

## Aplicação do conceito de *Supply Chain 4.0* na atividade de *picking*

Andrey Alayo Hidalgo Schulz, Cassius Scarpin

**Resumo:** Diante do contexto de Indústria 4.0, o conceito de *Supply Chain 4.0* (SC 4.0) se torna escasso na literatura. Ainda mais quando o foco é na aplicação do conceito de SC 4.0 nas operações do Centro de Distribuição, mais especificamente na atividade de coleta de pedidos (*picking*). Assim, o objetivo do trabalho é levantar quais são as potenciais mudanças tecnológicas e impactos que o SC 4.0 pode trazer à atividade de *picking*, quais os níveis de maturidades esperados para esta atividade e o respectivo nível de implementação das tecnologias do SC 4.0 e trazer exemplos práticos encontrados. A contribuição deste trabalho reside tanto no âmbito teórico quanto prático ao enriquecer ainda mais a maturação do assunto aos interessados, tanto de acadêmicos quanto do setor industrial, que buscam cada vez mais progredir no caminho da digitalização da cadeia de suprimento.

**Palavras chave:** Indústria 4.0, Cadeia de Suprimento 4.0, Tecnologias Disruptivas, Centro de Distribuição, Coleta de Pedidos.

### Applying the Supply Chain 4.0 Concept to the Picking Activity

**Abstract:** Given the context of Industry 4.0, the concept of Supply Chain 4.0 (SC 4.0) becomes scarce in the literature. Even more so when the focus is on applying the concept of SC 4.0 to Distribution Center operations, more specifically in order picking activity. Thus, the objective of this paper is to identify what are the potential technological changes and impacts that SC 4.0 can bring to the picking activity, what are the expected maturity levels for this activity and the respective level of implementation of SC 4.0 technologies and to provide practical examples. The contribution of this work lies in both the theoretical and practical scope by further enriching the maturation of the subject to stakeholders, both academics and industry, who are increasingly seeking to progress in the path of supply chain digitization.

**Key-words:** Industry 4.0, Supply Chain 4.0, Disruptive Technologies, Distribution Center, Picking.

#### 1. Introdução

Na última década, a adoção de Tecnologia de Informação e Comunicação na maioria das atividades industriais se tornou praticamente inevitável principalmente devido ao fato dessas alavancarem a eficiência e competitividade organizacional (BARRETO et al., 2017).

A aplicação de novas tecnologias está levando a manufatura a uma nova revolução, a chamada Indústria 4.0, ou manufatura inteligente (FRAZZON et al., 2019), que abrange tecnologias de ponta e disruptivas (FREDERICO et al., 2019). Os potenciais resultados dessa nova revolução industrial causam grandes expectativas, pois tem como objetivo a criação de processos inteligentes integrados, adaptáveis, conectivos, flexíveis, precisos e eficientes (SILVA et al., 2018).

O motivo de grande interessa na Indústria 4.0 se deve pela criação de inúmeras possibilidades para as indústrias e vários outros setores do mercado (SILVA et al., 2019), pois esta tem potencial de transformar o modo como o valor é criado e entregue e como as empresas competem entre si (PORTER & HEPPELMANN, 2014).

Reconhecendo essas mudanças no ambiente de negócios e a tremendas mudanças que a cadeia de suprimentos passou nos últimos anos, a demanda por conceitos de gerenciamento que refletem os novos desafios e oportunidades emergentes da era digital aumentou. Além disso, a digitalização força as empresas a repensarem a maneira como projetam suas cadeias de suprimentos. Portanto, o conceito de *Supply Chain Management* (SCM) deve se tornar *Supply Chain Management 4.0* (SCM 4.0) (ASDECKER & FELCH, 2018; ALICKE et al., 2017).

Além deste termo, existem inúmeros outros utilizados para descrever essa nova versão de gestão de negócios global para atender as demandas do cliente (TRIPATHI & GUPTA, 2018), todos esses decorrentes da quarta revolução industrial e das realizações tecnológicas do século XXI (RADIVOJEVIĆ & MILOSAVLJEVIĆ, 2019).

Diante de tudo isso, o impacto da Indústria 4.0 em empresas ao redor do mundo de diferentes setores industriais é notório, tendo como reflexo uma extensa literatura nessa área. Todavia, quando o foco é a exploração das relações, impactos e aplicabilidade da Indústria 4.0 na Cadeia de Suprimento, a literatura se torna escassa.

A escassez se intensifica quando busca-se estudos ainda mais focados nas operações de um dos elos da Cadeia de Suprimentos, o Centro de Distribuição e a atividade de *picking*, dentro do âmbito do *Supply Chain 4.0* (SC 4.0).

