



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGESTE  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ANDRÉA RAFFAELLA AVELAR PIMENTEL VILA NOVA

**SUORTE ÀS DECISÕES DE OPERAÇÕES DE ARMAZENAGEM DO FLUXO  
REVERSO EM INSTALAÇÕES HÍBRIDAS POR MEIO DE UMA ESTRUTURA  
CONCEITUAL INTEGRATIVA**

Caruaru

2019

ANDRÉA RAFFAELLA AVELAR PIMENTEL VILA NOVA

**SUORTE ÀS DECISÕES DE OPERAÇÕES DE ARMAZENAGEM DO FLUXO  
REVERSO EM INSTALAÇÕES HÍBRIDAS POR MEIO DE UMA ESTRUTURA  
CONCEITUAL INTEGRATIVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

**Área de concentração:** Otimização e Gestão da Produção.

**Orientador:** Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marcele Elisa Fontana.

Caruaru

2019

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária – Paula Silva - CRB/4 – 1223

V696s Vila Nova, Andréa Raffaella Avelar Pimentel.  
Suporte às decisões de operações de armazenagem do fluxo reverso em instalações híbridas por meio de uma estrutura conceitual integrativa. / Andréa Raffaella Avelar Pimentel Vila Nova. – 2019.  
152 f.; il.: 30 cm.

Orientadora: Marcele Elisa Fontana.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2019.  
Inclui Referências.

1. Armazéns gerais (Brasil). 2. Lógica (Brasil). 3. Framework (Arquivo de computador). 4. Processo decisório por critério múltiplo. 5. Cadeia de logística integrada.  
I. Fontana, Marcele Elisa (Orientadora). II. Título.

CDD 658.5 (23. ed.)

UFPE (CAA 2019-045)

ANDRÉA RAFFAELLA AVELAR PIMENTEL VILA NOVA

**SUORTE ÀS DECISÕES DE OPERAÇÕES DE ARMAZENAGEM DO FLUXO  
REVERSO EM INSTALAÇÕES HÍBRIDAS POR MEIO DE UMA ESTRUTURA  
CONCEITUAL INTEGRATIVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovada em: 25/02/2019.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marcele Elisa Fontana (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Thalles Vitelli Garcez (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Patricia Guarnieri (Examinadora Externo)  
Universidade de Brasília

Dedico este trabalho a minha família por todo apoio.

## ***AGRADECIMENTOS***

Agradeço a Deus por não me deixar desistir e por ter me dado paciência para chegar até aqui. Ao meus pais, André Vila Nova e Márcia Avelar, por todo carinho, paciência e abdições durante essa jornada. A minha irmã, Maryanne Rose, pelas brincadeiras e as conversas fora de hora que me fizeram esquecer por alguns minutos as dificuldades desse período. Ao meu namorado, Anderson Viana, pela compreensão, paciência e amor nos meus momentos de ausência.

Aos meus professores do PPGE-CAA, em especial, a minha orientadora, Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Marcele Elisa Fontana, pela dedicação, apoio, conhecimento e, por que não, as cobranças que fizeram com que esta dissertação fosse desenvolvida.

Agradeço também a Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maísa Mendonça Silva pela disponibilidade e atenção em compartilhar seus conhecimentos em pesquisa operacional.

Aos meus amigos, Jheyce, Ingridy e Armando pelo apoio e amizade.

A todos os meus colegas do PPGE-CAA, em especial, a Aldênia, Hélder e Ingrid, pela convivência, troca de ideias e as conversas pelos corredores que ajudaram a tornar esse período mais divertido.

Aos meus colegas de laboratório, DEPLOY/DNW, em especial, a Thiago pelas conversas divertidas que ajudaram a tornar o ambiente acadêmico mais leve.

A George, secretário do programa, pela organização, atenção e disponibilidade em atender todos os alunos.

A Arthur por se dispor a fornecer seu conhecimento empírico envolvendo armazenagem, que foi fundamental para que eu pudesse entender a dinâmica nessa instalação.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pelo incentivo e apoio financeiro que foram fundamentais para o desenvolvimento deste estudo.

Por fim, muito obrigada a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a conclusão desse estudo.

“Quando você enfrenta um desafio, deve se erguer à altura dele.”  
(BÜNDCHEN, 2018, p. 53).

## ***RESUMO***

O armazém assumiu uma posição de destaque nas cadeias de suprimentos, visto que, as operações realizadas nessa instalação influenciam no desempenho destas. Somado a isso, as organizações motivadas por questões econômicas, ambientais e legislativas passaram a se preocupar com o impacto que seus processos e produtos causariam no meio ambiente. Tal situação contribuiu para que as organizações utilizassem a instalação de armazenagem para estocar os produtos de fluxo direto e reverso simultaneamente. Contudo, gerenciar essas instalações híbridas é complexo, devido à dificuldade para manusear no armazém as Stock Keeping Units (SKUs) de ambos os fluxos, sendo necessário reconfigurar o sistema de armazenagem. Diante disso, esta pesquisa se propôs a desenvolver uma estrutura conceitual integrativa que auxilie no processo de tomada de decisão envolvendo as operações de armazenagem de SKUs provenientes do fluxo reverso nessas instalações. Para tanto, um arcabouço da literatura serviu de base para o desenvolvimento de cada etapa, onde foi necessário se nortear através das decisões de fluxo direto e integrá-las em um único problema de decisão. Para demonstrar a aplicabilidade da estrutura proposta, um exemplo ilustrativo foi utilizado. Conclui-se que o framework proposto foi capaz de fornecer uma ferramenta estruturada nas decisões envolvendo as operações de armazenagem do fluxo reverso em instalações híbridas, permitindo incorporar as preferências do gestor no processo, bem como o uso da abordagem multicritério em etapas fundamentais para melhorar a eficiência operacional do armazém. Por fim, o sistema proposto se mostrou relevante para auxiliar os gestores no processo de tomada de decisão em operações de armazenagem em instalações híbridas, permitindo otimizar o espaço, facilitar o fluxo e maximizar a armazenagem.

Palavras-chave: Armazém. Logística reversa. Framework. Instalações híbridas. Apoio multicritério à decisão.



## ***ABSTRACT***

The warehouse has assumed a prominent position in the supply chains, since the operations performed in this installation influence these. In addition, organizations motivated by economic, environmental and legislative issues have begun to worry about the impact that their processes and products would have on the environment. This contributed to organizations using the storage facility to stock the direct and reverse flow products simultaneously. However, managing these hybrid facilities is complex due to the difficult in handling the Stock Keeping Units (SKUs) of both flows in the warehouse, and it is necessary to reconfigure the storage system. Therefore, this research proposed to develop an integrative conceptual framework that assists in the decision-making process involving the storage operations of SKUs from the reverse flow in those facilities. To do so, a literature served as the basis for the development of each stage, where it was necessary to orientate through the direct flows and integrate them into a single decision problem. To demonstrate the applicability of the proposed structure an illustrative example was used. It is concluded that the proposed framework was able to provide a structured tool in the decisions involving the operations of storage of the reverse flow in hybrid installations, allowing to incorporate the preferences of the manager in the process, as well as the use of the multicriteria approach in fundamental stages to improve the operational efficiency of the warehouse. Finally, the proposed system was shown relevant to assist managers in the decision-making process in storage operations in hybrid installations, allowing optimizing space, facilitating flow and maximizing storage.

**Keywords:** Warehouse. Reverse logistics. Framework. Hybrid installations. Multicriteria support for decision.

## ***LISTA DE ILUSTRAÇÕES***

Quadro 1-	Principais parâmetros para definir o design do layout .....	26
Quadro 2-	Os objetivos empregados na literatura para a definição da solução do SLAP ....	31
Figura 1-	Etapas das operações de Logística Reversa .....	36
Quadro 3-	Barreiras a adoção da Logística Reversa.....	38
Quadro 4-	Revisão da literatura sobre o sistema de armazenagem .....	39
Gráfico 1-	Distribuição dos periódicos de fluxos bidirecionais de suprimentos entre 2010 e julho de 2018 .....	43
Gráfico 2-	Assuntos abordados nos periódicos de fluxos bidirecionais de suprimentos.....	44
Gráfico 3-	Modelos utilizados nos periódicos de fluxos bidirecionais de suprimentos .....	44
Gráfico 4-	Métodos utilizados nos periódicos de fluxos bidirecionais de suprimentos .....	45
Figura 2-	Framework para a armazenagem em instalações híbridas.....	49
Figura 3-	Layout tradicional do armazém .....	50
Figura 4-	Fluxograma para verificação dos pressupostos .....	52
Figura 5-	Fluxograma para escolha da política de estocagem.....	59
Quadro 5-	Critérios para a formação de classes no fluxo direto .....	60
Quadro 6-	Critérios para a formação das classes no fluxo reverso .....	61
Figura 6-	Formação de classes pelo uso de um MCDM.....	63
Figura 7-	Regras de alocação para armazenagem baseada em classes.....	65
Quadro 7-	Influência do tamanho da lista de pedidos na regra de alocação .....	65
Quadro 8-	Escala utilizada para o critério criticidade .....	74
Figura 8-	Distribuição das SKUs entre as classes ABC .....	77

## ***LISTA DE TABELAS***

Tabela 1-	Dados para análise do custo de manuseio .....	66
Tabela 2-	Análise do custo de manuseio .....	67
Tabela 3-	Parâmetros da instalação de armazenagem .....	70
Tabela 4-	Planejamento das necessidades dos materiais - demanda dependente .....	70
Tabela 5-	Quantidade de matérias que retornaram ao processo produtivo – demanda independente .....	70
Tabela 6-	Quantidade de matéria-prima primária que será comprada.....	71
Tabela 7-	Quantidade de SKUs por palete .....	71
Tabela 8-	Espaço requerido para o fluxo direto .....	72
Tabela 9-	Espaço requerido para o fluxo reverso .....	72
Tabela 10-	Desempenho das SKUs em cada critério .....	75
Tabela 11-	Parâmetros para o ELECTRE TRI .....	77
Tabela 12-	Análise do custo de manuseio para PEBC .....	78

## *LISTA DE SIGLAS*

ACO	Ant Colony Optimization
AHP	Analytic Hierarchy Process
AS/RS	Automated Storage and Retrieval Systems
BD	Benders Decomposition
CD	Centro de Distribuição
CIC	Cube-Per-Consumer
CLSC	Closed-Loop Supply Chain
COI	Cube-Per-Order
COIC	Cube-Per-Order and Consumer
CS	Cadeia de Suprimentos
DEA	Data Envelopment Analysis
E/S	Entrada/Saída
FD	Fluxo Direto
FR	Fluxo Reverso
GA	Genetic Algorithm
GCS	Gestão da Cadeia de Suprimentos
LR	Logística Reversa
MA	Memetic Algorithm
MAUT	Multiattribute Utility Theory
MCDM	Multi- Criteria Decision Making
MRP	Material Requirement Planning
NSGA-II	Nondominated Sorting Genetic Algorithm
PEA	Política de Estocagem Aleatória
PED	Política de Estocagem Dedicada
PEBC	Política de Estocagem Baseada em Classes
PSO	Particle Swarm Optimization
SA	Simulated Annealing
SKUs	Stock Keeping Units
SLAP	Storage Location Assignment Problem
VNS	Variable Neighbourhood Search

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	14
<b>1.1</b>	<b>Objetivo do trabalho</b>	16
1.1.1	Objetivo geral	16
1.1.2	Objetivos específicos	16
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b>	17
<b>1.3</b>	<b>Abordagem metodológica</b>	18
<b>1.4</b>	<b>Estrutura da Dissertação</b>	19
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA</b>	21
<b>2.1</b>	<b>Cadeia de Suprimentos</b>	21
2.1.1	Sistema de armazenagem	22
2.1.1.1	<i>Design do layout</i>	24
2.1.1.2	<i>Política de atribuição do local de armazenagem</i>	26
2.1.1.3	<i>Políticas de separação de pedidos</i>	32
2.1.1.4	<i>Políticas de roteamento</i>	33
2.1.2	Logística Reversa	34
<b>2.2</b>	<b>Discussão da Literatura</b>	39
<b>2.3</b>	<b>Síntese Conclusiva</b>	46
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA CONCEITUAL INTEGRATIVA</b>	48
<b>3.1</b>	<b>Descrição do problema</b>	48
<b>3.2</b>	<b>Desenvolvimento do Framework</b>	48
3.2.1	Caracterização da instalação de armazenagem	50
3.2.1.1	<i>Pressupostos do Framework</i>	50
3.2.2	Dimensionamento da área de armazenagem para fluxo direto e reverso	53
3.2.3	Design do layout	55
3.2.4	Estratégia de separação de pedidos	56
3.2.5	Atribuição do local de armazenagem	58
3.2.5.1	<i>Política de estocagem</i>	58
3.2.5.2	<i>Formação de classes</i>	62
3.2.5.3	<i>Regras de alocação de itens nos locais de armazenamento</i>	64
3.2.5.4	<i>Avaliação das soluções</i>	66
<b>3.3</b>	<b>Síntese Conclusiva</b>	68
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	69
<b>4.1</b>	<b>Aplicação do framework</b>	69

