas do estoque”, “Fluxo de matérias-primas e produtos na produção”, “Armazenamento e separação de produtos para despacho” e “Expedição de produtos” e propõe utilizar as tecnologias *internet* das coisas, computação em nuvem, *Big Data Analytics*, *Blockchain* e Impressão 3D em situações específicas. Essas tecnologias são utilizadas através do uso de sensores, *hardwares* e *softwares* que possibilitam a coleta, processamento e armazenamento de dados de matérias-primas, produtos, máquinas, pessoas e veículos, todos conectados em nuvem, além uso de inteligência artificial, impressoras 3D para personalização de peças e produtos e *softwares Blockchain* com registros seguros e transparentes em transações.

Assim, a pesquisa identificou que as possíveis consequências do uso do modelo proposto em indústria de pequeno e médio porte do setor moveleiro são, inicialmente, a otimização da gestão de estoque de insumos e produtos acabados. Isso possibilita ganhos de

produtividade e melhora na qualidade dos processos logísticos, o que irá refletir em um melhor desempenho que proporciona reduções de prazos operacionais e reduções de custos envolvendo a gestão de estoque.

Nos processos logísticos no setor de produção, o uso do modelo aponta como consequência o rastreamento automatizado do fluxo de insumos e de produtos no chão de fábrica e comunicação entre máquinas da produção e obtenção de *status* do pedido, o que resulta em maior assertividade nos prazos de produção e controle das condições de equipamentos. Assim, o uso do modelo pode possibilitar uma melhoria nos processos logísticos na produção, otimizando processos que resultam em redução de tempo e custos operacionais.

Já em relação à expedição e transporte, o uso do modelo tem como consequência a otimização do gerenciamento do transporte e da frota. Isso possibilitaria mapear padrões de entrega, otimizar rotas e monitorar o trânsito em tempo real. Além disso, todo o controle e fluxo automatizado de dados e informações em tempo real do estoque da empresa poderia aumentar a eficácia da gestão e reduzir o estoque de produtos acabados. Todas essas ações proporcionariam maior qualidade e assertividade no serviço, levando a reduções de custos operacionais, que por sua vez poderão propiciar a realização de entregas mais rápidas com um preço de frete reduzido. Pode proporcionar ainda a otimização e o dimensionamento da frota e reduzir consumo de combustível.

No processo de verificação, os entrevistados avaliaram que essas consequências identificadas no modelo inicial estão de acordo com o que se espera da indústria do setor moveleiro. Assim, coube aos profissionais incluírem outras possíveis consequências da utilização do modelo proposto. Dentre as inclusões, na Dimensão “Armazenamento e retirada de matérias-primas do estoque” foi adicionada a possibilidade de sensores dimensionando cargas para otimizar o processo de manipulação e transporte interno. Já na Dimensão “Armazenamento e separação de produtos para despacho” houve a inclusão do uso da internet das coisas para determinar a localização de produtos acabados em ruas e corredores do armazém, otimizando o processo de armazenamento e retirada de mercadorias do estoque de produtos acabados. Por fim, na Dimensão “Expedição de produtos” foi indicado o uso de sensores de dimensionamento que possibilitam o processo de “cubagem” da carga, permitindo o conhecimento das dimensões dos produtos para otimização do uso do espaço interno do veículo e melhora dos processos de embarque e desembarque das cargas.

Entende-se que os resultados alcançados podem ser de grande valia para as empresas, visto que os funcionários acreditam que a aplicação dessas tecnologias pode trazer muitos

benefícios nos processos logísticos e conseqüentemente nas empresas como um todo, elevando-as a um novo patamar na competitividade do mercado moveleiro.

Os profissionais entrevistados apontaram que o resultado da pesquisa os auxiliou a entenderem a necessidade de se realizar um estudo prévio para verificação de como poderiam ser melhorados os processos logísticos da empresa, através da pesquisa na literatura de quais tecnologias mais recentes poderiam ser utilizadas nos processos logísticos, como elas são utilizada e quais os benefícios de seu uso. Esse levantamento detalhado, junto com as informações obtidas com os funcionários, possibilitou a criação de um modelo de aplicação das tecnologias, que é a etapa inicial para realizar melhorias dos processos logísticos da empresa.

A pesquisa também ajudou os funcionários a identificar de forma mais clara a busca por melhorias em suas empresas pois, ao aumentar a compreensão sobre o assunto, conhecendo novas tecnologias e sua aplicação, fica mais fácil definir quais recursos devem ser utilizados e como eles devem ser aplicados, podendo evoluir para as etapas seguintes que seriam a busca pela implementação dessas tecnologias a partir do modelo de aplicação criado. Assim, a pesquisa, segundo os funcionários, auxilia na compreensão das possibilidades de uso das tecnologias da Indústria 4.0 na logística para ter uma melhor visão sobre as vantagens competitivas possíveis de serem conquistadas. A ideia é que este modelo de aplicação sirva para que as empresas passem para o próximo passo, que seria na direção da implantação dessas tecnologias em suas empresas para a obtenção dos resultados desejados. Os funcionários já se mostraram propensos a seguir para essa próxima etapa.