Assim sendo, o objetivo deste trabalho, de caráter teórico e prático, é levantar quais são as potenciais mudanças tecnológicas e impactos que o SC 4.0 pode trazer ao Gerenciamento de Centro de Distribuição, mais especificamente à atividade de *picking*, quais os níveis de maturidades esperados para esta atividade e o respectivo nível de implementação das tecnologias do SC 4.0 e o que está sendo feito na academia e indústria nesse contexto.

O presente trabalho está estruturado como segue: no capítulo 2 é apresentado um referencial teórico elucidando os conceitos dos temas abordados. O capítulo 3 descreve a metodologia utilizada para alcançar os objetivos da pesquisa. No capítulo 4 há uma discussão do estrutura exposta e explorada. Por fim, o capítulo 5 traz a conclusão da pesquisa realizada.

## 2. Referencial Teórico

Neste capítulo serão apresentados os principais conceitos necessários para o entendimento do tema de estudo deste trabalho.

### 2.1 Indústria 4.0

O termo Indústria 4.0, também chamado de Quarta Revolução Industrial, foi inicialmente lançado na Alemanha em 2011. Daquele momento em diante, o tema atraiu muita atenção do setor industrial e da academia (FREDERICO et al., 2019). A ideia de Indústria Inteligente veio juntamente com o conceito de Indústria 4.0 e engloba não somente os recursos fabris, mas também produtos, serviços, clientes e modelos de negócios (RAMIREZ-PEÑA et al., 2019).

Esse conceito se refere ao aumento da conectividade de componentes cada vez menores. Com o uso de dados coletados desses objetos físicos, o modo como eles são produzidos acaba sendo impactado. Assim, quanto mais informações são coletadas, mais eficiente fica o processo de manufatura, pois os objetos físicos e o mundo digital estabelecem um laço de retroalimentação para otimizar cada etapa do processo produtivo, melhorar a qualidade e economizar tempo e dinheiro (PALOMBO, 2019).

Silva et al. (2018) afirmam que com a globalização mais acirrada do mercado e o aumento da competitividade gerou a necessidade de aplicar novas tecnologias, procedimentos e modelos

de negócios nas indústrias. Os autores listam as chamadas tecnologias disruptivas da Indústria 4.0, conforme segue:

- Análise de Dados: *Big Data* e Mineração de Dados;
- Distribuição de Dados: Computação na nuvem;
- Visualização de Dados e Cenários: Realidade Aumentada, Simulação e Realizada Virtual;
- Robotização Avançada: Robôs autônomos, sistemas de automação, inteligência artificial, Sistemas Cyber Físicos, robôs e veículos autônomos;
- Sistemas Digitais/ Rede: Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT*), Comunicação Máquina para Máquina (M2M) e rede sem fio;
- Sistema de Segurança de Dados: Segurança Cibernética e protocolo IPv6;
- Coleta de Dados e Controle de Equipamentos: Aplicativos móveis, sensores e Identificação por Radio Frequência (*Radio Frequency Identification – RFID*);
- Sistemas de Manufatura: Manufatura Aditiva; Sistemas de integração horizontal e vertical e Impressão 3D.

Tendo isso em vista Pfohl et al. (2015) definem Indústria 4.0 como a soma de todas as inovações disruptivas derivadas e implementadas em uma cadeia de valor com intuito de englobar as tendências de digitalização, autonomização, transparência, mobilidade, modularização, colaboração em rede e socialização de produtos e processos.

## 2.2 Supply Chain 4.0

O termo *Supply Chain* 4.0, ou Logística 4.0, apareceu em resposta e suporte do conceito de Indústria 4.0. Dessa forma, essa concepção consiste em dar o suporte a indústria 4.0, desde o processamento dos requisitos do mercado e planejamento da produção até a entrega de produtos inteligentes ao consumidores finais (RADIVOJEVIĆ & MILOSAVLJEVIĆ, 2019).

Frederico et al. (2019) propuseram uma estrutura conceitual para o termo *Supply Chain* 4.0 (SC 4.0). Esta estrutura é composta de 4 dimensões inter-relacionadas que compõe a fundação do termo, sendo elas: suportes gerenciais e de capacidade, alavancas de tecnologia, requisitos de desempenho de processos e resultados estratégicos.

Em termos gerais, a gestão da logística inclui o planejamento, implementação e controle de todos os processos logísticos. A realização das atividades de fluxo de mercadorias permite a movimentação física de produtos pela cadeia de suprimento, desde a fonte de matérias primas até a entrega do produto ao consumidor final. O fluxo de informações são necessários para apoiar a realização do fluxo de mercadorias e o gerenciamento logístico (RADIVOJEVIĆ & MILOSAVLJEVIĆ, 2019).