4.1.1	Caracterização da instalação de armazenagem simulada.....	69
4.1.2	Dimensionamento da área de armazenagem.....	70
4.1.3	Design do Layout.....	72
4.1.4	Estratégia de separação das SKU.....	73
4.1.5	Atribuição do local de armazenagem.....	73
4.1.5.1	<i>Política de estocagem</i> .....	73
4.1.5.2	<i>Formação de classes</i> .....	74
4.1.5.3	<i>Regra de alocação de itens nos locais de armazenamento</i> .....	78
4.1.5.4	<i>Avaliação das soluções</i> .....	78
<b>4.2</b>	<b>Implicações gerenciais</b> .....	<b>79</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>82</b>
<b>5.1</b>	<b>Limitações e trabalhos futuros</b> .....	<b>83</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>84</b>
	<b>APÊNDICE A- REVISÃO DA LITERATURA SOBRE FLUXOS</b> <b>BIDIRECIONAIS DE SUPRIMENTOS</b> .....	<b>110</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com a globalização, as cadeias de suprimentos (CSs) precisaram se reconfigurar para atender a variabilidade da demanda, melhorar o nível de serviço oferecido aos clientes e se manter competitiva no mercado, sendo assim, é necessário cada vez mais empregar sistemas logísticos eficientes (ACCORSI; MANZINI; MARANESI, 2014; GILS *et al.*, 2018b), por meio de uma busca constante pela criação de valor e construção de uma infraestrutura competitiva para as CSs (MENÉNDEZ *et al.* 2017). Neste contexto, destaca-se o uso de instalações de armazenagem, cuja a diferença mais relevante entre armazéns e Centros de Distribuição (CDs) é que o primeiro está agregado a uma unidade de negócios como uma função ou departamento, executando as operações de estocagem e/ou suprimento, bem como de manuseio das Unidades de Manutenção de Estoque (*Stock Keeping Units* – SKUs), enquanto os CDs são unidades independentes com papel similar, mas com maior proximidade aos clientes (DE KOSTER; LEDUC; ROODBERGEN, 2007). Neste trabalho serão discutidos conceitos e metodologias aplicáveis aos armazéns.

Neste sentido, gerenciar essas instalações tornou-se um desafio para os gestores (FABER; DE KOSTER; SMIDTS, 2013), visto que, o desempenho do armazém é influenciado significativamente pelas restrições de *layout* e pelos problemas operacionais (ACCORSI; MANZINI; MARANESI, 2014). Entretanto, é possível melhorar sua eficiência ao considerar as decisões do *design* e do gerenciamento operacional simultaneamente (DE KOSTER; JOHNSON; ROY, 2017). Assim, Sprock, Murrenhoff e McGinnis (2017) destacaram que a literatura apresenta vários modelos que são utilizados para otimizar os aspectos individuais do armazém, mas ainda é reduzido o número de metodologias que incorporem e deem suporte a maioria das decisões. Além disso, estes modelos, normalmente, estão relacionados com o tipo de sistema de estocagem, havendo basicamente dois, que são: (1) *picker-to-parts* (sistemas manuais) e (2) *parts-to-picker* (sistemas automatizados, AS/RS) (RUBENS; JACOBS, 1999).

No sistema *picker-to-parts*, os selecionadores de pedidos, fazem uso ou não de veículos de apoio, percorrem o armazém para recuperar as SKUs, não sendo necessário grandes investimentos em *hardware*, podendo ser realizado manualmente ou através de equipamentos simples como *racks*, empilhadeiras e veículos de *picking* (BOYSEN; BRISKORN; EMDE., 2017).

No entanto, como uma grande quantidade de mão de obra é empregada neste tipo de sistema, o seu funcionamento pode resultar em custos elevados, especialmente quando há a

superutilização da instalação, ou seja, elevado número de operações de separação de pedidos (DIJKSTRA; ROODBERGEN, 2017). Apesar disso, é ainda muito empregado nos armazéns, devido à alta variabilidade nas características das SKUs quanto a forma e/ou tamanho, variação da demanda e a sazonalidade, ou devido ao elevado investimento para adotar um sistema automatizado, ou seja, do tipo AS/RS (SHAH; KHANZODE, 2017a).

Neste contexto, para que as organizações do sistema *picker-to-parts* melhorem o desempenho da instalação de armazenagem e reduzam seus custos, elas precisam otimizar suas operações de separação de pedidos conjuntamente com outras operações de armazenagem, possibilitando o aumento da produtividade, flexibilidade e confiabilidade das cadeias de suprimentos (CS) (SHARMA; SHAH, 2015; KLODAWSKI *et al.*, 2017).

Em se tratando de CS, a literatura a classifica a partir do seu fluxo em direta e reversa (RAMEZANI; BASHIRI; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, 2013a). Para Bhattacharya, Kaur e Amit (2018), a CS tradicional (fluxo direto) é constituída pelas atividades de fornecimento, fabricação, distribuição e entrega dos produtos aos clientes. Enquanto, a Logística Reversa (LR) corresponde ao retorno dos produtos, do ponto de consumo até o ponto de origem (HEYDARI; GOVINDAN; JAFARI, 2017). Segundo Cardoso, Barbosa-Povoa e Relvas (2013), os produtos podem retornar diretamente para as fábricas ou para os armazéns que podem atuar como instalações híbridas.

Desta forma, o desenvolvimento da LR, que surgiu motivado, em grande parte, pela pressão legislativa ambiental dos países, é capaz de agregar valores para as organizações, assim como a Logística Direta (LD), por meio de valores legais, econômicos, ecológicos e ganhos de imagem da empresa (GUARNIERI *et al.*, 2006).

Contudo, Dutta *et al.* (2016) afirmaram que a não integração entre as operações de fluxo direto e reverso, resulta em subotimização em relação aos custos, níveis de serviço e capacidade de resposta da empresa. Neste sentido, as instalações de processamento híbridas (operações de fluxo direto e reverso) funcionam muito bem nesta integração, promovendo, entre outras, as vantagens de redução de custos operacionais e a redução da poluição (LEE e DONG (2009). Conseqüentemente, a consideração de ambos os fluxos serviu como base para o desenvolvimento de um novo *design* para a CS, a cadeia de suprimentos de malha fechada- *Closed-Loop Supply Chain* (CLSC) (MASOUDIPOUR; AMIRIAN; SAHRAEIAN, 2017), que permitiu a exploração da sinergia entre os fluxos direto e reverso (ZEBALLOS *et al.*, 2014).

Guide e Van Wassenhove (2009) definiram a CLSC como: “o *design*, controle e operação de um sistema para maximizar a criação de valor ao longo de todo ciclo de vida de



um produto com recuperação dinâmica de valor de diferentes tipos e volumes de retorno ao longo do tempo”. Segundo Battini, Bogataj e Choudhary (2017), o objetivo dessa configuração é capturar valor a partir dos produtos recuperados, permitindo, assim, reduzir o impacto ambiental em toda a cadeia de suprimentos. Sob essa perspectiva, destacam-se os armazéns ao se apresentarem como instalações capazes de estocar e expedir os produtos acabados (fluxo direto), bem como receber e destinar os produtos devolvidos (fluxo reverso). Com base nisso, tornou-se necessário reestruturar as operações do armazém, para que essa instalação seja capaz de manusear as SKUs também provenientes do fluxo reverso (DOWLATSHAHI, 2012).

Como foi observado, as operações de armazenagem são fundamentais para as empresas, onde muitas compartilham o espaço disponível com as SKUs provenientes de ambos os fluxos (direto e reverso). Neste contexto, o gerenciamento do espaço físico híbrido se tornou uma decisão estratégica para muitas organizações, visto que, gerenciar essas instalações se tornou complexo, uma vez que há o compartilhamento do espaço, da gestão e dos recursos. No entanto, observou-se, a partir da literatura, muitos estudos voltados para a armazenagem voltados ao fluxo direto. Contudo, apesar da utilização da matéria-prima secundária ser importante para a gestão das decisões envolvendo o sistema de armazenagem no fluxo bidirecional, este foi pouco explorado. Além disso, os materiais do fluxo reverso apresentam elevada incerteza relacionada ao seu retorno. Sendo, assim, existe a necessidade de estruturas metodológicas que apoie o processo de gerenciamento dos armazéns. Portanto, mostra-se relevante o desenvolvimento de uma ferramenta que agregue simultaneamente as decisões envolvendo o gerenciamento das operações do armazém, diante de instalações híbridas.

## 1.1 Objetivo do trabalho

### 1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver uma estrutura conceitual integrativa, também chamado, por *framework*, que auxilie no processo de tomada de decisão a respeito das operações de armazenagem de SKUs provenientes de fluxo reverso em armazém híbrido, ou seja, onde há o compartilhamento da gestão e dos recursos com as SKUs do fluxo direto.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Para atender ao objetivo geral deste trabalho, os seguintes objetivos específicos devem ser alcançados:

- ✓ Identificar as operações realizadas no armazém;
- ✓ Identificar os elementos que influenciam na eficiência do armazém;

- ✓ Identificar as operações que fazem parte da logística reversa;
- ✓ Desenvolver um *framework* para o processo de armazenagem em uma instalação híbrida;
- ✓ Validar o *framework* através de uma simulação; e
- ✓ Auxiliar os gestores no processo de tomada de decisão.

## 1.2 Justificativa

As Cadeias de Suprimentos (CSs) são influenciadas em termos de custo e desempenho pelas operações realizadas nas instalações de armazenagem (DE KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007). Contudo, as organizações ao compartilharem o espaço do armazém com os produtos de ambos os fluxos simultaneamente, tornam o gerenciamento dessa instalação mais complexo, sendo necessário tomar decisões mais estruturadas, que envolvem na maioria das vezes objetivos conflitantes.

Neste sentido, Chackelson *et al.* (2013) argumentaram que a crescente complexidade dos armazéns resultou na necessidade de incorporar as principais decisões simultaneamente. Entretanto, apesar da importância que essa instalação exerce para melhorar a competitividade e aumentar o nível de serviço ao cliente, a literatura ainda possui uma grande quantidade de trabalhos que abordam decisões isoladas, ao invés de maneira simultânea, ou sistêmica (BAKER; CANESSA, 2009; GILS *et al.*, 2018a).

Assim, uma vez que a otimização do sistema de armazenagem *picker-to-parts* está associada a decisões no âmbito do *layout*, política de estocagem e separação de pedidos e roteirização de veículos, é importante o desenvolvimento de uma abordagem integrativa dessas decisões (HENN; SCHMID, 2013).

Diante disso, identificou-se, ao longo dos anos, um crescimento no número de estudos que incorporavam essas decisões operacionais no fluxo direto, como: Petersen e Schemenn (1999), Hassan (1999), Petersen e Aase (2004), Jane e Laih (2005), Chu, Liang e Liao (2008), Baker e Canessa (2009), Pan e Wu (2012), Henn e Schmid (2013), Öncan (2015), Fontana e Nepomuceno (2017) e Shah e Khanzode (2018). Contudo, a partir da análise da literatura, apresentada no Apêndice A, observou-se uma carência de modelos e ferramentas que forneçam uma estrutura unificada e eficiente voltada para armazenagem das SKUs de fluxo reverso. Como consequência deste cenário, muitas vezes, às organizações tomam as decisões de forma não estruturada, dificultando o fluxo na instalação, aumentando os custos e resultando na ineficiência da instalação.

Além disso, é notória a importância que as SKUs de fluxo reverso exercem, especialmente, no setor industrial, uma vez que, as mesmas permitem suprir as necessidades do cliente interno, além de reduzir os custos com a compra de insumos, contribuindo para o meio ambiente e para a imagem corporativa da organização.

Desta forma, o presente trabalho se propôs a sanar o *gap* detectado, desenvolvendo um *framework* que direcione a decisão sobre como as SKUs de fluxo reverso devem ser armazenadas em instalações híbridas, que compartilham não só o espaço, como também, a gestão e os recursos, de modo a nortear os gestores nas suas decisões, permitindo, assim, otimizar o espaço, facilitar o fluxo e maximizar a armazenagem.

### 1.3 Abordagem metodológica

Primeiramente, uma fundamentação teórica sobre cadeia de suprimentos, sistema de armazenagem e logística reversa foi necessária para contextualizar o problema estudado. A partir dos conceitos iniciais, uma revisão da literatura foi realizada com o intuito de explorar aspectos onde o problema em questão não está cristalizado, permitindo identificar oportunidades de pesquisa sobre o tema por meio de uma nova abordagem.

Desta forma, foram analisados trabalhos das bases *Web of Science* e *Science Direct*, sendo considerados apenas artigos científicos publicados em periódicos, devido a sua relevância e criteriosidade na avaliação, no período compreendido entre 2010 e julho de 2018.