Por outro lado, visando contribuir com a literatura acadêmica da área, cabe ressaltar que faltam trabalhos que abordem de maneira direta a aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 nos processos logísticos de empresas, sobretudo no setor moveleiro, inclusive com modelos de aplicação das tecnologias conforme a proposta desse estudo. O uso de um modelo de aplicação foi escolhido por se tratar da construção e elaboração de um conceito que inicia o processo de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 nos processos logísticos, podendo, posteriormente, avançar para o processo de implementação e verificação de viabilidade e retorno financeiros. Cabe ainda informar que para o desenvolvimento do modelo foram utilizados modelos de maturidade tecnológica da Indústria 4.0 e da logística da Indústria 4.0, mas que foram poucos modelos encontrados na literatura. Assim, ao definir a amostra dessa pesquisa como o setor moveleiro, devido sua grande importância no mercado mundial como um todo, além de ampla atuação no Brasil e especificamente na região do interior do estado de São Paulo, onde encontram-se as empresas em que a pesquisa foi desenvolvida, foram poucos os trabalhos que falam da Indústria 4.0 e o uso de suas tecnologia no setor moveleiro. Desse modo, entende-se

que essa pesquisa contribui com a literatura da área ao propor um modelo de aplicação de tecnologias em uma área que carece de estudos, que é a Logística 4.0, e em um setor ainda pouco explorado, que é o ramo moveleiro.

É certo que essa pesquisa conta com limitações, como o número de empresas estudadas e o fato de não haver coleta de dados com empresas fornecedoras ou do varejo, para entender as necessidades também dessas empresas. Cabe ressaltar também que este estudo limitava-se a compreender a aplicabilidade das tecnologias, e não criar um procedimento operacional de como as tecnologias seriam implementadas nas empresas, como em um passo a passo. O estudo também não compreendia a viabilidade econômica das tecnologias e soluções propostas. Todas essas questões podem ser trabalhadas em pesquisas futuras. Todavia, considera-se que essas limitações não impediram a compreensão detalhada das empresas estudadas, bem como não descaracterizaram a proposta do recorte que este estudo se propôs a realizar.

De todo modo, não se considera que esta pesquisa seja definitiva na busca de identificar quais tecnologias da Indústria 4.0 devem ser necessariamente aplicadas nos processos logísticos do setor moveleiro. Um dos motivos é que as tecnologias estão evoluindo em um ritmo cada vez mais rápido, tornando inviável uma afirmação definitiva para este assunto. Portanto, sugere-se que pesquisas futuras possam ser realizadas com outras empresas e até atualizar a literatura sobre as tecnologias da Indústria 4.0 aplicáveis aos processos logísticos.

Portanto, essa pesquisa não deve ser generalizada, mas pode ser replicada para futuras comparações. Vale ressaltar que a empresa e os funcionários cooperaram com a pesquisa, e que, para trabalhos futuros, pode ser avaliado a viabilidade econômica para a aplicação desse modelo, além da elaboração de um procedimento operacional de implementação dessas tecnologias. Poderia também ser realizada a implementação desse modelo em uma ou mais empresas, podendo assim mensurar com mais clareza os custos envolvidos, benefícios do modelo, vantagens e desvantagens, pra que assim sejam avaliados os resultados obtidos em empresas que operam com essas tecnologias já implementadas em seus processos logísticos.