Nessa visão, uma possível definição para Gestão da Cadeia de Suprimento 4.0 (*Supply Chain Management* 4.0 – SCM 4.0) é a integração e sincronização de toda a cadeia de valor do produto em diferentes empresas, usando tecnologias com o intuito de criar um sistema interconectado e transparente com comunicação em tempo real que pode gerenciar fluxos e otimizar-se, indo em direção a uma rede autônoma, adaptável, inteligente, ágil e dinâmica, focada nos requisitos dos clientes (FRAZZON et al., 2019).

Dentro dessa definição, as características do SC 4.0 são: instrumentado, transparente, interconectado, integrado, inteligente, automatizado, resiliente, responsivo, rastreável, inovativo e sustentável.

### 2.3 Centro de Distribuição (CD) e *Picking*

Centros de Distribuição (CD) são considerados componentes essenciais na cadeia de suprimento. São geralmente usados para armazenamento de produtos (matérias primas, materiais intermediários e/ou produtos finais) nos pontos de origem, nos pontos de consumo e/ou ao longo da cadeia de suprimentos. Possuem a missão de equilibrar e acomodar a variabilidade de suprimento causada por sazonalidade e/ou agrupamentos de materiais em lotes de produção ou lotes de transporte (GU et al., 2007).

Assim, baseado em suas funções básicas, um centro de distribuição pode ser definido como sendo a instalação onde as atividades de recebimento, armazenamento, coleta das ordens (doravante chamada de *picking*) e expedição são realizadas (VAN GILS et al, 2018).

A atividade de *picking*, uma das atividades principais de um CD, ocorre, pois, em um centro de distribuição os produtos são recebidos e armazenados em cargas de grande volume, enquanto que os pedidos dos clientes compreendem em um pequeno volume de diferentes produtos (SCHOLZ e WÄSCHER, 2017).

Diante disso, o *picking* se tornou um significativo fator de influência sobre o nível de serviço dos pedidos dos clientes (BURINSKIENE, 2010). Somado a isso, Dallari et al. (2009) afirmam que cada vez mais o *picking* alcança um papel crucial na gestão da cadeia de suprimento.

Acrescentam ainda que o maior componente do tempo total do *picking* é o tempo gasto para deslocamento até os pontos de coleta. Considera-se que esse tempo é improdutivo e que representa cerca de 50% do tempo total da atividade. Ao assumir que o separador de pedidos (doravante chamado de *picker*) se movimenta em uma velocidade constante, a minimização do percurso total é equivalente a minimização do tempo total de percurso (SCHOLZ et al 2016).

Dessa forma, o problema de roteamento de *pickers* (ou roteamento do *picking*) visa minimizar a distância total de percurso, coletando todos os itens de um determinado conjunto de pedidos (CHARKHGARD & SAVELSBERGH, 2015; SCHOLZ & WÄSCHER, 2017), por meio da organização da melhor sequência da coleta dos itens (GU et al., 2007).

### 3. Metodologia

Para a realização do estudo, a metodologia pôde ser dividida em duas etapas de acordo com objetivos do artigo. A primeira etapa contemplou os objetivos das potenciais mudanças tecnológicas e impactos que o SC 4.0 pode trazer ao *picking* e quais os níveis de maturidade esperados para esta atividade dentro desse conceito.

Esta primeira etapa assemelhou-se a uma revisão sistemática da literatura, onde os seguintes passos foram seguidos: a) seleção dos banco de dados de pesquisa; b) definição das palavras chaves e suas combinações; c) realização das buscas; d) seleção dos artigos através da leitura dos resumos; e) eliminação dos artigos duplicados; f) qualificação dos artigos por meio da leitura completa da introdução e breve leitura do restante do artigo; g) adição de artigos baseado nas referências de artigos qualificados.

Os bancos de dados selecionados foram: Web of Science, IEEE Xplore, Science Direct (Elsevier), Google Scholar. As palavras chaves foram: Supply Chain 4.0 and Maturity e "Supply Chain 4.0" and Maturity.

Para o primeiro objetivo, os trabalhos que compuseram a base de pesquisa desta primeira etapa foram utilizados para o levantamento das tecnologias disruptivas e o impacto destes no

*picking*. Para o segundo objetivo, dois trabalhos foram selecionados como diretriz para o desenvolvimento das perspectivas esperadas para o *picking* dentro do conceito de SC 4.0. São os trabalhos de Asdecker & Felch (2018) e Frederico et al. (2019).

A segunda etapa englobou o último objetivo do trabalho de trazer exemplos práticos para ilustrar o que está sendo feito na academia e indústria no contexto do *picking* dentro da visão do SC 4.0. Para tanto, uma pesquisa bibliográfica com menos rigor metodológico e com foco no roteamento do *picking* foi realizada. Como a literatura retornou extensos resultados, os artigos selecionados para compor a lista de exemplos foram aqueles que apresentaram a aplicação de uma tecnologia parecida e/ou características do SC 4.0 em conjunto com seus respectivos métodos de roteamento.