Primeiramente, utilizando-se a palavra-chave “*Reverse Logistics*”, onde foram encontrados 1237 artigos na *Web of Science* e 402 na *Science Direct*. Em seguida, os trabalhos redundantes foram excluídos, permanecendo 1346 artigos. No entanto, como os estudos sobre a integração dos fluxos bidirecionais baseiam-se na avaliação de desempenho em termos de sustentabilidade ambiental, sustentabilidade econômica e desempenho operacional (CANNELLA; BRUCCOLERI; FRAMINAN, 2016), os estudos que não estavam relacionados com a integração destes fluxos e estavam fora dos escopos de sustentabilidade econômica e desempenho operacional foram excluídos, resultando em uma amostra final de 259 artigos. Conseqüentemente, a partir da análise dessa amostra foram identificados conceitos, ferramentas e metodologias que serviram de base para o auxiliar no entendimento do estudo e na construção do *framework*.

A partir de uma extensa revisão da literatura foi possível identificar que as decisões de armazenagem estão associadas tanto ao *design* do *layout* (SHARMA; SHAH, 2015), bem como as questões operacionais (LIN; LEE, 1999; PETERSEN; AASE, 2004).

Assim, para o desenvolvimento desta estrutura foi necessário se basear no arcabouço da literatura envolvendo as decisões de armazenagem no fluxo direto e integrá-las em um único problema de decisão, visto que, o uso de abordagens desintegradas pode resultar na subotimização do processo decisório. Desta forma, o *framework* proposto consiste nas seguintes etapas:

- ✓ Primeira Etapa: consiste em realizar uma entrevista com o gestor do armazém para identificar as características da instalação analisada e do seu processo de armazenagem;
- ✓ Segunda Etapa: a área de armazenagem de ambos os fluxos é dimensionada a partir do planejamento das necessidades de materiais, a quantidade de SKUs que retornam a instalação e a quantidade que deve ser solicitada aos fornecedores externos;
- ✓ Terceira Etapa: o *design do layout* é definido a partir da identificação do número de estruturas, número de corredores e da quantidade de paletes armazenados ao longo do comprimento do espaço destinado a armazenagem;
- ✓ Quarta Etapa: é definido como os paletes são recuperados, considerando o perfil dos pedidos e a capacidade do equipamento de manuseio; e
- ✓ Quinta Etapa: a política de estocagem é definida a partir das particularidades da instalação e das preferências do decisor. Caso a política de estocagem seja a baseada em classes utiliza-se uma abordagem multicritério para realizar a formação das classes, a partir dos critérios definidos pelo gestor. A regra de alocação também é definida. No entanto, modo como as SKUs estão localizadas na instalação pode resultar em níveis de eficiência diferentes, para tanto utilizou-se a metodologia de Muppani e Adil (2008a) para avaliar as soluções, considerando-se o custo de manuseio.

Após o desenvolvimento do *framework* realizou-se uma simulação para verificar a aplicabilidade do mesmo, permitindo obter respostas efetivas para auxiliar os gestores na tomada de decisão em situações reais.

#### 1.4 Estrutura da Dissertação

Além desta Introdução, o trabalho foi dividido em outras quatro partes, a saber:

- ✓ Capítulo 2 apresenta os conceitos que serviram de base para o desenvolvimento desse estudo, além de fornecer uma extensa revisão da literatura sobre fluxos bidirecionais de suprimentos, para dar robustez à abordagem que será proposta;
- ✓ Capítulo 3 fornece o desenvolvimento do *framework* a partir dos conceitos e ferramentas identificados no capítulo anterior que serviram de base para a concepção do mesmo.

- ✓ Capítulo 4 apresenta uma simulação, a fim de mostrar a aplicabilidade do *framework* proposto; e
- ✓ Capítulo 5 apresenta as conclusões acerca do presente trabalho, bem como as limitações e as sugestões para trabalhos futuros.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta os principais conceitos que irão nortear a pesquisa, dando destaque às informações mais relevantes. Dentre as principais temáticas serão discutidas a cadeia de suprimentos, o sistema de armazenagem, envolvendo aspectos sobre *design* do *layout*, política de recuperação dos pedidos, política de atribuição de armazenamento e políticas de roteamento e logística reversa. Além disso, uma revisão da literatura sobre fluxos bidirecionais de suprimentos foi realizada e, a partir dela, foram apresentadas as discussões da literatura, fornecendo a descrição dos resultados e a contribuição dos trabalhos encontrados, auxiliando no desenvolvimento desta pesquisa.

### 2.1 Cadeia de Suprimentos

A globalização e as mudanças no mercado foram determinantes para que as organizações não apenas buscassem melhorar suas operações internas como, também, promover a integração com seus fornecedores e clientes (PRAJOGO; OLHAGER, 2012), resultando no desenvolvimento das Cadeias de Suprimentos (CSs).

Uma CS é formada por uma série de empresas que participam de alguma forma do processo produtivo, compreendendo várias atividades desde o fornecimento de matéria-prima até a entrega dos produtos/serviços ao cliente final (VARMA; WADHWA; DESHMUKH, 2006; TALAMINI; PEDROZO; DA SILVA, 2005). Assim, Maia, Cerra e Alves Filho (2005) destacaram que o objetivo da Gestão da Cadeia de Suprimentos (GCS) é maximizar a sinergia entre todos os elos de uma mesma cadeia.

Para Closs, Speier e Meacham (2011), inicialmente o foco do gerenciamento da CS era, principalmente, o operacional, onde as organizações concentravam seus esforços na redução dos custos. Contudo, percebeu-se a necessidade de desenvolver estratégias para aumentar a competitividade ao longo da CS. Assim, Cho *et al.* (2012) argumentaram que muitas organizações veem a GCS como uma ferramenta para alcançar a melhoria contínua.

Conseqüentemente, em muitos setores, os critérios como custo e qualidade se tornaram equivalentes, fazendo com que as empresas desenvolvessem novas formas de se diferenciar, não apenas reduzindo os custos e melhorando a qualidade, mas incorporando os fatores ambientais, sociais e econômicos, permitindo a criação de vantagem competitiva (ÖZKIR; BASLIGIL, 2013). Somado a isso, Zeballos *et al.* (2014) destacaram a pressão legislativa e o desenvolvimento de novas regulamentações para a recuperação e reciclagem dos produtos, sendo determinantes para implementação do fluxo reverso nas CSs. Nesta visão, na CS

tradicional (fluxo direto), após a fabricação, os produtos são entregues aos clientes para satisfazer suas demandas; já a CS reversa está relacionada com o retorno das SKUs dos pontos de consumo para os pontos de origem, com o objetivo de recapturar, criar valor ou descartar as SKUs adequadamente (ROGERS; TIBBEN-LEMBKE, 1999; WANG e HSU, 2010).

Segundo Ramezani, Bashiri e Tavakkoli-Moghaddam (2013a), as SKUs de fluxo reverso podem ser devolvidas por meio de instalações híbridas, onde o processamento nessas instalações permite obter a redução dos custos e da poluição, uma vez que há o compartilhamento dos equipamentos e da infraestrutura de manuseio de materiais (LEE; DONG, 2009).

Consequentemente, Sainathuni *et al.* (2014) e Calzavara *et al.* (2017) destacaram a necessidade de gerenciar as instalações de armazenagem de forma eficiente, visto que, às mesmas exercem um impacto significativo na produtividade e nos custos da CS.

### 2.1.1 Sistema de armazenagem

A acirrada concorrência do mercado exige a busca pela melhoria contínua das operações de distribuição (GU, GOETSCHALCKX; MCGINNIS, 2007), a fim de atender os clientes, fornecendo entregas rápidas e dentro do prazo estipulado (DE KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007), fazendo com que os armazéns se tornassem essenciais ao longo dos anos (MENÉNDEZ *et al.*, 2017).

As principais funções operacionais dos armazéns são: (1) a estocagem, que está relacionada com a maneira que as SKUs estão organizadas no armazém (GU, GOETSCHALCKX; MCGINNIS, 2007), e (2) o manuseio de materiais que corresponde a movimentação das SKUs (VAN DEN BERG; ZIJM, 1999). Além dessas funções, Gu, Goetschalckx e McGinnis (2007) apresentaram as atribuições estratégicas dessa instalação como: (I) amortecer o fluxo de material ao longo da CS; (II) consolidar os produtos de vários fornecedores; e (III) o processamento de valor agregado.

Segundo Rouwenhorst *et al.* (2000), o fluxo das SKUs ao longo do armazém é constituído por vários processos, ou operações, tais como:

- ✓ Recebimento: consiste em realizar a descarga dos produtos que chegam ao armazém (DE KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007). A identificação e o controle da carga, bem como o *buffering* são atividades desse processo (KLODAWSKI *et al.*, 2017);

- ✓ Transferência e estocagem: consiste no deslocamento dos produtos para os locais de armazenamento (DE KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007). Klodawski *et al.* (2017) destacaram as atividades de reabastecimento dos locais de *pick*, onde as unidades restantes são direcionadas para o local de armazenagem, guardando as caixas vazias, bem como os paletes nos locais adequados;
- ✓ Separação de pedidos: corresponde a coleta da quantidade estabelecida das SKUs certas para atender as solicitações dos clientes (DE KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007). Destacasse o *co-packing* como um subcomponente desse processo, que transporta as cargas para serem embaladas, podendo haver a criação de um conjunto de SKUs promocionais, por exemplo (KLODAWSKI *et al.*, 2017);
- ✓ Acumulação/classificação: se as ordens forem selecionadas em lotes, as SKUs selecionadas são agrupadas por ordem do cliente (DE KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007);
- ✓ *Cross-docking*: se restringe ao caso em que os produtos são deslocados diretamente para as docas (DE KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007); e
- ✓ Expedição: os pedidos são analisados, embalados e há o carregamento do modal escolhido para o transporte (ROUWENHORST *et al.*, 2000).

Neste contexto, Sprock, Murrenhoff e McGinnis (2017) apresentaram as funções de controle que se fazem presente no armazém como: controlar o acesso para avaliar a capacidade de recursos disponíveis; sequenciar os pedidos dos clientes; controlar a atribuição de recursos; roteamento; e a alteração da capacidade da instalação ou a capacidade dos recursos.

A execução destas operações é influenciada pelo tipo de manuseio utilizado, que pode ir de totalmente manual até totalmente mecanizado/automatizado. A partir deste conceito, Rubens e Jacobs (1999) classificaram o sistema de armazenagem em: *picker-to-parts* e *parts-to-picker*. O primeiro trata-se de um sistema onde o selecionador recupera as SKUs dos *rack* ou caixas manualmente (*low-level picking*) ou com o auxílio de empilhadeiras ou guindastes mecânicos (*high-level picking*) (De Koster, Le-Duc e Roodbergen, 2007). Já o *parts-to-picker* é um sistema de armazenamento e recuperação automatizado-*automated storage and retrieval systems* (AS/RS), onde faz uso de equipamentos para armazenar e recuperar as SKUs (BOYSEN; STEPHAN, 2016), permitindo que os selecionadores se concentrem na parte produtiva do trabalho (BOYSEN; BRISKORN; EMDE, 2017).



Contudo, para qualquer um desses sistemas, o projeto do armazém e o controle das operações são essenciais para melhorar o desempenho dessa instalação, visto que, o primeiro aspecto está relacionado as limitações da instalação, a capacidade, os parâmetros utilizados para definir o *layout* e a política de inventário. Enquanto o segundo está associado com o emprego de técnicas e métodos para melhorar o desempenho operacional (ACCORSI; MANZINI; MARANESI, 2014). Neste contexto, Chan e Chan (2011) apresentaram os principais problemas enfrentados pelos gestores nos armazéns, que foram: *design* do *layout*, políticas de recuperação de pedidos, políticas de atribuição de armazenamento e as políticas de roteamento, sendo necessário desenvolver ferramentas e modelos para solucioná-los.

#### 2.1.1.1 *Design do layout*

De acordo com Zhang *et al.* (2017), um dos principais problemas relacionados ao gerenciamento do armazém, consiste na definição do *layout* dessa instalação, uma vez que através dele é possível reduzir os custos operacionais. Apesar do *design* do *layout* ser classificado como uma decisão tática (ROUWENHORST *et al.*, 2000), o mesmo exerce influência sobre a capacidade do armazém que corresponde a uma decisão estratégica (SHQAIR; ALTARAZI; AL-SHIHABI, 2014). Além disso, Gu, Goetschalckx e Mcginnis (2010) argumentaram que a utilização do espaço e dos equipamentos também está sujeita a influência do *layout*, bem como as políticas de roteamento (DUKIC; CESNIK; OPETUK, 2010). Assim, para projetar o *layout* é preciso considerar: (I) a distribuição dos itens nos locais do armazém; (II) o modo como as áreas funcionais estão dispostas; (III) determinar a quantidade e a disposição das docas e dos pontos de entrada/saída (E/S); e (IV) o número de corredores e suas dimensões (HASSAN, 2002).

Segundo Calzavara *et al.* (2017), em grande parte dos estudos envolvendo o *layout* do armazém, buscava-se determinar a configuração das prateleiras, zonas e corredores, concentrando-se em armazéns tradicionais, cujo *layout* é retangular, com um ou mais blocos.