REFERÊNCIAS

- ABEYRATNE, S. A.; MONFARED, R. P. Blockchain ready manufacturing supply chain using distributed ledger. **International Journal of Research in Engineering and Technology**, v. 5, n. 9, p. 1-10, 2016.
- ALEXOPOULOS, K.; S. MAKRIS, V. XANTHAKIS; K. SIPSAS; GEORGE CHRYSSOLOURIS. A Concept for Context-aware Computing in Manufacturing: The White Goods Case. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, 839–849, 2016.
- ANDERL, R. Industrie 4.0: Advanced Engineering of Smart Products and Smart Production. **International Seminar on High Technology**, Piracicaba, 2014.
- APTE, S.; PETROVSKY, N. Will Blockchain technology revolutionize excipient supply chain management? **Journal of Excipients and Food Chemicals**, v. 7, n. 3, p. 76–78, 2016.
- ASHTON, K. That ‘internet of things’ thing. **RFID journal**, v. 22, n. 7, p. 97-114, 2009.
- BACCARIN, Artur Benzi. Indústria 4.0: IOT, Big Data e produtos digitais. **Design de Produto na Era Digital-Unisul Virtual**, 2018.
- BAHRIN, M. A. K., OTHMAN, M. F., AZLI, N. H. N., TALIB, M. F. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. **Jurnal Teknologi**, v. 78, n. 6-13, 2016.
- BAKER, J.; STEINER, J. Blockchain: The Solution for Transparency in Product Supply Chains. **Provenance: London, UK**, 2015.
- BERRETTA, S.; GHITA, O.; EVANS, K. E. Morphology of polymeric powders in Laser Sintering (LS): From Polyamide to new PEEK powders. **European Polymer Journal**, v. 59, p. 218-229, 2014.
- BHARADWAJ, A. Digital business strategy: toward a next generation of insights. **MIS quarterly**, p. 471-482, 2013.
- BHOIR, H.; PRINCIPAL, R. P. Cloud computing for supply chain management. **International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology**, v. 1, n. 2, p. 1-9, 2014.
- BI, Z.; XU, L. DA; WANG, C. Internet of things for enterprise systems of modern manufacturing. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 10, n. 2, p. 1537–1546, 2014.
- BLOEM, J. W. VAN DOORN, M., DUIVESTSTEIN, S., VAN MANEN, T., VAN OMMEREN, E., SACHDEVA, S. **No more secrets with big data analytics**. Sogeti, 2013.
- BOTTOMLEY, S. Patenting in England, Scotland and Ireland during the Industrial Revolution, 1700-1852. **Explorations in Economic History**, v. 54, p. 48–63, 2014.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). **Relação de Informações Sociais (RAIS)**. Disponível em: <<http://bi.mte.gov.br/bgcaged/>>. Brasília, DF, 2017.

BROSS, P. **The potentials of Blockchain technology in logistics**. Jönköping University, 2017.

CAMPBELL, I. DIEGEL, O., KOWEN, J., WOHLERS, T. **Wohlers Report 2017 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry: Annual Worldwide Progress Report**. Wohlers Associates, 2017.

CEGIELSKI, C. G., JONES-FARMER, L. A., WU, Y., HAZEN, B. T. Adoption of cloud computing technologies in supply chains. **The international journal of logistics Management**, 2012.

CAUCHICK MIGUEL, P. A.; SOUSA, R. O método do Estudo de caso na Engenharia de Produção. In CAUCHICK MIGUEL, P. A. (Org.) **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012, cap.6, p.130-148.

CHACÓN, J. M., CAMINERO, M. A., GARCÍA-PLAZA, E., NÚÑEZ, P. J. Additive manufacturing of PLA structures using fused deposition modelling: Effect of process parameters on mechanical properties and their optimal selection. **Materials & Design**, v. 124, p. 143-157, 2017.

CHEN, Y., CHEN, H., GORKHALI, A., LU, Y., MA, Y., LI, L. Big data analytics and big data science: a survey. **Journal of Management Analytics**, v. 3, n. 1, p. 1-42, 2016.

CHI, Q., YAN, H., ZHANG, C., PANG, Z., DA XU, L. A reconfigurable smart sensor interface for industrial WSN in IoT environment. **IEEE transactions on industrial informatics**, v. 10, n. 2, p. 1417-1425, 2014.

CHOI, J., KWON, O. C., JO, W., LEE, H. J., & MOON, M. W. 4D printing technology: A review. **3D Printing and Additive Manufacturing**, v. 2, n. 4, p. 159-167, 2015.

CHRISTOPHER, M. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**: estratégias para a redução de custos e melhoria dos serviços. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 1997.

COSTA, A. B., HENKIN, H. Organização industrial e inserção internacional da indústria brasileira de móveis. **Ensaio FEE**, v. 33, n. 1, 2012.

COTTELEER, M., JOYCE, J. 3D opportunity: Additive manufacturing paths to performance, innovation, and growth. **Deloitte Review**, v. 14, p. 5-19, 2014.

CROSBY, M., PATTANAYAK, P., VERMA, S., KALYANARAMAN, V. Blockchain technology: Beyond bitcoin. **Applied Innovation**, v. 2, n. 6-10, p. 71, 2016.

DELMOLINO, K., ARNETT, M., KOSBA, A., MILLER, A., SHI, E. Step by step towards creating a safe smart contract: Lessons and insights from a cryptocurrency lab. In: **International conference on financial cryptography and data security**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2016. p. 79-94.

DILBEROGLU, U. M., GHAREHPAPAGH, B., YAMAN, U., DOLEN, M. The role of additive manufacturing in the era of industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v. 11, p. 545-554, 2017.