#### 4. Desenvolvimento

Na era digital, a Cadeia de Suprimento 4.0 proporciona vantagem competitiva ao proporcionar oportunidade de reduzir cerca de 30% dos custos totais (ALICKE et al., 2017).

Parte disso se dá pela aplicação de novas tecnologias emergentes, também chamadas de tecnologias disruptivas, que diferenciam a Cadeia de Suprimento 4.0 de sua versão anterior. No Quadro 1 pode ser visto as tecnologias características de cada uma das versões da Cadeia de Suprimento.

##### SC 3.0 - Tecnologias/ Arquitetura

*Enterprise Resource Planning (ERP); Warehouse Management System (WMS); Transportation Management System (TMS); Código de barras; Eletronic Data Interchange (EDI); Filosofia de “Zero Estoque” e Sistemas de Otimização;*

##### SC 4.0 - Tecnologias disponíveis/ Potencial Arquitetura

*Internet of Things (IoT); Segurança Cibernética; Automação; Análise de Big Data; Tecnologias na computação na nuvem; Radio Frequency Identification (RFID); Máquinas inteligentes; Inteligência Artificial; Nano tecnologia; Omni Channel; Realidade aumentada; Enterprise Resource Planning (ERP); Aplicativos de celular; Impressão 3D; Business Intelligence (BI); Sistemas de Otimização; Robótica; Tecnologias de sensores; Produtos inteligentes; Machine-to-Machine (M2M) Digitalização Automatic Identification and Data Collection (AIDC).*

Fonte: Adaptado de Frazzon et al. (2019); Tjahjono et al. (2017); Frederico et al. (2019)

Quadro 1 – Tecnologias do SC 3.0 e do SC 4.0

Em levantamento feito por Frederico et al. (2019) através de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), apenas um dos artigos considerados cita “Sistemas de Otimização” como uma das tecnologias do SC 4.0. Provavelmente porque essa tecnologia já era utilizada na Cadeia de Suprimento 3.0.

Todavia, assim como outras tecnologias atualmente utilizadas na indústria como sensores, simulação em tempo real, automação e robotização, ainda são consideradas interessantes e perfeitas para a Indústria e SCM 4.0 (SILVA et al., 2018), os “Sistemas de Otimização” também devem ser.

Isso se deve ao fato que a era digital possui um importante aspecto que é a geração de grande quantidade de dados que devem ser bem gerenciados e aproveitados (FREDERICO et al., 2019). Nesse contexto de abundância de dados, os Sistemas de Otimização ganham novos campos de aplicação.

De forma geral, essas novas tecnologias guiarão o fluxo de produtos e informações ao longo da cadeia de suprimento (SILVA et al., 2018). Todavia, dados concretos sobre o efeito de aplicar o conceito de SC 4.0 são escassos (RADIVOJEVIĆ & MILOSAVLJEVIĆ, 2019).

O Quadro 2 apresenta algumas das tecnologias do SC 4.0 que potencialmente teriam impacto na atividade mais importante de um dos elementos essenciais da cadeia de suprimento, a atividade de *picking* de um Centro de Distribuição, respectivamente.

Tecnologia do SCM 4.0	Impacto Causado no <i>Picking</i>
IoT	Todos os dispositivos e sensores permitem a obtenção de dados que podem ser utilizados para aumentar a eficiência de realizar o roteamento dos <i>pickers</i> .
Automação/ Máquinas inteligentes/ M2M	Veículos inteligentes e autônomos podem levar a uma redução significativa dos custos operacionais de transporte e manipulação de materiais.
RFID/ AIDC	Posição exata e em tempo real de onde estão os produtos no CD são fornecidos. Fornece o status em tempo real do andamento do <i>picking</i> . Caso uma coleta de pedidos for atualizada com adição/retirada de produtos, um novo roteamento pode ser recalculado em tempo real.
Realidade Aumentada	Óculos inteligentes auxiliam a atividade de <i>picking</i> ao guiar o <i>pickers</i> pela rota otimizada, o que leva a uma redução no tempo de realização da atividade.
Tecnologia de Sensores	Com novos sensores instalados em lugares estratégicos do CD, novos dados podem ser utilizados para otimizar a rota dos <i>pickers</i> .
Robótica	A coleta de pedidos pode ser feita de maneira mais eficiente e segura, podendo transportar diferentes produtos de tamanhos diferentes em uma única máquina. Com robótica avançada e até mesmo o uso de exoesqueleto podem aumentar a eficiência da coleta de produtos. Uso de drones para o transporte de produtos coletados podem substituir os sistemas de transporte de produtos convencionais.
Simulação	Simular a atividade do <i>picking</i> para realizar todas as coletas necessárias considerando o conhecimento prévio da quantidade de produtos necessária, dados dos locais das peças e das melhores rotas a serem realizadas.