Segundo Cardona *et al.* (2015), os *layouts* tradicionais com corredores paralelos, perpendiculares às paredes, são os mais utilizados. Nesse contexto, Boysen e Stephan (2013) apresentaram os principais tipos de *layout* que foram:

- ✓ *Single rack with front and depot*: os locais de armazenamento estão localizados em uma prateleira disposta em linha reta, onde o ponto de E/S está na extremidade frontal da prateleira;

- ✓ *Single rack with central depot*: há uma única prateleira e o ponto de E/S está localizado no meio dela, onde a distância percorrida pode ser calculada apenas adicionando a distância para esquerda ou para direita;
- ✓ *Single aisle with front end depot*: apresenta o corredor com prateleiras paralelas em ambos os lados, onde a distância percorrida pode ser calculada a partir da distância de/para a posição mais distante.
- ✓ *Two-dimensional rack with front and depot*: utilizado para armazéns do tipo AS/RS, onde apresentam várias prateleiras dispostas umas sobre as outras.

Além dos apresentados, Cardona *et al.* (2015) destacaram o *layout* espinha de peixe (*fishbone*), onde existem dois corredores transversais diagonais e os corredores na parte inferior são ortogonais aos da parte superior.

De acordo com Theys *et al.* (2010), no armazém tradicional as SKUs são armazenadas em corredores de coleta longitudinal e os corredores transversais são atribuídos perpendicularmente aos de coleta. Somado a isso, quando há dois corredores transversais adjacentes formam um bloco, ou seja, se o armazém possuir  $n$  corredores transversais, o mesmo possuirá  $n-1$  blocos.

Para Caron, Marchet e Perego (2000), por exemplo, se houver muitas paradas para recuperar as SKUs por viagem é mais indicado que o armazém possua um número reduzido de corredores, mas se houver poucas paradas é preferível que o *layout* possua vários corredores. Já Shqair, Altarazi e Al-Shihabi (2014) concluíram que é possível reduzir a distância do deslocamento diminuindo o número de corredores e aumentando seu comprimento, independentemente do *layout* adotado. Ainda que a definição do *design* do *layout* seja muito importante para eficiência de um armazém, Hassan (2002) destacou a complexidade de se projetar o *layout* devido ao: (I) elevado número de decisões, em que muitos dos problemas são combinatórios dificultando a obtenção de uma solução ideal; (II) o número elevado de operações (por exemplo, *cross-docking*) e fatores (por exemplo, demanda, características físicas das SKUs) que devem ser considerados; e (III) a interação entre estas operações e fatores. Assim, o Quadro 1 apresenta os principais parâmetros utilizados para definir o *design* do *layout*.

Quadro 1 - Principais parâmetros para definir o design do layout

Autores	Corredores				Paradas seleção de pedidos	Número Prateleiras	Política Estocagem
	Número	Comprimento	Largura	Cruzamento			
<i>Caron, Marchet e Perego (2000)</i>		X			X		X
<i>Le-Duc e De Koster (2005)</i>		X	X	X			X
<i>Roodbergen, Sharp e Vis (2008)</i>		X	X	X	X		
<i>Accorsi, Manzini e Maranesi (2014)</i>	X	X	X			X	X
<i>Shqair, Altarazi, Al-Shihabi (2014)</i>	X	X					X
<i>Roodbergen, Vis e Don Taylor (2015)</i>			X	X		X	

Fonte: A autora (2019)

Portanto, para definir o *design* do *layout* é necessário considerar os elementos que compõem o armazém, como: a configuração dos corredores, sistema de *racks* (porta-paletes) para armazenagem 3D, se o *layout* é tradicional ou não, entre outros aspectos já destacados na literatura. Somado a isso, Sharma e Shah (2015) destacaram que além desses elementos, os estudos também incorporam as diferentes políticas de atribuição de armazenamento.

#### 2.1.1.2 Política de atribuição do local de armazenagem

Segundo Battista *et al.* (2011) a maneira como as SKUs são alocadas exercem influência no *layout*, no sistema de manuseio, bem como nos custos de armazenagem, sendo necessário solucionar o problema de atribuição de locais de armazenamento (*Storage Location Assignment Problem – SLAP*).

O SLAP pode ser definido como a atribuição dos produtos aos locais do armazém que, se for realizado de modo eficaz, proporciona a redução dos esforços dispendidos na operação de coleta (PAN; SHIH; WU, 2012), contribuindo para redução dos custos e para melhorar utilização do espaço (DIJSTRA; ROODBERGEN, 2017).

Para Chuang, Lee e Lai (2012), em geral, o SLAP busca atender três objetivos principais: (I) melhorar a eficiência operacional; (II) minimizar os custos com o espaço de armazenagem; e (III) minimizar a distância percorrida na operação de *picking*. Além disso, o SLAP está sujeito a restrições, tais como: capacidade da instalação de armazenagem, capacidade de coleta, tempo de fornecimento, compatibilidade dos produtos e as políticas

adotadas para recuperar os itens (GU; GOETSCHALCKX; MCGINNIS, 2007; GUERRIERO *et al.* 2013). Para solucionar o SLAP, Nova, Santos e Fontana (2017) definiram três partes principais que devem ser consideradas, que são: (1) políticas de estocagem, (2) atribuição do local de estocagem (SLA) e (3) avaliação das alternativas de SLA.

Assim, Rai e Ettam (2016) descreveram as políticas de estocagem amplamente empregadas na literatura, que foram:

- ✓ Política de estocagem Aleatória (PEA): as SKUs são atribuídas em qualquer espaço livre de armazenamento (MUPPANI; ADIL, 2008b), permitindo a utilização uniforme do espaço e reduzindo o congestionamento nos corredores (PETERSEN, 1999), sendo o mais empregado devido a facilidade do uso (PETERSEN; AASE, 2004). Contudo, devido a dispersão dos materiais, o manuseio dos materiais pode resultar em longos tempos de viagem (PETERSEN, 1999).
- ✓ Política de estocagem Dedicada (PED): reserva um espaço fixo suficiente para armazenar o estoque máximo de cada SKU (GU; GOETSCHALCKX; MCGINNIS, 2007). Assim, as SKUs são atribuídas a estes locais fixos, permitindo que os selecionadores se tornem familiarizados com os locais. Porém apresenta a pior utilização do espaço (DE KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007), uma vez que nenhuma outra SKU pode ser alocada naquele espaço, mesmo que vazio.
- ✓ Política de estocagem Baseada em classes (PEBC): as SKUs são agregadas em classes de acordo com um ou mais critérios relevantes. Cada classe é atribuída a uma área fixa no armazém (política dedicada) e as SKUs são alocadas aleatoriamente dentro do espaço reservado para sua classe (política aleatória) (PAN; SHIH; WU, 2012). Somado a isso, destaca-se a classificação ABC que apesar de ter sido desenvolvida para classificar o estoque das organizações, dividindo as SKUs em três classes de acordo com critérios específicos (TORABI; HATEFI; PAY, 2012), se tornou popular também para categorizar as SKUs em classes e realizar a atribuição destas aos locais de armazenamento.

A política baseada em classes promove um equilíbrio entre a aleatória e a dedicada, permitindo obter flexibilidade e alta utilização do espaço (CHAN; CHAN, 2011). Além disso, as políticas aleatória e dedicada são os seus extremos, em que a primeira considera que todas as SKUs pertencem a mesma classe e a segunda considera cada SKU como uma classe (MUPPANI; ADIL, 2008b). Para compreender melhor, supondo que existam três SKUs no armazém,  $A = \{a, b, c\}$ , as alternativas possíveis de estocagem serão:  $1 = \{[a], [b], [c]\}$  (PED),

2={[a+b], [c]} (PEBC1), 3= {[a], [b+c]} (PEBC2), 4={[a+c], [b]} (PEBC3), 5={[a+b+c]} (PEA). Assim, quando não se pré-estabelece qual política de estocagem será utilizada, as soluções no SLAP serão atingidas por meio da combinação das diferentes agregações ou não de SKUs em classes, caracterizando um problema NP-Complexo (NOVA; SANTOS; FONTANA, 2017). Alguns autores utilizaram métodos determinísticos (FONTANA; CAVALCANTE, 2013b, FONTANA e CAVALCANTE, 2014a, FONTANA; CAVALCANTE, 2014b) e heurísticos (MUPPANI; ADIL, 2008a, MUPPANI; ADIL, 2008b, GUERRIERO *et al.*, 2013). Outros autores preferiram preestabelecer a política de estocagem, minimizando o número de soluções. Neste caso, alguns deles utilizaram métodos multicritério para avaliar as SKUs e definir uma ou duas soluções de agregações das SKUs em classes (FONTANA; CAVALCANTE, 2013a, FONTANA; NEPOMUCENO, 2017), outros utilizaram o método para determinar a ordem de cada SKU na política dedicada (DA SILVA; DE VASCONCELOS; CAVALCANTE, 2015, FONTANA; NEPOMUCENO, 2017).

Desta forma, chega-se a segunda etapa do SLAP que trata da definição do local reservado a cada SKU, ou classe delas, dentro do armazém. Esta etapa de atribuição pode ser subdividida em outras duas partes: (a) estabelecer o critério de priorização do espaço e (b) estabelecer a regra de alocação nos corredores. Para compreender, no mesmo caso anterior, uma alternativa de política dedicada igual a {[a], [b], [c]} poderia receber outras 05 maneiras diferentes de ordenação (localização) no armazém, que são: {[a], [c], [b]}, ou {[b], [a], [c]}, ou {[b], [c], [a]}, ou {[c], [a], [b]}, ou {[c], [b], [a]} (NOVA; SANTOS; FONTANA, 2017). Na literatura é muito comum o uso de algum critério de priorização para estabelecer este posicionamento, tais como:

- ✓ Popularidade (*Popularity*): corresponde ao número de vezes que o selecionador recupera SKUs por unidade de tempo. Através desse critério as classes são ordenadas de modo decrescente e as que possuem maior popularidade são destinadas aos locais mais desejáveis (GU; GOETSCHALCKX; MCGINNIS, 2007);
- ✓ Inventário Máximo (*Maximum inventory*): está associada ao espaço máximo destinado a classe. As classes que possuem os menores estoques são destinadas aos locais mais desejáveis (GU; GOETSCHALCKX; MCGINNIS, 2007);
- ✓ Volume: consiste na multiplicação da demanda esperada da SKU pelo inventário máximo (GUERRIERO *et al.*, 2013);

- ✓ Volume de Negócios (*Turnover*): está relacionado com a frequência da demanda, onde as SKUs que são solicitadas com frequência são alocadas próximo aos pontos de entrada e saída (ROODBERGEN; VIS, 2009);
- ✓ Densidade de Pick (*Pick Density*): é definida como a relação entre a popularidade e o volume do produto (GUERRIERO *et al.*, 2013);
- ✓ Índice *Cuber-Per-Order* (COI): corresponde a relação entre o espaço de armazenagem necessário para SKUs e o número de solicitações por período (ROODBERGEN; VIS, 2009). Esse índice leva em consideração a popularidade e o requisito de espaço, onde as classes que possuem menor valor são armazenadas próximo aos pontos de entrada e saída (GU; GOETSCHALCKX; MCGINNIS, 2007);
- ✓ Consumidores: Fontana e Cavalcante (2013b) propuseram os índices *Cube-Per-Consumer* (CIC) e *Cube-Per-Order e Consumer* (COIC), visto que, o COI não considera o número de clientes que demandam cada produto, ocasionando um nível de serviço elevado para apenas uma pequena parcela de clientes. O primeiro corresponde a relação entre o inventário máximo e o número de clientes e o segundo é a relação entre o estoque máximo e a popularidade multiplicada pelo número de clientes.

Note que os índices surgiram como uma tentativa de agregar mais de um critério ao estabelecer a atribuição dos locais. Contudo, estes índices acabam por realizar uma compensação entre os critérios considerados. Por este motivo, alguns autores propuseram a consideração de métodos multicritério, como mencionado anteriormente. Assim, além dos critérios descritos acima, pode-se adicionar características gerenciais como a rentabilidade de cada produto e características dos clientes habituais, por exemplo. Outros autores não consideram critérios ou índices nesta etapa, ao gerar as  $n$  soluções já seguem para a etapa de avaliação destas soluções comparando-as com um ou múltiplos objetivos.

Ademais, os critérios e índices descritos acima podem, também, ser considerados na armazenagem aleatória ao definir qual SKU será alocada primeiramente. Porém, isso será viável apenas quando as SKUs estiverem no armazém no mesmo momento, visto que esta política de estocagem é dinâmica, prevendo a utilização de qualquer espaço livre conforme a chegada das SKUs.

Adicionalmente a esta decisão, é importante definir a regra de alocação, ou seja, dada a configuração dos corredores de estocagem, em que ponto será iniciado a alocação das SKUs, ou classes? Assim, dada uma solução  $\{[a], [c], [b]\}$ , sabe-se que a primeira SKU a ser alocada

no armazém será [a], mas em que ponto? Algumas regras podem ser consideradas em armazéns de duas dimensões (2D), que são:

- ✓ *Perimeter*: as SKUs com maior volume são armazenadas próximo à saída, enquanto as demais são armazenadas no perímetro, em sentido anti-horário, a partir da saída (PETERSEN; SCHMENNER, 1999).
- ✓ *Within-aisle*: as SKUs são alocadas no primeiro corredor do início ao fim, para só depois passar para o segundo corredor e assim por diante (PAN; WU, 2012).
- ✓ *Across-aisle*: as SKUs são alocadas no sentido perpendicular ao *within-aisle*, ou seja, primeiramente todas as posições iniciais (locais) dos corredores são ocupadas, para depois prosseguir para a segunda posição e assim por diante (PAN; WU, 2012).
- ✓ *Diagonal*: corresponde a armazenagem das SKUs em diagonal (PAN; WU, 2012).