- DRAYSE, M. H. Globalization and regional change in the U.S. furniture industry. **Growth and Change**, v. 39, n. 2, p. 252-282, jun. 2008.
- DREES, J. Logistics 4.0–tailored solutions for the future. In: **International Press Workshop**. Chennai: Gopali & Co., 2016.
- DUARTE, E. M.; RAMALHO, F. A.; AUTRAN, M. M. M.; PAIVA, E. B., ARAÚJO, M. B.S.; **Estratégias Metodológicas adotadas nas pesquisas de indicação científica premiadas na UFPB**. Florianópolis, v. 14, n. 27, p.170-190, 2009.
- DURACH, C. F., KURPJUWEIT, S., WAGNER, S. M. The impact of additive manufacturing on supply chains. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, 2017.
- EMOBILE. Indústria 4.0 na produção de móveis. **Emobile**, 2016. Disponível em <<http://www.emobile.com.br/site/industria/formobile-industria-4-0-na-producao-de-moveis/>> Acesso em: nov. 2019.
- FAUTH, E. M.; SPEROTTO, F. Q. **A aglomeração produtiva de móveis no Corede Serra**. Porto Alegre: FEE, 2013.
- GALINARI, R., TEIXEIRA JÚNIOR, J. R., MORGADO, R. R. A competitividade da indústria de móveis do Brasil: situação atual e perspectivas. **BNDES Setorial**, n. 37, mar. 2013, p. 227-272, 2013.
- GANDOMI A; HAIDER, M. Beyond the hype: big data concepts, methods, and analytics. **Int J Inf Manag**, 35(2):137–144, 2015.
- GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2008.
- GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6ª. ed. São Paulo: GEN/Atlas, 2017.
- GILCHRIST, A. **Industry 4.0: the industrial internet of things**. Apress, 2016.
- GOYAL, Sumit. Public vs private vs hybrid vs community-cloud computing: a critical review. **International Journal of Computer Network and Information Security**, v. 6, n. 3, p. 20, 2014.
- GTAI. Industrie 4.0: Smart manufacturing for the future, **German Trade & Invest**, 2014. Disponível<https://www.gtai.de/GTAI/Content/EN/Invest/_SharedDocs/Downloads/GTAI/Broschures/Industries/industrie4>. Acesso em: nov. 2019.
- GUBBI, J., BUYYA, R., MARUSIC, S., PALANISWAMI, M. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. **Future generation computer systems**, v. 29, n. 7, p. 1645-1660, 2013.
- GÜRDÜR, D., EL-KHOURY, J., SECELEANU, T., & LEDNICKI, L. Making interoperability visible: Data visualization of cyber-physical systems development tool chains. **Journal of industrial information integration**, v. 4, p. 26-34, 2016.

HÄNEL, T.; FELDEN, C. Operational business intelligence im zukunftsszenario der industrie 4.0. In: **Analytische Informationssysteme**. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg, 2016. p. 259-281.

HEIDRICH, F., FACÓ, J., REIS, C. F. D. B. O impacto competitivo na indústria brasileira com a aplicação dos conceitos da Indústria 4.0. **Anais...** São Paulo: SIMPOI 2017.

HERMANN, M., PENTEK, T., OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: **2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)**. IEEE, 2016. p. 3928-3937.

HOMPEL, M.; KERNER, S. Logistik 4.0: die Vision vom Internet der autonomen Dinge. **Informatik-Spektrum**, v. 38, n. 3, p.176-182, 2015.

HOEY, B. **Is the Furniture Industry Ready for Industry 4.0?**, 2018. Disponível em <<https://blog.flexis.com/is-the-furniture-industry-ready-for-industry-4.0>>, Acesso em: março 2020.

INTEL Corporation. Saiba mais sobre Big Data: Medidas que Gerentes de TI Podem Tomar para Avançar com o Software Apache Hadoop, **Intel Corporation**, 2013. Disponível em: <<https://www.intel.com.br/content/dam/www/public/lar/br/pt/documents/articles/90318386-1-por.pdf>>. Acesso em: nov. 2019.

JASPERNEITE, J. Was Hinter Begriffen Wie Industrie 4.0 Steckt. **Computer & Automation**, n.12, p.24–28, 2012.

JIA, Y., LI, J., DING, Y. Customized cabinet part classification manufacturing technology based on fuzzy clustering algorithm. **Journal of Forestry Engineering**, v. 1, n. 3, p. 133-138, 2016.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELD, J.; (Hrsg.): **Bericht der Promotorengruppe Kommunikation**. Im Fokus: Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Forschungsunion, 2012.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0**: Final Report of the Industrie 4.0 Working Group. Acatech-National Academy of Science and Engineering, Alemanha, 2013.

KIM, S.; KIM, S. A multi-criteria approach toward discovering killer IoT application in Korea. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 102, p. 143-155, 2016.

KOTLINSKI, J. Mechanical properties of commercial rapid prototyping materials. **Rapid Prototyping Journal**, 2014.

KUBAC, L.; KODYM, O. The Impact of 3D Printing Technology on Supply Chain. **MATEC Web of Conferences**, v. 134, p. 27-37, 2017.

KUPFER, D. INDÚSTRIA 4.0. [S. L.]: **Blog Cidadania e Cultura**, 2016. Disponível em <<https://fernandonogueiracosta.wordpress.com/2016/09/23/industria-4-0-por-david-kupfer/>>. Acesso em: nov. 2019.

LASI, H.; PETER F.; THOMAS F.; HOFFMANN M. Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**: p. 239–242, 2014.