Fonte: Adaptado de Tjahjono et al. (2017)

Quadro 2 – Impacto das Tecnologias do SC 4.0 no *picking*

Com a implementação dessas tecnologias, toda a Cadeia de Suprimento será afetada em uma perspectiva estrutural e tecnológica, fazendo com que todas as atividades passem por um processo de digitalização (PFOHL et al., 2015). Nesse sentido, o Quadro 3 busca apresentar qual a perspectiva da atividade do *picking*, bem como o nível de implementação das tecnologias do SC 4.0 em cada um dos estágios do processo de digitalização.

#### Estágio 1 – Digitalização Básica

##### Cenário/Perspectiva do *Picking*:

- Recuperação manual da ordem necessária;
- Determinação manual da disponibilidade de estoque;
- Planejamento manual de *picking* no sistema de expedição da empresa;
- Reprogramação manual do *picking* em caso de atraso;
- Coleta de produtos pelo *picker* desde o local de armazenamento e entrega até a remessa;
- Verificação do produto pelo selecionador;
- Aquisição manual de *picking* do pedido no armazém;

Entrega manual do produto no ponto de carregamento definido anteriormente

**Nível de Implementação das Tecnologias do SC 4.0:**

Tecnologias disruptivas não implementadas e não há planos para implementação;

Tecnologias básicas escassamente implementadas;

Benefícios aleatórios podem ser identificados devido à implementação de tecnologias básicas

**Estágio 2 – Digitalização entre departamentos**

**Cenário/Perspectiva do Picking:**

Recuperação suportada eletronicamente da ordem necessária;

Determinação suportada eletronicamente da disponibilidade de inventário;

Planejamento eletronicamente suportado do *picking* no sistema da empresa;

Reprogramação suportada eletronicamente do *picking* em caso de atraso;

Coleta de produtos por *picker* suportada por dispositivos de vestir (principalmente óculos);

Informação relevante situada no campo de visão;

Exibição do local de produção no armazém e rota mais rápida ou sequência de *picking*;

Verificação do produto através da conexão de óculos com transponder RFID passivo;

Aquisição suportada eletronicamente da retirada do pedido do armazém;

Entrega de produtos com suporte eletrônico no ponto de carregamento definido anteriormente.

**Nível de Implementação das Tecnologias do SC 4.0:**

Algumas poucas tecnologias são implementadas e outras planejadas. Eles podem gerar benefícios parcialmente.

**Estágio 3 - Digitalização vertical e horizontal**

**Cenário/Perspectiva do Picking:**

Recuperação automatizada da ordem necessária;

Determinação automatizada da disponibilidade de estoque;

Planejamento automatizado do *picking* no sistema operacional IoT baseado em nuvem;

Reagendamento automático do *picking* em caso de atraso (por exemplo, fornecimento ou atraso de produção);

Coleta de produtos com RFID em contêiner por sistema de transporte de ação autônoma;

Uso de rotas específicas para navegar no sistema de transporte através do armazém;

Interação entre veículos de *picking* e coordenação de rotas únicas (por exemplo, desacelerar ou evitar veículos individuais);

Verificação automatizada de produtos através de sensores;

Aquisição automatizada de coleta do pedido no armazém;

Entrega automatizada do produto no ponto de carregamento definido anteriormente; e

Acesso a informações para seleção de produtos através de dispositivos móveis.

**Nível de Implementação das Tecnologias do SC 4.0:**

As tecnologias são amplamente implementadas, mas não completamente. Poderiam ser procuradas algumas tecnologias de ponta e disruptivas;

Maiores benefícios das tecnologias no processo são perceptíveis.

**Estágio 4 – Digitalização Completa**

**Cenário/Perspectiva do Picking:**

Recuperação automatizada em tempo real da ordem necessária;

Determinação automatizada em tempo real da disponibilidade de estoque;

Planejamento automatizado em tempo real do *picking* no sistema operacional IoT baseado em nuvem;

Reprogramação automatizada em tempo real do *picking* em caso de atraso (por exemplo, atraso de fornecimento, produção ou transportadora);

Recurso às informações da operadora (por exemplo, hora prevista de chegada da operadora) para programação do *picking*.

**Nível de Implementação das Tecnologias do SC 4.0:**

As tecnologias são completamente implementadas, mas algumas tecnologias de ponta e disruptivas poderiam

ser procuradas;

Benefícios das tecnologias no processo são amplamente perceptíveis.