Além disso, em armazéns com três dimensões (3D) é preciso definir como as regras *within-aisle*, *across-aisle* ou diagonal serão aplicadas em cada nível das *racks* (ou porta-paletes). Por fim, como foi mencionado anteriormente, a partir do momento que o SLAP se baseia na combinação ou não de SKU em classes e a ordem influência na atribuição das SKUs ou classes no armazém, podem haver até  $n^n$  diferentes soluções. Cada solução gera um desempenho diferente no armazém (eficiência) e precisam ser avaliadas. Esta etapa pode ser feita por meio de métodos de otimização, heurísticas ou multicritério, ao considerar um ou mais objetivos/critério para avaliar as soluções. A partir desta última etapa foi elaborado Quadro 2 que apresenta alguns trabalhos e o(s) objetivo(s) considerado na decisão final.

Quadro 2 - Os objetivos empregados na literatura para a definição da solução do SLAP

Autor	Política de estocagem	Critério/objetivo					
		Espaço de armazenagem		Separação de pedidos			Descentralização das SKUs
		Quantidade	Custo	Distância	Tempo	Custo	Custo
Muppani e Adil (2008a)	Baseado em classes		X			X	
Muppani e Adil (2008b)	Baseado em classes		X			X	
Battista <i>et al.</i> (2011)	Dedicada	X			X		
Chan e Chan (2011)	Baseado em classes			X	X		
Chuang, Lee e Lai (2012)	Dedicada			X			
Fontana e Cavalcante (2013a)	Baseado em classes			X			
Fontana e Cavalcante (2013b)	Baseado em classes		X			X	
Fontana e Cavalcante (2014a)	Baseado em classes	X	X	X	X	X	
Fontana e Cavalcante (2014b)	Baseado em classes	X		X			
Guerriero <i>et al.</i> (2013)	Baseado em classes					X	X
Dijkstra e Roodbergen (2017)	Baseado em classes			X			

Fonte: A autora (2019)

Assim, pode-se identificar no Quadro 2 o que decisor vai avaliar as alternativas a partir de um ou mais objetivos, podendo, para isso, fazer uso de heurística, análise estatística ou métodos multicritérios, por exemplo (NOVA; SANTOS; FONTANA, 2017). Além disso, para definir a atribuição ideal é necessário considerar, também, a política de separação de pedidos (CHAN; CHAN, 2011).



### 2.1.1.3 Políticas de separação de pedidos

O processo pelo qual as SKUs são recuperadas do armazém, a partir dos pedidos dos clientes, está relacionada a escolha da estratégia de separação dos pedidos (CHEN *et al.*, 2015). Para Kulak, Sahin e Taner (2012), esta é uma decisão estratégica, devido a sua influência sobre os demais aspectos do armazém. Assim, as principais estratégias que podem ser usadas são:

- ✓ *Single-order picking* (ou discreta, ou *pick-by-order*): o selecionador percorre a área de armazenagem a fim de recuperar todas as SKUs que fazem parte de um único pedido (LIN; LU, 1999);
- ✓ *Order batching*: as ordens de diferentes clientes são agrupadas, formando lotes (vários itens) de uma única SKU. De acordo com Kulak, Sahin e Taner (2012), ao adotar a estratégia de recuperação *order batching*, com seleção manual, o tamanho do lote está condicionado a capacidade do veículo de *picking*. Assim, respeitada esta capacidade, a coleta dos itens de uma SKU pode ser concluída pelo selecionador através de uma única viagem (DE KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007). Após esta etapa, os itens de cada lote devem ser desagregados e reagrupados nas quantidades adequadas a cada ordem dos clientes;
- ✓ *Zone picking*: o armazém é dividido em zonas, onde cada zona é atribuída selecionadores específicos que são responsáveis pela recuperação das SKUs que estão na sua zona (JANE; LAIH, 2005). Contudo, após as SKUs serem recuperadas, as mesmas precisam ser agregadas antes de serem enviadas para os clientes (DE KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007). Dentro de cada zona pode-se considerar *single-order* ou *order batching*.

Contudo, observa-se que ao se definir a política de separação de pedidos que será adotada é necessário considerar o perfil das ordens dos clientes (LIN; LU, 1999).

Além disso, dentro destas estratégias, a movimentação para separação de pedidos pode-se dar da seguinte maneira:

- ✓ *Single-command operation*: corresponde a viagem do selecionador entre a E/S e o local de armazenamento com uma unidade de carga (*unit-load*) por vez (ÖZTÜRKOGLU; GUE; MELLER, 2014). Entende-se como unidade de carga um único item ou vários itens agrupados em algum tipo de embalagem, como por exemplo, caixas, paletes e até contêineres;
- ✓ *Dual-command operation*: os selecionadores transportam uma unidade de carga (*unit-load*) do ponto de entrada e saída (E/S) para o local de armazenamento e, em seguida,

recuperam outra unidade de carga para só então retornar aos pontos de E/S (Pohl *et al.* 2009).

Özturkoglu, Gue e Meller (2014) identificaram que grande parte dos armazéns de cargas padronizadas, o *single-command* é o mais popular. Quando as unidades de cargas são menores que a capacidade do equipamento de *picking* (seleção), é possível pegar vários itens da mesma SKU ou de SKUs diferentes da mesma viagem. Em outras palavras, é possível pegar várias unidades de cargas na mesma viagem. Para isso, devem-se considerar as estratégias de roteamento.

#### 2.1.1.4 Políticas de roteamento

Chan e Chan (2011) afirmaram que a solução para o SLAP ideal está condicionada a dimensão do armazém, a política de roteamento e o número de SKUs recuperadas por rota. De acordo com Elbert *et al.* (2017), através das políticas de roteamento é possível definir a sequência que o selecionador de pedidos vai seguir para recuperar os itens do armazém, com o objetivo de reduzir as distâncias percorridas e/ou o tempo, utilizando para isso rotas ótimas ou heurísticas de roteamento. Chen *et al.* (2010) argumentaram que as heurísticas são mais difundidas, por apresentarem maior facilidade na implementação, no entendimento, na adaptação, além de exigir menos esforço computacional. Através das heurísticas é possível evitar, ou até mesmo reduzir, o congestionamento no corredor, porém, o algoritmo de otimização não incorpora essa informação (DE KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007).

As heurísticas mais populares na literatura para estabelecer a sequência de recuperação das SKUs são:

- ✓ Transversal ou em forma S (*S-shape* ou *traversal*): o separador de pedidos percorre todo o corredor quando pelo menos um item estiver localizado nele, prosseguindo para os demais corredores que contém os itens da lista de *picking*. A exceção ocorre quando o selecionador estiver de frente para o último corredor, onde recuperaria as SKUs e retornaria. Essa política de roteamento é muito utilizada quando a densidade de recuperação é elevada (CHAN; CHAN, 2011; HENN; WÄSCHER, 2012; SCHOLZ *et al.*, 2016; DIJKSTRA; ROODBERGEN, 2017);
- ✓ Retorno (*return*): para recuperar as SKUs o selecionador entra e sai dos corredores sempre pelo mesmo lado, onde ele vai até o local de recuperação mais distante e retorna com as SKUs selecionadas, não percorrendo nenhum corredor por completo. Essa política é usada quando o armazenamento é baseado em classes, onde a densidade de

recuperação é baixa (DE KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007; THEYS *et al.*, 2010; CHAN; CHAN, 2011);

- ✓ Maior lacuna (*largest gap*): o selecionador percorre completamente o primeiro e o último corredor, onde os demais corredores são inseridos a partir do corredor frontal ou traseiro, contudo se a maior distância não estiver sido percorrida entre dois locais adjacentes é máxima (DE KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007; HENN; WÄSCHER, 2012; SCHOLZ *et al.*, 2016);
- ✓ Combinada/ composta (*combined/composite*): combina as melhores características das políticas S-shape e a de retorno, proporcionando a minimização das distâncias (CHAN; CHAN, 2011). Nessa heurística é possível escolher entre as opções de percorrer todo corredor ou retornar (DEKKER *et al.*, 2004);
- ✓ Ponto médio (*midpoint*): o armazém é dividido em duas partes, limitando o acesso do selecionador ao corredor até o ponto médio (PETERSEN; SCHEMENN, 1999). Öncan (2015) discorre sobre o trajeto do selecionador, onde o mesmo percorre todo corredor à esquerda para recuperar as SKUs e em seguida, alcança o corredor traseiro. As SKUs que estão na parte metade da parte traseira são percorridos a partir do corredor traseiro, posteriormente o selecionador percorre o corredor mais à direita, entrando no corredor da parte frontal, recuperando todas as SKUs que estão localizadas na metade frontal, para só assim ele retornar ao ponto de E/S (entrada/saída).

Nesse contexto, por exemplo, o estudo de Shqair, Altarazi e Al-Shihabi (2014) permitiu identificar que se o armazém possuir apenas um bloco (única área, sem zonas) a política de roteamento mais adequada é a *largest gap*, enquanto para um número maior de blocos (estratégia de zoneamento) a *S-shape* é a mais indicada. Além disso, Cheng *et al.* (2015) destacaram que a separação de pedidos influencia no planejamento do caminho de *picking*, exercendo influência nas distâncias percorridas e comprometendo a eficiência da operação de *picking*.

### 2.1.2 Logística Reversa

As CS tradicionais são estruturas lineares, visto que, não apresentam fluxo reverso (TRAPPEY; TRAPPEY; WU, 2010). Contudo, Harraz e Galal (2011) apresentaram alguns aspectos que motivaram a mudança nessa abordagem tradicional, como: a conscientização ambiental global, o encolhimento das áreas disponíveis para os aterros e o esgotamento dos

recursos naturais, fazendo com que a eliminação de resíduos e a reciclagem se tornassem elementos fundamentais para as organizações (YE; YE; CHUANG, 2011) e a sociedade como um todo por meio de pressões jurídicas.

No Brasil, destaca-se o desenvolvimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305) que atua no canal de pós-consumo, isto é, correspondem aos produtos que são descartados pela sociedade porque já estão no fim da vida útil, os resíduos industriais e os produtos usados, mas que possuem condições de utilização. Além disso, uso do Código de Defesa do Consumidor que atua no canal de pós-venda, ou seja, que consiste em produtos com nenhum ou pouco uso e que retornaram devido a um erro no processamento do pedido, defeitos, avarias no transporte, etc. (LEITE, 2003).

Nesse contexto, o setor industrial passou a considerar o impacto que seus processos produtivos e os seus produtos poderiam causar no meio ambiente, uma vez que as decisões de compra dos clientes podem ser influenciadas pelo posicionamento da organização sobre esse aspecto (RAMEZANI; BASHIRI; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, 2013; JAYANT; GUPTA; GARG, 2014).

Para tanto, a Logística Reversa pode ser definida como uma sequência de atividades responsáveis por coletar os produtos usados, para capturar valor através da reciclagem, reparo, remodelagem ou remanufatura, aumentando assim a vida útil do produto; ou dando o descarte adequado (JAYANT; GUPTA; GARG, 2014; AGRAWAL; SINGH; MURTAZA, 2015; DONDO; MÉNDEZ, 2016).

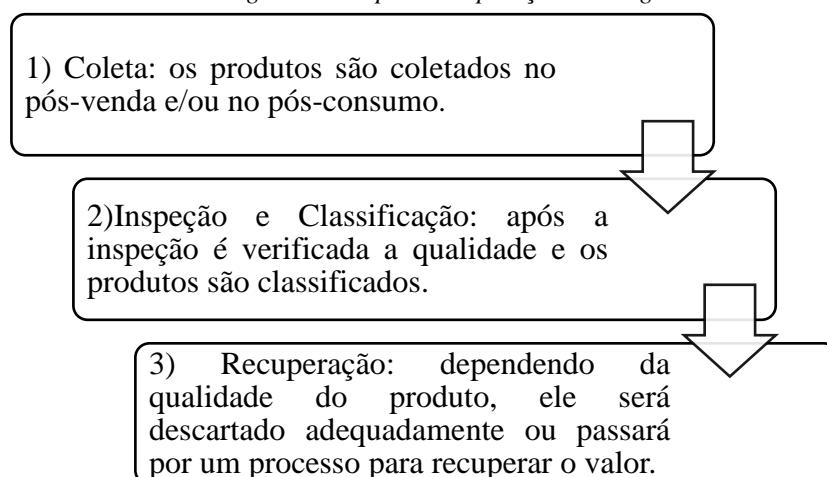
Diante disso, Kizilboga *et al.* (2013) destacam os elementos responsáveis por impulsionar o desenvolvimento da logística reversa, que são:

- ✓ Econômico: está associado as atividades de recuperação, por exemplo, um produto que está no final da sua vida útil, pode ter suas peças retiradas para serem usadas como reposição ou podem ser vendidas para um mercado secundário (GARCÍA-RODRÍGUEZ; CASTILLA-GUTIÉRREZ; BUSTOS-FLORES, 2013);
- ✓ Ambiental: está relacionado a possibilidade de a organização obter vantagem competitiva, ao transmitir para os consumidores uma imagem “verde”, se tornando um elemento importante para o marketing da organização (FLEISCHMANN *et al.*, 2001);  
e
- ✓ Legislação: fez com que as organizações precisassem rever os ciclos de vida dos produtos e estruturar as operações relacionadas ao fluxo reverso (COUTO; LANGE, 2017).