LECTRA. Upholstered furniture manufacturing in the Industry 4.0 Era, **Lectra Website**, 2018. Disponível em <<https://www.lectra.com/en/library/furniture-manufacturing-in-the-industry-40-era>>. Acesso em: março 2020.

LEE, I.; LEE, K. The Internet of things (IoT): applications, investments, and challenges for enterprises. **Business Horizons**, Blomington, v. 58, n. 4, p. 431-440, 2015.

LEE, I. Big data: Dimensions, evolution, impacts, and challenges. **Business Horizons**, v. 60, n. 3, p. 293-303, 2017.

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

LI, L. China's Manufacturing Locus in 2025: With a Comparison of "Made-in-China 2025" and "Industry 4.0. **Technological Forecasting and Social Change**, China, 2017.

LI, Y., CAO, B., XU, L., YIN, J., DENG, S., YIN, Y., WU, Z. An efficient recommendation method for improving business process modeling. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 10, n. 1, p. 502-513, 2013.

LIGON, S. C., LISKA, R., STAMPFL, J., GURR, M., & MÜLHAUPT, R. Polymers for 3D printing and customized additive manufacturing. **Chemical reviews**, v. 117, n. 15, p. 10212-10290, 2017.

LINDNER, M., GALÁN, F., CHAPMAN, C., CLAYMAN, S., HENRIKSSON, D., & ELMROTH, E. The Cloud Supply Chain: a framework for information, monitoring , accounting and billing. **2nd International ICST Conference on Cloud Computing**, 2010.

LU, Y. Industry 4.0: A Survey on Technologies, Applications and Open Research Issues. **Journal of Industrial Information Integration**, n.6, p. 1–10, 2017.

LU, Y.; PAPAGIANNIDIS, S.; ALAMANOS, E. Internet of Things: A systematic review of the business literature from the user and organisational perspectives. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 136, p. 285-297, 2018.

MACAULAY, J.; BUCKALEW, L.; CHUNG, G. Internet of Things in Logistics. **DHL Trend Research**, v. 1, n. 1, p. 1–27, 2015.

MARTINEZ, B., VILAJOSANA, X., KIM, I. H., ZHOU, J., TUSET-PEIRÓ, P., XHAFA, A., LU, X. I3Mote: An open development platform for the intelligent industrial internet. **Sensors**, v. 17, n. 5, p. 986, 2017.

MATIC, V., LIEDTKE, L., GUENTHER, T., BUELAU, A., ILCHMANN, A., KECK, J., KUECK, H. Inkjet printed differential mode touch and humidity sensors on injection molded polymer packages. In: **SENSORS, 2014 IEEE**. IEEE, 2014. p. 2234-2237.

MAURER, B. Blockchains are a diamond's best friend. **Money Talks: Explaining How Money Really Works**, 2017.

MITRA, A.; A. KUNDU; M. CHATTOPADHYAY; S. CHATTOPADHYAY. A Cost-efficient One Time Password-Based Authentication in Cloud Environment Using Equal Length Cellular Automata. **Journal of Industrial Information Integration** n.5, 17–25, 2017.

MOEUF, A.; R. PELLERIN; S. LAMOURE; S. TAMAYO-GIRALDO; R. BARBARAY. The Industrial Management of SMEs in the Era of Industry 4.0. **International Journal of Production Research Published**, Setembro, 2017.

MOKTADIR, M. A., ALI, S. M., KUSI-SARPONG, S., & SHAIKH, M. A. A. Assessing challenges for implementing Industry 4.0: Implications for process safety and environmental protection. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 117, p. 730–741, 2018.

NAÇÕES UNIDAS. UN Comtrade – Database, **United Nations**, 2019, Disponível em: <<https://comtrade.un.org/>> . Acesso em: out. 5 de 2019.

NOFER, M., GOMBER, P., HINZ, O., & SCHIERECK, D. Blockchain. **Business & Information Systems Engineering**, v. 59, n. 3, p. 183-187, 2017.

NG, B. K., KANAGASUNDARAM, T. Sectoral innovation systems in low-tech manufacturing: Types, sources, drivers and barriers of innovation in Malaysia’s wooden furniture industry. **Institutions and Economies**, p. 549-574, 2017.

OESTERREICH, T.; F. TEUTEBERG. Understanding the Implications of Digitization and Automation in the Context of Industry 4.0: A Triangulation Approach and Elements of a Research Agenda for the Construction Industry. **Computers in Industry** n.83, p.121–139, 2016.

ØLNES, S., UBACHT, J., JANSSEN, M. Blockchain in government: Benefits and implications of distributed ledger technology for information sharing, **Government Information Quarterly**, 2017.

OPPITZ, M.; TOMSU, P. *Inventing the Cloud Century*. Business Information Systems. 1 ed. New York: **Springer International Publishing**, 2018.