#### Estágio 5 – Digitalização Completa (potencialmente) Otimizada

##### Cenário/Perspectiva do *Picking*:

Reprogramação automatizada em tempo real do *picking* em caso de atraso (por exemplo, transportadora atrasos);

Planejamento automatizado em tempo real do *picking* no sistema operacional IoT baseado em nuvem;

Análise automatizada de rotas do sistema de transporte de atuação autônoma;

Otimização automatizada em tempo real das rotas do sistema de transporte;

Análise automatizada do *picking* planejado, rotas planejadas e entrega de produtos para ponto de carregamento ou transmissão de dados;

Análise automatizada do *picking* planejado, rotas planejadas e entrega de produtos para ponto de carregamento ou transmissão de dados em caso de falha;

Habilidades de autoaprendizagem de casos resolvidos de falha.

##### Nível de Implementação das Tecnologias do SC 4.0:

Tecnologias de ponta e disruptivas são implementadas e evoluídas;

A organização pode ser vista como a referência e a melhor prática no SC 4.0;

Os benefícios do processo são totalmente perceptíveis;

Fonte: Adaptado de Asdecker & Felch (2018) e Frederico et al. (2019)

#### Quadro 3 – Níveis de Maturidade do *picking* e nível de implementação das tecnologias do SC 4.0

Em todos os cinco estágios esperados do *picking* no SC 4.0, uma subatividade do *picking* é comum, o roteamento dos *pickers*, pois em todos eles é necessário definir a rota dos responsáveis pela separação dos pedidos, seja estes humanos ou qualquer outra tecnologia advinda da era digital. Em ambos os casos, se faz necessário o transcurso de uma rota, que pode ser otimizada com a aplicação de sistemas de otimização. Estes determinam qual o menor caminho que satisfaz todos os pontos de coleta dentro de um CD.

A literatura de Sistemas de Otimização, ou Pesquisa Operacional, fornece uma ampla gama de algoritmos, modelos, heurísticas e meta-heurísticas para a atividade do *picking*. Muitas dessas podem ser aplicadas em um dos cinco cenários do *picking* apresentado no Quadro 3. Como fica impossível de revisar todas essas neste trabalho, focou-se nas aplicações relacionados ao roteamento dos *pickers* dentro da perspectiva do conceito de SC 4.0. Com isso, este trabalho contribui com um maior entendimento do que vem sendo feito na prática e na teoria neste tema que está em alta.

Chen et al (2014) apresentaram um método de roteamento de múltiplos *pickers*, em CD de múltiplos blocos, baseado em Colônia de Formigas (CF), considerando tempo de coleta não determinístico e congestionamento em tempo real, obtido por meio de compartilhamento de informações e tecnologia de posicionamento interno. O algoritmo chamado de A-MOP-NPT inicialmente gera rotas padrões para cada *picker* por meio de CF e as coordena por regras dedicadas de mitigação de congestionamento. Uma simulação foi realizada para validar o novo método que superou heurísticas comuns na grande maioria das instâncias.

Em Lu et al (2016), os autores apresentaram um algoritmo de roteamento intervencionista, baseado em Ratliff e Rosenthal (1983), para abordar o problema da otimização da rota dinâmica de percurso. O algoritmo calcula a rota de distância mínima que um *picker* deve seguir, quando recebe informações atualizadas em tempo real sobre os itens solicitados de novos pedidos durante a operação de coleta de pedidos. Para investigar os benefícios potenciais do uso de tal algoritmo, uma comparação em termos do tempo médio de conclusão

do pedido e da distância média de percurso por pedido foi feita com um algoritmo ótimo estático convencional e um algoritmo heurístico dinâmico. Resultados comprovaram que o algoritmo intervencionista obteve melhores resultados.

Schrotenboer et al (2017) considerou uma importante situação para CDs de empresas que vendem na plataforma e-commerce. Isso porque existem produtos que são devolvidos por clientes devem retornar aos locais de armazenagem no CD e atrasos nas rotas devido a interações de movimentação dos *pickers*. Para isso, foi proposto um Algoritmo Genético Híbrido (AGH), que possui aspectos de busca local, para lidar com a primeira situação. A segunda situação foi tratada com uma extensão do AGH. O AGH foi comparado com uma heurística de busca local e um algoritmo ótimo. Os resultados mostraram que o AGH alcança repostas próximas à ótima e, na maioria das vezes, respostas ótimas, reduzindo a distância em até 23,48% quando rotas de retorno de produtos são tratadas simultaneamente nas rotas de coleta de produtos, ao invés de serem tratadas separadamente.