Conforme Jayant, Gupta e Garg (2014), LR é muito importante, dado que a mesma exerce influência no planejamento e gerenciamento da produção, bem como na determinação das capacidades da produção e de armazenagem. Somado a isso, Roghanian e Pazhoheshfar (2014) argumentaram que ela auxilia na competitividade, podendo ser utilizada como uma estratégia comercial. Além de colaborar para o aumento da satisfação do cliente (LIAO, 2018).

A Figura 1 apresenta as etapas básicas da operação de Logística Reversa:

Figura 1 - Etapas das operações de Logística Reversa



Fonte: Adaptada de Agrawal, Singh e Murtaza (2015)

A segunda etapa da Figura 1 é influenciada pela qualidade dos produtos que fazem parte do fluxo reverso. Neste sentido, Ghayebloo *et al.* (2015) ressaltaram que o nível de confiabilidade das peças dos produtos exerce influência na qualidade dos componentes, visto que, quando um produto apresenta um nível de confiabilidade elevado, é possível aumentar sua vida útil, reduzindo o custo com remanufatura ou reparo, por exemplo. Contudo, se o produto não poder ser mais utilizado, a última opção consiste na eliminação de resíduos (SANGWAN, 2017).

Os principais processos de recuperação dos produtos em destaque são (COSTA *et al.*, 2014; BHATTACHARYA; KAUR; AMIT, 2018; SANGWAN, 2017):

- ✓ **Reparo:** o produto é consertado e há a substituição das peças defeituosas, sendo vendido como um produto usado. Concentra-se na recuperação de valor;
- ✓ **Reutilização:** é realizada uma limpeza no produto e o mesmo é consertado. Concentra-se na recuperação de valor agregado e na recuperação de materiais;
- ✓ **Reforma:** não há perda de identidade do produto, sendo vendido como um produto recondicionado;

- ✓ Remanufatura: o produto retorna para o processo de fabricação, onde será desmontado, remanufaturado e montado novamente, com o objetivo de que o produto adquira padrões de qualidade e confiabilidade elevados. Concentra-se na recuperação de valor, sendo a atividade mais lucrativa;
- ✓ Reciclagem: o produto retorna para o processo produtivo, servindo de matéria-prima para novos produtos, perdendo sua identidade e funcionalidade. Concentra-se a recuperação de materiais;
- ✓ Canibalização: corresponde a extração de uma ou mais partes valiosas do produto;
- ✓ Descarte: os produtos que por algum motivo não puderam ser reaproveitados são destinados para os aterros sanitários (VALLE; SOUZA, 2014); e
- ✓ Incineração: é uma forma de tratar os resíduos, além de permitir a recuperação de energia, minerais ou até produtos químicos (VALLE; SOUZA, 2014).

Sangwan (2017) apresentou os indicadores chaves que devem ser considerados no processo de tomada de decisão sobre a recuperação dos produtos na LR, que foram: custo operacional; impacto ambiental; demanda do mercado; viabilidade técnica; imagem verde; recuperação de valor; questões de segurança; oportunidades de geração de emprego; e o nível de importância nacional. Neste sentido, Giannetti, Bonilla e Almeida (2013) destacaram o uso da síntese *Emergy*, que corresponde a uma metodologia que contabiliza a energia disponível para fazer um produto e/ou serviço, para avaliar a eficiência ambiental e econômica dos sistemas que empregam a LR.

Contudo, a maior parte dos gerentes postergam a preocupação com a Logística Reversa até o momento que os resíduos são gerados (CAIADO *et al.*, 2017), não usufruindo dos benefícios obtidos com sua prática, entre eles: (I) atuar em nichos de mercado através da competitividade sustentável; (II) aumento da satisfação do cliente; (III) redução do impacto ambiental; (IV) economias obtidas com a reciclagem/reutilização; e (V) ganhos obtidas para a imagem da empresa, podendo reduzir os custos com marketing (SILVA *et al.*, 2013). Apesar destes benefícios, as políticas públicas que recompensem as organizações que utilizam a LR, diminuindo os impostos ou estimulando a inovação, por exemplo, são importantes (GIANNETTI; BONILLA; ALMEIDA, 2013). No entanto, existem algumas barreiras a implementação da LR que devem ser consideradas. O Quadro 3 sintetiza as barreiras normalmente encontradas, bem como os aspectos relacionados as mesmas.

Quadro 3 - Barreiras a adoção da Logística Reversa

Barreiras	Aspectos
Tecnologia e Infraestrutura	Falta de habilidades técnicas; complexidade nas operações; falta de tecnologias mais recentes.
Governança e processos da CS	Previsão e planejamento limitados; qualidade inconsistente; e complexidade de encontrar um <i>third-party</i> .
Econômicos	Falta de capital; e falta de economia de escala.
Conhecimento	Falta de conhecimento sobre as práticas de LR; falta de consciência sobre os benefícios da LR; e falta de conhecimento tributário sobre os produtos devolvidos.
Políticos	Falta de comunicação interministerial; falta de leis de que motivem a adoção; e a dificuldade envolvendo a responsabilidade alargada do decisor.
Mercado e concorrência	Pouco reconhecimento da vantagem competitiva; e mercados de recuperação não desenvolvidos.
Gestão	Baixo envolvimento da alta administração e planejamento estratégico; e não é dada a devida importância a LR.

Fonte: Adaptado de Rogers e Tibben-Lembke (1999), Agrawal, Singh e Murtaza (2015) e Govindan e Bouzon (2018)

Em suma, implementar e gerenciar a Logística Reversa é complexo, sendo necessário infraestrutura e conhecimento. Contudo, dado o contexto global, sua utilização é necessária, fazendo com que as organizações concentrem seus esforços para torná-la efetiva (TRAPPEY; TRAPPEY; WU, 2010; AGRAWAL; SINGH; MURTAZA, 2015; ZARBAKSHINA; SOLEIMANI; GHADERI, 2018).

De acordo com Govindan e Soleimani (2017), a partir da evolução da CS, as mesmas passaram a integrar os fluxos diretos e reversos simultaneamente, resultando no retorno das SKUs para outras organizações, como também para suas instalações de origem, essa última proporcionou o desenvolvimento das Cadeia de Suprimento de Malha Fechada (*Closed-Loop Supply Chain – CLSC*). O interesse crescente por essa estrutura foi motivado pela pressão legislativa dos países e pelas vantagens econômicas (ZHOU; NAIM; DISNEY, 2017).

Enquanto, na CS tradicional o fabricante apenas vende seus produtos através de um varejista, que repassa os produtos para os clientes, na CLSC o fabricante é, também, responsável por coletar os produtos após o seu consumo e, dependendo da qualidade dos mesmos, realizar operações de recuperação ou destinação adequadamente dos resíduos (MAITI; GIRI, 2017), ou seja, desempenha o retorno dos produtos na mesma cadeia. Nesse sentido, Govinda e Soleimani (2017) apresentaram as principais funções de uma CLSC: (I) agregar valor para atender as

demandas dos clientes; e (II) recuperar os produtos que estejam no fim da sua vida útil ou no fim de uso.

O trabalho nesse ambiente híbrido, formado pelo fluxo direto e reverso simultaneamente, está direcionado para o *design* estratégico da CLSC, bem como o planejamento tático e/ou operacional da produção e gerenciamento dos estoques (KENNÉ; DEJAX; GHARBIC, 2012). As principais vantagens de sua implementação podem ser destacadas como: fornecimento de matéria-prima de baixo custo; minimização do consumo de recursos e redução dos custos de fabricação (CHEN *et al.*, 2017).

Contudo, devido à complexidade associada à integração de ambos os fluxos da CS torna-se necessário reconfigurar o sistema de armazenagem de instalações híbridas, dado que a incerteza dos retornos em termos de volume, tipo e qualidade impõe desafios operacionais para as organizações, podendo resultar em ociosidade e aumentar os custos com manuseio.

## 2.2 Discussão da Literatura

A fundamentação teórica apresentada ofereceu o alicerce sobre o potencial de desenvolvimento dos conceitos e técnicas abordadas pela presente pesquisa. Por tal, esta seção teve como foco sintetizar os estudos envolvendo a armazenagem e apresentar uma discussão envolvendo a revisão da literatura sobre a integração dos fluxos bidirecionais presentes no apêndice A.

Assim, inicialmente buscou-se sintetizar os trabalhos desenvolvidos sobre operações de armazenagem envolvendo a cadeia de suprimentos tradicional. Com isso, o Quadro 4 apresenta a distribuição dos trabalhos estudados, considerando as abordagens discutidas na fundamentação teórica: *design* do *layout*, política de separação dos pedidos, política de atribuição do local de armazenagem e política de roteamento.

Quadro 4 - Revisão da literatura sobre o sistema de armazenagem

Autores (ano)	Design do layout	Política de separação dos pedidos	Política de atribuição	Políticas de roteamento
Lin e Lu (1999)		X		
Petersen e Schemenn (1999)			X	X
Rubens e Jacobs (1999)		X	X	
Caron, Marchet e Perego (2000)	X		X	
Hassan (2002)	X	X	X	



<i>Dekker et al. (2004)</i>			X	X
<i>Petersen e Aase (2004)</i>				
<i>Jane e Laih (2005)</i>		X	X	
<i>Le-Duc e De Koster (2005)</i>		X	X	
<i>Chu, Liang e Liao (2008)</i>			X	
<i>Muppani e Adil (2008a)</i>			X	
<i>Muppani e Adil (2008b)</i>			X	
<i>Roodbergen, Sharp e Vis (2008)</i>	X			
<i>Baker e Canessa (2009)</i>	X		X	
<i>Pohl, Meller e Gue (2009)</i>	X	X	X	
<i>Chen et al. (2010)</i>			X	X
<i>Dukic, Cesnik e Opetuk (2010)</i>	X			X
<i>Gu, Goetschalckx e Mcginnis (2010)</i>	X			
<i>Theys et al. (2010)</i>			X	X
<i>Battista et al. (2011)</i>			X	
<i>Chan e Chan (2011)</i>			X	X
<i>Chuang, Lee e Lai (2012)</i>			X	
<i>Dowlatshahi (2012)</i>				
<i>Henn e Wäscher (2012)</i>		X		X
<i>Kulak, Sahin e Taner (2012)</i>		X		X
<i>Pan, Shih e Wu (2012)</i>			X	
<i>Pan e Wu (2012)</i>			X	X
<i>Boysen e Stephan (2013)</i>	X		X	
<i>Chackelson et al. (2013)</i>		X	X	X
<i>Fontana e Cavalcante (2013a)</i>				
<i>Fontana e Cavalcante (2013b)</i>				
<i>Guerriero et al. (2013)</i>				
<i>Henn e Schmid (2013)</i>		X		X
<i>Accorsi, Manzini e Maranesi (2014)</i>	X	X	X	
<i>Fontana e Cavalcante (2014a)</i>				
<i>Fontana e Cavalcante (2014b)</i>				
<i>Öztürkoglu, Gue e Meller (2014)</i>	X	X	X	
<i>Shqair, Altarazi e Al-Shihabi (2014)</i>	X		X	X

<i>Cardona et al. (2015)</i>	X	X	X	
<i>Chen et al. (2015a)</i>		X		X
<i>Chen et al. (2015b)</i>		X		X
<i>Cheng et al. (2015)</i>		X		X
<i>Da Silva, De Vasconcelos e Cavalcante (2015)</i>			X	
<i>Öncan (2015)</i>		X		X
<i>Roodbergen, Vis e Don Taylor Jr (2015)</i>	X		X	X
<i>Scholz et al. (2016)</i>		X		X
<i>Sharma e Shah (2015)</i>	X	X	X	
<i>Kuo et al. (2016)</i>		X	X	
<i>Calzavara et al. (2017)</i>	X			
<i>Dijkstra e Roodbergen (2017)</i>			X	X
<i>Elbert et al. (2017)</i>				X
<i>Fontana e Nepomuceno (2017)</i>			X	
<i>Klodawski et al. (2017)</i>	X			
<i>Li, Huang e Dai (2017)</i>		X		X
<i>Menéndez et al. (2017)</i>		X		X
<i>Shah e Khanzode (2017b)</i>			X	
<i>Sprock, Murrenhoff e McGinnis (2017)</i>	X			
<i>Zhang et al. (2017)</i>	X	X		
<i>Gils et al. (2018a)</i>		X	X	X
<i>Shah e Khanzode (2018)</i>			X	
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>24</b>	<b>35</b>	<b>23</b>

Fonte: A autora (2019)

Uma vez que as decisões relacionadas com o sistema de armazenagem precisam ser interligadas, visto que, as abordagens desintegradas resultam na subotimização dos processos (CHEN *et al.*, 2010; GU; GOETSCHALCKX; MCGINNIS, 2010), fez com que, ao longo dos anos, aumentasse o número de estudos que buscavam fornecer abordagens sistemáticas, combinando diferentes decisões operacionais.