PAREDES, L. N., ZORZO, S. D. Privacy mechanism for applications in cloud computing. **IEEE Latin America Transactions**, v. 10, n. 1, p. 1402-1407, 2012.

PERUZZINI, M.; F. GREGORI; A. LUZI; M. MENGARELLI; M. GERMANI. A Social Life Cycle Assessment Methodology for Smart Manufacturing: The Case of Study of a Kitchen Sink. **Journal of Industrial Information Integration** p.24–32, 2017.

PETERS, G. W., PANAYI, E. Understanding modern banking ledgers through Blockchain technologies: Future of transaction processing and smart contracts on the internet of money. In: **Banking beyond banks and money**. Springer, Champ. 239-278, 2016.

PFEIFFER, S. The vision of “Industrie 4.0” in the making—a case of future told, tamed, and traded. **Nanoethics**, v. 11, n. 1, p. 107-121, 2017.

PFOHL, H. C.; YAHSI, B.; KUZNAZ, T. The impact of Industry 4.0 on the Supply Chain. **Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistic** s.n., p. 32–58, 2015.

PILKINGTON, M. Blockchain technology: principles and applications. In: **Research handbook on digital transformations**. Edward Elgar Publishing, 2016.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

QIN, J., Y. LIU, R. GROSVENOR. A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and beyond. **Procedia CIRP**, 173–178, 2016.

RAO, S. K.; PRASAD, R. Impact of 5G technologies on industry 4.0. **Wireless personal communications**, v. 100, n. 1, p. 145-159, 2018.

RATNASINGAM, J. **The Malaysian Furniture Industry: Unravelling its Growth and Challenges to Innovation**. Universiti Putra Malaysia Press, 2015.

RAYNA, T.; STRIUKOVA, L. From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 102, p. 214–224, 2016.

ROßMANN, B., CANZANIELLO, A., VON DER GRACHT, H., HARTMANN, E. The future and social impact of Big Data Analytics in Supply Chain Management: Results from a Delphi study. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 130, p. 135-149, 2018.

RUSCHEL, H.; ZANOTTO, M. S.; MOTA, WC da. **Computação em nuvem. Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, Brasil**, 2010.

SCHMIDT, R., MÖHRING, M., HÄRTING, R. C., REICHSTEIN, C., NEUMAIER, P., JOZINOVIĆ, P. Industry 4.0-potentials for creating smart products: empirical research results. In: **International Conference on Business Information Systems**. Springer, Cham, 2015. p. 16-27.

SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHN, W. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. **Procedia Cirp**, v. 52, p. 161-166, 2016.

SEBRAE. Anuário do trabalho nos pequenos negócios: 2016. **Brasília, DF**, 2018, Disponível em <<https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Anu%C3%A1rio%20do%20Trabalho%20nos%20Pequenos%20Neg%C3%B3cios%202016%20VF.pdf>>. Acesso em: janeiro 2021.

SHANKAR, U. How the internet of things impacts supply chains. **Inbound logistics**, 2015.

SHEFFI, Yossi. RFID and the innovation cycle. **The international journal of logistics management**, v. 15, n. 1, p. 1-10, 2004.

SPEROTTO, F. Q. Setor moveleiro brasileiro e gaúcho: características, configuração e perspectiva. **Indicadores Econômicos FEE**, v. 45, n. 4, p. 43-60, 2018.

STEARNS, P. N. **Industrial Revolution World History**. Fourth Edition. Westview Press. 2013.

STERNAD, M., LERHER, T., GAJŠEK, B. Maturity levels for logistics 4.0 based on NRW's Industry 4.0 maturity model. **Business Logistics in Modern Management**, 2018.

STRANDHAGEN, J. O., VALLANDINGHAM, L. R., FRAGAPANE, G., STRANDHAGEN, J. W., STANGELAND, A. B. H., SHARMA, N. Logistics 4.0 and emerging sustainable business models. **Advances in Manufacturing**, v. 5, n. 4, p. 359–369, 2017.

SUNG, T. K. Industry 4.0: A Korea perspective. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 132, n. November 2017, p. 40–45, 2018.

TAO, F., Y. WANG, Y. ZUO, H. YANG, M. ZHANG. Internet of Things in Product Life-cycle Energy Management. **Journal of Industrial Information Integration**, n.1, p.26–39, 2016.

TAURION, C. **Cezar Taurion ameniza as tempestades de questionamentos sobre Cloud Computing**. TI Digital, n.12, fev. 2010.

THAMES, L., D. SCHAEFER. Software-defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0. **Procedia CIRP** n.52, p.12–17, 2016.

THOBEN, K. WIESNER, S. AND WUEST, T. “Industrie 4.0” and Smart Manufacturing – A Review of Research Issues and Application Examples,”**Int. J. Automation Technol**, Vol.11, No.1, pp. 4-16, 2017.

TIAN, F. An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & Blockchain technology. In: **2016 13th international conference on service systems and service management (ICSSSM)**. IEEE, 2016. p. 1-6.