Srivilas e Cherntanomwong (2017) consideram a questão de congestionamento nos corredores quando vários *pickers* estão trabalhando, o que aumenta o tempo de coleta. Para isso, os autores propuseram um algoritmo de roteamento baseado em Colônia de Formigas (CF) combinado com o sistema VLC (*Visible Light Communication*) que ajuda a providenciar informações do posicionamento atual dos *pickers*, indicando quais corredores estão livres ou não. Para validar o método proposto, um experimento em um CD de múltiplos blocos de um fornecedor de materiais de construção foi realizado, considerando o roteamento via algoritmo CF sem o VLC e com o VLC. Para todos os casos, o método com VLC reduziu a distância percorrida, ou seja, diminuiu o tempo de coleta quando acontecia os congestionamentos.

Além disso, o conceito do trabalho de Yao (2017) que usa sistemas de otimização e Internet Física para operações da Cadeia de Suprimentos pode ser igualmente aplicado ao roteamento de *pickers*. O autor aplicou a Internet Física em na entrega de produtos de uma plataforma de vendas *online*. Com os dados da Internet Física, o autor construiu um modelo matemático para otimizar o agendamento das entregas. Essa aplicação mostrou interessantes resultados.

## 5. Conclusão

Mesmo com o crescente número de publicações nos últimos anos referente ao tema de SC 4.0, ainda existem poucos trabalhos na literatura que buscam aumentar o entendimento do impacto desse conceito focado na atividade de *picking* de um essencial elo da Cadeia de Suprimento, o Centro de Distribuição.

Fundamentado na teoria e seguindo certo rigor metodológico nas pesquisa bibliográficas, este trabalho apresenta as tecnologias, quais os impactos dessas no *picking*, quais as perspectivas do *picking* dentro do conceito de SC 4.0 juntamente com o nível de implementação delas, bem como alguns exemplos práticos encontrados na literatura para o roteamento do *picking*.

A importância deste artigo reside tanto no âmbito teórico quanto prático. Na perspectiva teórica, a abordagem do trabalho relaciona o conceito do SC 4.0 e suas tecnologias com os potenciais impactos no *picking* e o que pode-se esperar conforme o nível de digitalização desta atividade progride.

Na ótica prática, este artigo apresenta exemplos encontrados que podem dar *insights* de como aplicar as tecnologias e quais benefícios esperar, mesmo que sendo para diferentes cadeias de suprimentos.

Além disso, acredita-se que vários *gaps* de pesquisa podem ser encontrados com a leitura deste trabalho que podem posteriormente ser abordados. Como exemplo sugere-se pesquisas empíricas no tema.

Apesar das limitações, proveniente de sua natureza parcialmente teórica, o presente artigo enriquece ainda mais a maturação do assunto aos interessados, tanto de acadêmicos quanto do setor industrial, que buscam cada vez mais progredir no caminho da digitalização da cadeia de suprimento.

## Referências

Alike, K., REXBAUSEN, D. AND SEYFERT, A. (2016), **Supply Chain 4.0 In Consumer Good**, McKinsey and Company, Berlin, available at: [www.mckinsey.com/industries/consumer-packaged-goods/our-insights/supply-chain-4-0-in-consumer-goods](http://www.mckinsey.com/industries/consumer-packaged-goods/our-insights/supply-chain-4-0-in-consumer-goods)

ASDECKER, Björn; FELCH, Vanessa. Development of an Industry 4.0 maturity model for the delivery process in supply chains. **Journal Of Modelling In Management**, [s.l.], v. 13, n. 4, p.840-883, 5 nov. 2018. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/jm2-03-2018-0042>.

BARRETO, L.; AMARAL, A.; PEREIRA, T.. Industry 4.0 implications in logistics: an overview. **Procedia Manufacturing**, [s.l.], v. 13, p.1245-1252, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.045>.

BURINSKIENE, A. Order picking process at warehouses, **Int. J. Logistics Systems and Management**, Vol. 6, No. 2, pp.162–178. 2010.

CHARKHGARD, H.; SAVELSBERGH, M.. Efficient algorithms for travelling salesman problems arising in warehouse order picking. **The Anziam Journal**, [s.l.], v. 57, n. 02, p.166-174, 22 set. 2015. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s1446181115000140>.

CHEN, Fangyu et al. An ant colony optimization routing algorithm for two order pickers with congestion consideration. **Computers & Industrial Engineering**, [s.l.], v. 66, n. 1, p.77-85, set. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2013.06.013>.

DALLARI, Fabrizio; MARCHET, Gino; MELACINI, Marco. Design of order picking system. **The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology**, [s.l.], v. 42, n. 1-2, p.1-12, 17 jun. 2008. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-008-1571-9>.

FRAZZON, Enzo Morosini et al. Towards Supply Chain Management 4.0. **Brazilian Journal Of Operations & Production Management**, [s.l.], v. 16, n. 2, p.180-191, 25 maio 2019. Associação Brasileira de Engenharia de Produção - ABEPRO. <http://dx.doi.org/10.14488/bjopm.2019.v16.n2.a2>.