Contudo, observou-se na literatura uma carência no desenvolvimento de modelos e ferramentas que fornecessem aos gestores uma estrutura unificada voltada para a armazenagem.

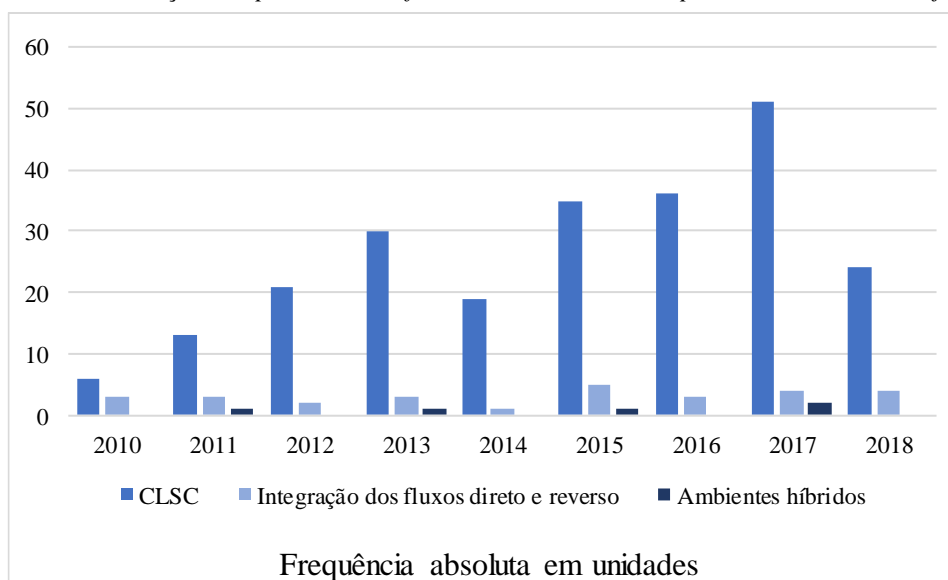
Entretanto, pode-se destacar o trabalho de Hassan (2002) que desenvolveu um *framework* voltado para a organização das áreas funcionais, número e localização das docas, sistema de corredores, contudo ele foi voltado apenas para o *design* do *layout*. Baker e Canessa (2009) desenvolveram um *framework* direcionado apenas para o *design* do armazém, onde reuniram ferramentas presentes na literatura para cada etapa. Chen *et al.* (2010) elaboraram um *framework*, considerando apenas as políticas de roteamento e a política de atribuição baseada em classes, não incorporando as demais decisões.

Desta forma, na tentativa de fornecer uma ferramenta de decisão para projetar o sistema de armazenagem, Accorsi, Manzini e Maranesi (2014) desenvolveram um DSS. Contudo, ele foi voltado especificamente para prestadores de serviços terceirizados. Sharma e Shah (2015) desenvolveram um *framework* para realizar as atribuições, contudo a limitação dessa ferramenta está relacionada a alteração de *layout* e ao zoneamento que reduz o espaço do armazenamento. Sprock, Murrenhoff e Mccinnis (2017) propuseram uma metodologia hierárquica de apoio à decisão, limitando-se a política de armazenagem dedicada, onde os pedidos foram agrupados usando a estratégia de separação dos pedidos *order batching* e utilizou uma heurística para definir a rota, mas não incorporou as decisões sobre o *layout* da instalação. No estudo de Shah e Khanzode (2017b) foi desenvolvido um *framework* para realizar a alocação em *buffer* enxuto, restringindo-se ao adotar a política de armazenagem dedicada e não consideraram o *trade-off* para comparar as diferentes políticas de atribuição. Além disso, para superar as limitações de mobilidade do sistema ou do dispositivo no qual estava operando, Shah e Khanzode (2018) construíram um e-DSS para realizar as alocações em *buffers*, porém foi voltado para centro de distribuição de varejo.

Diante disso, como a otimização do sistema de armazenagem *picker-to-parts* está associada ao *layout*, política de separação dos pedidos, política de atribuição e as rotas utilizadas pela organização, é muito importante considerar a integração desses elementos simultaneamente ao desenvolver um sistema de armazenagem. Somado a isso, surge a necessidade de manusear as SKUs que retornam ao ponto de origem, ao fazer uso da instalação de armazenagem já existente, de modo a compartilhar o espaço e a gestão com os produtos novos. Apenas um dos trabalhos relatados no Quadro 4 considera o fluxo reverso em suas proposições. Dukic, Cesnik e Opetuk (2010) apresentaram uma visão geral das cadeias de suprimentos verdes e trouxeram uma análise da necessidade das decisões de *design* do *layout*, política de estocagem e roteamento, que devem ser consideradas ao tratar do fluxo reverso.

Neste contexto, pode-se observar no Gráfico 1 um aumento significativo no número de publicações sobre os fluxos bidirecionais de suprimentos, cuja a aplicação não se limitou apenas a armazenagem. Destacando-se não apenas as CLSC, como também a integração de ambos os fluxos, onde a organização recebe as SKUs de outras empresas, como também ambientes que realizam os processos de manufatura e remanufatura, simultaneamente.

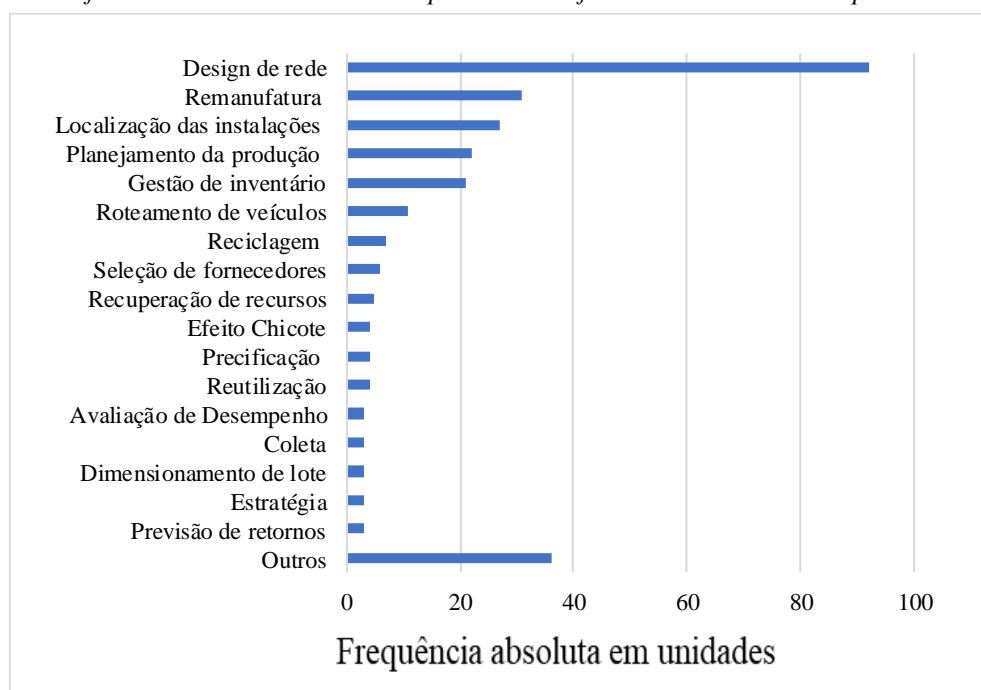
Gráfico 1- Distribuição dos periódicos de fluxos bidirecionais de suprimentos entre 2010 e julho de 2018



Fonte: A autora (2019)

Entretanto, apesar do crescimento significativo de estudos voltados para os fluxos bidirecionais de suprimentos, os principais assuntos abordados envolviam o *design* de rede e a remanufatura, conforme apresentado no Gráfico 2. Já, ao considerar tamanha importância do sistema de armazenagem, o mesmo foi pouco explorado, destacando-se, assim, uma carência na literatura sobre o sistema de armazenagem diante dos fluxos bidirecionais de suprimentos.

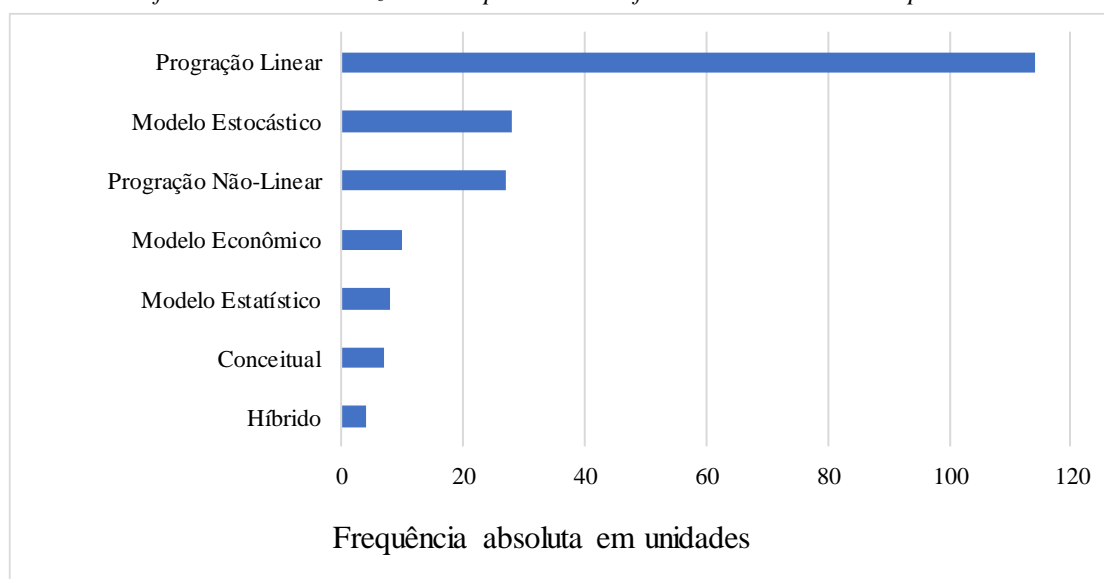
Gráfico 2- Assuntos abordados nos periódicos de fluxos bidirecionais de suprimentos



Fonte: A autora (2019)

Neste contexto, identificou-se a complexidade em desenvolver estudos devido a quantidade e qualidade dos retornos, fazendo com que o uso das abordagens estocásticas fosse impulsionado. Porém a modelagem linear, solucionada por métodos determinísticos ou heurísticos, ainda é predominante, tal como apresentado no Gráfico 3.

Gráfico 3- Modelos utilizados nos periódicos de fluxos bidirecionais de suprimentos

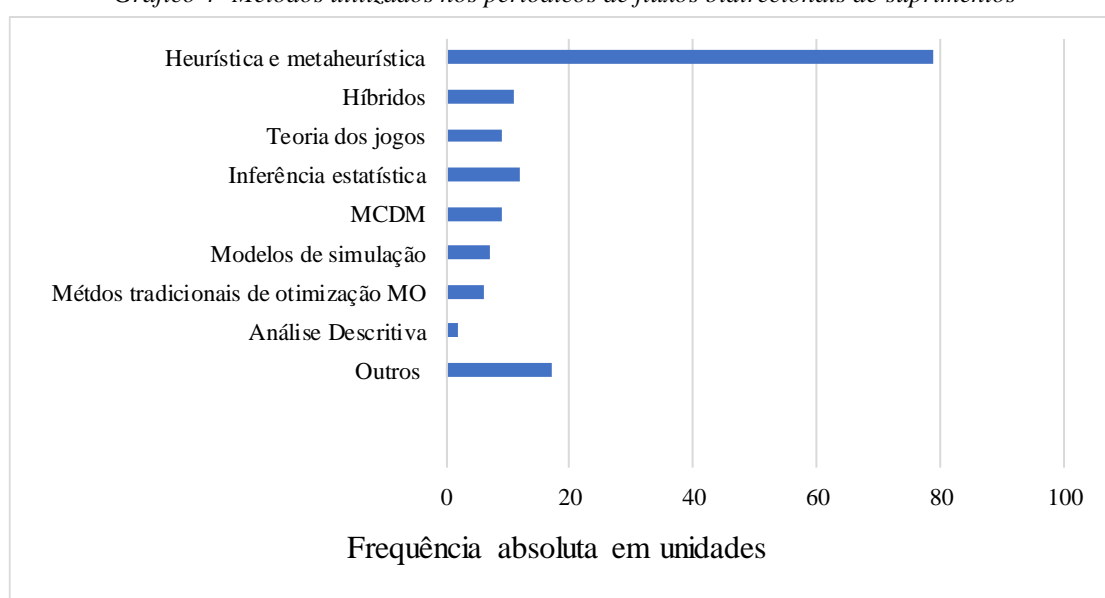


Fonte: A autora (2019)

Contudo, como a implementação simultaneamente de ambos os fluxos envolve vários objetivos, como: aumentar a produtividade, reduzir os custos, minimizar as distâncias,

minimizar os impactos ambientais, entre outros, em sua maioria, conflitantes. Assim, na tentativa de fornecer soluções quase ótimas, cresceu o número de publicações que fazem uso de heurísticas e metaheurística, visto que, elas proporcionam a redução do esforço computacional, como apresentado no Gráfico 4, destacando-se o uso de: *Genetic Algorithm* (GA), *Ant Colony Optimization* (ACO), *Simulated Annealing* (AS), *Particle Swarm Optimization* (PSO), *Tabu Search* (TS), *Benders Decomposition* (BD), *Memetic Algorithm* (MA), *Variable Neighbourhood Search* (VNS), *Nondominated Sorting Genetic Algorithm* (NSGA-II) e *Lagrangian Relaxation*.