TIWARI, S., WEE, H., DARYANTO, Y. Big data analytics in supply chain management between 2010 and 2016: Insights to industries. **Computers & Industrial Engineering**, v. 115, p. 319-330, 2018.

TRAPPEY, A.; C. TRAPPEY; U. GOVINDARAJAN; A. CHUANG; J. SUN. A Review of Essential Standards and Patent Landscapes for the Internet of Things: A Key Enabler for Industry 4.0. **Advanced Engineering Informatics**, p.208–229, 2017.

TREW, A. Spatial takeoff in the first industrial revolution. **Review of Economic Dynamics**, v. 17, n. 4, p. 707–725, 2014.

TU, M. An exploratory study of Internet of Things (IoT) adoption intention in logistics and supply chain management - a mixed research approach. **The International Journal of Logistics Management**, s.n. p. 1–10, 2018.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas. **Itajubá: Unifei**, 2012.

UCKELMANN, D., HARRISON, M., MICHAHELLES, F. **Architecting the internet of things**. Springer Science & Business Media, 2011.

VAEZI, M., CHIANRABUTRA, S., MELLOR, B., & YANG, S. Multiple material additive manufacturing–Part 1: a review: this review paper covers a decade of research on multiple material additive manufacturing technologies which can produce complex geometry parts with different materials. **Virtual and Physical Prototyping**, v. 8, n. 1, p. 19-50, 2013.

VARGHESE, A., D. TANDUR. Wireless Requirements and Challenges in Industry 4.0. In Proceedings of 2014 **International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)**, 634–638. Mysore, 2014.

VAZQUEZ-MARTINEZ, G. A., GONZALEZ-COMPEAN, J. L., SOSA-SOSA, V. J., MORALES-SANDOVAL, M., PEREZ, J. C. CloudChain: A novel distribution model for digital products based on supply chain principles. **International Journal of Information Management**, v. 39, p. 90-103, 2018.

VIDAL, A. C. F.; HORA, A. B. A atuação do BNDES nos setores de florestas plantadas, painéis de madeira, celulose e papéis: o período 2001-2010. **BNDES Setorial**, n. 34, p. 133-172. Rio de Janeiro, BNDES, set. 2011.

XIONG, X. Q., YUAN, Y. Y., FANG, L., LIU, H., WU, Z. H. Status and development trends of intelligent manufacturing in China's furnishings industry. **Forest Products Journal**, v. 68, n. 3, p. 328-336, 2018.

XIONG, X., GUO, W., HUANG, Q., FANG, L., PANG, X., WU, Z. STUDY of the quality control technology in furniture digital manufacturing. **Journal of Forestry Engineering**, v. 2, n. 4, p. 152-157, 2017.

XU, L. D., XU, E. L., LI, L. Industry 4.0: state of the art and future trends. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2941-2962, 2018.

WANG, C.; Z. BI; L. XU. IoT and Cloud Computing in Automation of Assembly Modeling Systems. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, p.1426–1434, 2014.

WANG, G., GUNASEKARAN, A., NGAI, E. W., PAPADOPOULOS, T. Big data analytics in logistics and supply chain management: Certain investigations for research and applications. **International Journal of Production Economics**, 2016.

WANG, K. Logistics 4.0 Solution New Challenges and Opportunities. **Proceedings of the 6th International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation**, 2016.

WANG, L.; HE, J.; XU, S. The Application of Industry 4.0 in Customized Furniture Manufacturing Industry, **MATEC Web of Conferences**, China, 2016.

WANG, Y. F. AND X. Z. ZHOU. A review of research on domestic and international intelligent manufacturing. **Forum Sci. Technol.** China 10:154–160, 2016.

WELLER, C., KLEER, R., PILLER, F.T. Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited. **International Journal of Production Economics**, v. 164, p. 43-56, 2015.

WENJIA, Y. A. N. G. Influence of The New Industrial Revolution on Furniture Industry. **Furniture**, n. 1, p. 5, 2013.

WITKOWSKI, K. Internet of things, big data, industry 4.0–innovative solutions in logistics and supply chains management. **Procedia Engineering**, v. 182, p. 763-769, 2017.