FREDERICO, Guilherme F. et al. Supply Chain 4.0: concepts, maturity and research agenda. **Supply Chain Management: An International Journal**, [s.l.], v. --, n. --, p.1-21, 14 set. 2019. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/scm-09-2018-0339>.

GU, Jinxiang; GOETSCHALCKX, Marc; MCGINNIS, Leon F.. Research on warehouse operation: A comprehensive review. **European Journal Of Operational Research**, [s.l.], v. 177, n. 1, p.1-21, fev. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2006.02.025>.

HAIJUN, Zhang; BINGWU, Liu. A New Genetic

LU, Wenrong et al. An algorithm for dynamic order-picking in warehouse operations. **European Journal Of Operational Research**, [s.l.], v. 248, n. 1, p.107-122, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2015.06.074>.

PALOMBO, S. **Supply Chain 4.0: Digital Maturity Model**. Torino, 113 p., 2019. Dissertação (Mestrado) – Politecnico Di Torino.

PFOHL, H., YAHSI, B. and KURNAZ, T. (2015), “The impact of industry 4.0 on supply chain”, Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics. Hamburg, Germany, 2015, available at: <https://hiel.org/publications/2015/20/31.pdf>

PORTER, M.E.; HEPPELMANN, J.E. (2014), “How smart, connected products are transforming competition”, **Harvard Business Review**, Vol. 92 No. 11, pp. 64-88, disponível em: <https://hbr.org/2014/11/how-smart-connected-products-aretransforming-competition>

RADIVOJEVIC, G.; MILOSAVLJEVIC, L. The Concept of logistics 4.0. 4<sup>TH</sup> LOGISTICS INTERNATIONAL CONFERENCE. Belgrade, 2019. P. 1- 10.

RAMIREZ-PEÑA, Magdalena et al. Achieving a Sustainable Shipbuilding Supply Chain under I4.0 perspective. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], p.1-22, out. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118789>.

SCHOLZ, A. **An Exact Solution Approach for the Single-Picker Routing Problem in Warehouses with an Arbitrary Block Layout**. Working Paper 6/2016. Faculty of Economics and Management, Universität Magdeburg, Germany. 2016.

SCHOLZ, A.; WÄSCHER, G.. Order Batching and Picker Routing in manual order picking systems: the benefits of integrated routing. **Central European Journal Of Operations Research**, [s.l.], v. 25, n. 2, p.491-520, 31 jan. 2017. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10100-017-0467-x>.

SCHROTENBOER, Albert H. et al. Order picker routing with product returns and interaction delays. **International Journal Of Production Research**, [s.l.], v. 55, n. 21, p.6394-6406, 7 jul. 2016. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2016.1206982>.

SILVA, Vander Luiz da; KOVALESKI, João Luiz; PAGANI, Regina Negri. Technology transfer in the supply chain oriented to industry 4.0: a literature review. **Technology Analysis & Strategic Management**, [s.l.], v. 31, n. 5, p.546-562, 22 set. 2018. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/09537325.2018.1524135>.

SRIVILAS, Krit; CHERNTANOMWONG, Panarat. Routing algorithm in warehouse with congestion consideration using an ACO with VLC support. 2017 **International Electrical**

Engineering Congress (ieecon), [s.l.], p.8-11, mar. 2017. IEEE.  
<http://dx.doi.org/10.1109/ieecon.2017.8075830>.

TJAHJONO, B. et al. What does Industry 4.0 mean to Supply Chain? **Procedia Manufacturing**, [s.l.], v. 13, p.1175-1182, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.191>.

TRIPATHI, S.; GUPTA, M. Transforming towards a smarter supply chain. **International Journal of Logistics Systems and Management**, v. -, n. -, p. 1-24, disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Manish\\_Gupta47/publication/334760679\\_Transforming\\_towards\\_a\\_smarter\\_supply\\_chain/links/5d3fd5e5299bf1995b56167d/Transforming-towards-a-smarter-supply-chain.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Manish_Gupta47/publication/334760679_Transforming_towards_a_smarter_supply_chain/links/5d3fd5e5299bf1995b56167d/Transforming-towards-a-smarter-supply-chain.pdf)

VAN GILS, Teun et al. Increasing order picking efficiency by integrating storage, batching, zone picking, and routing policy decisions. **International Journal Of Production Economics**, [s.l.], v. 197, p.243-261, mar. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.11.021>.

YAO, J. (2017), "Optimisation of one-stop delivery scheduling in online shopping based on the physical Internet", **International Journal of Production Research**, Vol. 55, No. 2, pp. 358-376. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1176266>