- WU, L., YUE, X., JIN, A., YEN, D. C. Smart supply chain management: a review and implications for future research. **The International Journal of Logistics Management**, 2016.
- YIN, S., KAYNAK, O. Big data for modern industry: challenges and trends. **Proceedings of the IEEE**, v. 103, n. 2, p. 143-146, 2015.
- ZANELLA, A., BUI, N., CASTELLANI, A., VANGELISTA, L., ZORZI, M. Internet of Things for Smart Cities. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 1, n. 1, p. 22–32, 2014.
- ZHENG, X., P. MARTIN, K. BROHMAN, L. XU. Cloud service negotiation in internet of things environment: A mixed approach. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 10, n. 2, p. 1506-1515, 2014.
- ZHI-HUI, W. U. New Thinking and New Models of the Chinese Home Furnishings Industry in the Industry 4.0 Era. **China Wood Industry**, n. 2, p. 1, 2017.
- ZHONG, R. Y., NEWMAN, S. T., HUANG, G. Q., LAN, S. Big Data for supply chain management in the service and manufacturing sectors: Challenges, opportunities, and future perspectives. **Computers & Industrial Engineering**, v. 101, p. 572–591, 2016.
- ZHOU, K., LIU, T., ZHOU, L. Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In: **2015 12th International conference on fuzzy systems and knowledge discovery (FSKD)**. IEEE, 2015. p. 2147-2152.
- ZHU, J., GUO, Y., MA, H. A data-driven approach for furniture and indoor scene colorization. **IEEE transactions on visualization and computer graphics**, v. 24, n. 9, p. 2473-2486, 2017.
- ZHU, S., SONG, J., HAZEN, B. T., LEE, K., CEGIELSKI, C. How supply chain analytics enables operational supply chain transparency: An organizational information processing theory perspective. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 48, n. 1, p. 47–68, 2018.
- ZIJM, H., KLUMPP, M., CLAUSEN, U., HOMPEL, M. T. **Logistics and supply chain innovation**. Springer, 2015.

APÊNDICE A - ROTEIRO DE ENTREVISTA

Dizer o nome, cargo que ocupa e quanto tempo exerce a função.

1. A Indústria 4.0 é definida como o uso de tecnologias que permitam sistemas integrados entre todos os envolvidos na fabricação e comercialização de um produto, processos automatizados, customização de produtos e tomada de decisões realizadas com auxílio de inteligência artificial. Em sua opinião, como esse modelo industrial pode agregar melhorias nos processos logísticos?
2. A *internet* das coisas é a conexão de qualquer objeto na internet, auxiliando, por exemplo, em rastreamento de inventário, localização de veículos e cargas, informações sobre o trânsito nas rotas, tudo em tempo real, de maneira instantânea e remota. Em sua visão, qual o impacto que esta tecnologia acarretaria nos processos logísticos e como ela poderia ser aplicada nesses processos em sua empresa?
3. A Computação em Nuvem possibilita acessar pela internet arquivos, programas e aplicativos sem a necessidade de possuir toda a infraestrutura física e de mão de obra própria. O acesso pode ser realizado de qualquer local e de maneira instantânea a *softwares* de gestão de processos logísticos, como WMS e TMS, por qualquer dispositivo conectado à internet. Em sua visão, qual o impacto que esta tecnologia acarretaria nos processos logísticos e como ela poderia ser aplicada nesses processos em sua empresa?
4. *Big Data Analytics* são ferramentas de análise estatísticas que processam grandes volumes de dados em tempo real, gerando informações gerenciais para auxílio na tomada de decisões, como identificação de erros nos processos e atraso em entregas, redução do frete através da melhoria na eficiência em trajetos e otimização do dimensionamento da frota e consumo de combustível. Em sua visão, qual o impacto que esta tecnologia acarretaria nos processos logísticos e como ela poderia ser aplicada nesses processos em sua empresa?
5. *Blockchain* é uma tecnologia que permite validar e armazenar o registro de transações e pode ser usada para rastrear objetos de maneira eficaz e segura. É um registro público e imutável, garantindo segurança de todos os lados de uma transação, como rastrear veículos e cargas, verificar a integridade de materiais em todas as etapas da distribuição, podendo identificar e reduzir prejuízos causados por terceiros em casos de acidentes ou

- roubos. Em sua visão, qual o impacto que esta tecnologia acarretaria nos processos logísticos e como ela poderia ser aplicada nesses processos em sua empresa?
6. Impressão 3D permite desenhar um objeto qualquer em um *software* e produzi-lo fisicamente através de uma impressora, podendo fabricar produtos personalizados, sem a necessidade de arcar com custos e prazos de entrega e armazenamento. Em sua visão, qual o impacto que esta tecnologia acarretaria nos processos logísticos e como ela poderia ser aplicada nesses processos em sua empresa?
 7. Cite e explique qual destas tecnologias seria a mais atrativa de ser aplicada nos processos logísticos de sua empresa, e como ela poderia ser aplicada atualmente?
 8. Cite e explique qual destas tecnologias seria a menos atrativa de ser aplicada nos processos logísticos de sua empresa.
 9. Em se tratando de tecnologias voltadas a logísticas, quais seriam hoje as maiores necessidades de sua empresa?
 10. Em relação a logística *inbound*, de entrada de recursos, quais as maiores necessidades de sua empresa para melhorar os processos logísticos?
 11. Em relação a logística interna e gestão de estoque, quais as maiores necessidades de sua empresa para melhorar os processos logísticos?
 12. Em relação a logística *outbound*, de saída de produtos, quais as maiores necessidades de sua empresa para melhorar os processos logísticos?
 13. Quais as características e configurações que você espera de um modelo de aplicação de tecnologias nos processos logísticos?