Gráfico 4- Métodos utilizados nos periódicos de fluxos bidirecionais de suprimentos



Fonte: A autora (2019)

Todavia, muitas dessas heurísticas e metaheurísticas não são empregadas para situações com múltiplos objetivos, surgindo o uso de métodos multicritérios, destacando-se o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e *Data Envelopment Analysis* (DEA). Contudo, o uso de técnicas de análise multicritério ainda é minoria nos estudos.

Em síntese, à complexidade associada aos fluxos bidirecionais, resultou na dificuldade em desenvolver um modelo de referência que possa ser utilizado por todas as organizações. Isto enfatiza a necessidade de estudos voltados a concepção de estruturas conceituais integrativas que auxiliem no processo de tomada de decisão.

Especificamente associado a temática de logística reversa foram identificados *frameworks* conceituais e matemáticos que abordaram: gerenciamento nos níveis estratégicos, táticos e operacionais (LAMBERT; RIOPEL; ABDUL-KADER, 2011); gestão de inventário e planejamento da produção (YOU; HSIEH; CHEN, 2011); *design* de rede (ÖZKIR; BASLIGIL,

2012; AMIN; ZHANG, 2013b; KALAITZIDOU; LONGINIDIS; GEORGIADIS, 2015; DAABOUL *et al.*, 2016); ameaça de escassez de recursos (BELL; MOLLENKOPF; STOLZE, 2013); efeito chicote (DAS; DUTTA, 2013); previsão de retorno (KRAPP; NEBEL; SAHAMIE, 2013b); recuperação de produtos (DAS; DUTTA, 2015); criação de valor (SCHENKEL *et al.*, 2015a,b); aquisição de retornos (GAUR *et al.*, 2017b); reutilização dos componentes (KAPUR; SACHDEVA; SINGH, 2017); e estratégia (HANSEN *et al.*, 2018). No entanto, apenas o *framework* desenvolvido por Dowlatshahi (2012) foi direcionado para operações reversas no sistema de armazenagem, onde permitiu identificar subfatores associados a armazenagem com operações de LR e forneceu diretrizes para que as empresas pudessem gerenciar os produtos de fluxo reverso, contudo as decisões que influenciam a eficiência do processo de armazenagem estavam fora do seu escopo, decisões essas que foram tratadas nesse estudo.

### 2.3 Síntese Conclusiva

Gerenciar um armazém é complexo, visto que, as decisões envolvendo essa instalação estão interligadas. Somado a isso, existe a necessidade de manusear os produtos de fluxo reverso, em instalações híbridas onde há não apenas o compartilhamento do espaço, como também a gestão e recursos dessa instalação.

Assim, este capítulo buscou expor uma revisão da literatura destacando as principais contribuições e aplicações dos autores, onde foi possível identificar algumas ferramentas de tomada de decisão, como a desenvolvida por Accorsi, Manzini e Maranesi (2014) que, apesar de projetar as diferentes áreas de armazenagem, aumentando a eficiência, não incorporou o fluxo reverso. Isto ressalta que as decisões envolvendo o sistema de armazenagem, ainda, é pouco explorado para fluxos de suprimentos bidirecionais. Além disso, identificou-se outros aspectos que precisam ser analisados mais amplamente, como:

- ✓ A carência no desenvolvimento de metodologias para medir o desempenho ao considerar os fluxos bidirecionais de suprimentos;
- ✓ Há o potencial para o desenvolvimento e aprimoramento de modelos de previsão ao considerar ambos os fluxos, devido ao alto nível de incerteza, seja pela qualidade e/ou pela quantidade dos retornos; e
- ✓ O estudo de estratégias para estimular o fluxo de retorno das SKUs, permitindo que as organizações possam substituir as matérias-primas primárias pelas matérias-primas derivadas dos retornos.

Desta forma, a revisão da literatura foi importante para nortear o desenvolvimento da pesquisa e auxiliar na construção do *framework* que agrega as decisões de armazenagem onde o espaço de armazenagem é comum para os produtos de ambos os fluxos.



### **3 DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA CONCEITUAL INTEGRATIVA**

Neste capítulo foi desenvolvida uma estrutura conceitual integrativa, ou *framework*, a partir da literatura estudada sobre operações de armazenagem. O objetivo principal aqui foi definir a ocupação do armazém de modo a melhorar a utilização do espaço de estocagem e facilitar o fluxo de materiais em instalações híbridas, ou seja, aquelas que compartilham o espaço e o processo de gestão simultaneamente com produtos de fluxo direto e reverso.

#### **3.1 Descrição do problema**

No fluxo direto, quando a matéria-prima chega na instalação de armazenagem, elas são identificadas e é realizado o controle da carga, para, só então, serem transferidas para os locais de armazenamento. No fluxo reverso, devido à incerteza associada a qualidade, quantidade e o tipo dos retornos, é necessário analisar se as SKUs possuem condições de serem reinseridas no processo produtivo e se há quantidade suficiente de SKUs para formar um palete completo, para, só então, as cargas unitizadas serem estocadas. Dessa forma, para as organizações que fazem uso de instalações híbridas, se torna relevante o desenvolvimento de ferramentas de tomada de decisão para auxiliar os gestores a definir como as SKUs de fluxo reverso devem ser armazenadas.

Diante disso, uma estrutura conceitual integrativa foi desenvolvida para dar suporte às decisões operacionais de armazenagem das SKUs de fluxo reverso em instalações híbridas.

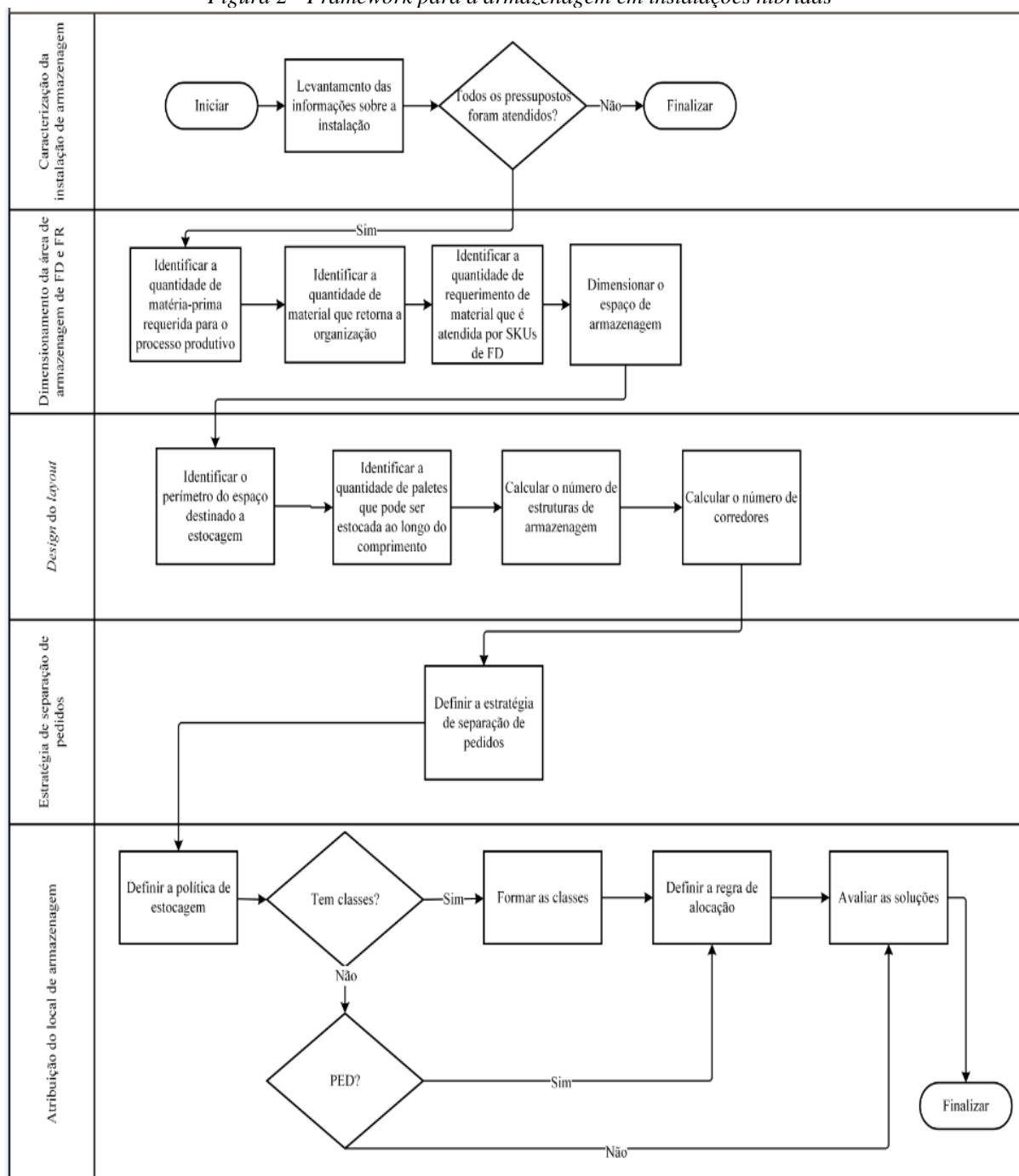
#### **3.2 Desenvolvimento do Framework**

Uma vez que o sistema de armazenagem para produtos de fluxo reverso é ainda pouco explorado, foi necessário se basear nos elementos que norteiam as decisões de armazenagem na logística de fluxo direto, adaptando para o contexto híbrido considerado. Para tanto é preciso integrar os problemas de armazenagem em um único problema de decisão, visto que, o uso conjunto desses elementos pode auxiliar os gestores a obter uma melhor utilização do espaço de armazenagem, visto que, há o compartilhamento simultaneamente com ambos os fluxos, facilitar o fluxo e reduzir os custos.

Assim, a logística de fluxo direto se baseia no *design* do *layout*, que envolve questões específicas que estão condicionados as restrições e a disponibilidade de recursos das organizações (SHARMA; SHAH, 2015), bem como as questões operacionais, que são: a estratégia de separação dos pedidos, ou seja, “como escolher as SKUs?”, os métodos de

roteamento, ou seja, “como rotear os separados de pedidos?” e a atribuição do local de armazenamento, ou seja, “como armazenar as SKUs?” (LIN; LEE, 1999; PETERSEN; AASE, 2004). Desta forma, o *framework* proposto é apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Framework para a armazenagem em instalações híbridas



Fonte: A autora (2019)

Portanto, foi necessário adaptar as decisões da logística de fluxo direto, permitindo que as mesmas fossem aplicadas no fluxo reverso, visto que, a logística reversa busca atender o cliente interno, de modo a agilizar o processo produtivo.

### 3.2.1 Caracterização da instalação de armazenagem

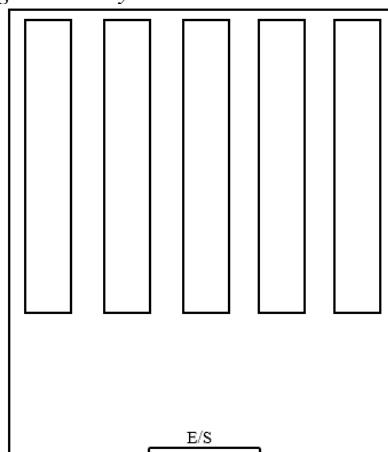
A primeira etapa do *framework* corresponde à caracterização da organização e do processo de armazenagem, visto que, para gerenciar essa instalação é necessário considerar as características da mesma. Para tanto, é fundamental realizar uma entrevista com o gestor do armazém para identificar a necessidade de material, se a instalação tem espaço suficiente para armazenar todas as SKUs, se a organização possui algum *software* de gerenciamento de estoque, se faz uso de algum método de previsão de retorno, identificar a quantidade de SKUs por palete, o perímetro do espaço de estocagem, o tipo de equipamento utilizado para recuperar/estocar, as dimensões dos paletes. Além disso, é necessário identificar se todos os pressupostos foram atendidos.

#### 3.2.1.1 Pressupostos do Framework

Para realizar a armazenagem das SKUs em instalações híbridas foi necessário definir um conjunto de pressupostos, apresentados a seguir:

- ✓ O armazém é destinado apenas à estocagem de matéria-prima que supre o processo produtivo;
- ✓ O armazém possui um *layout* tradicional, amplamente utilizado na literatura, isto é, com formato retangular e sem cruzamentos, conforme apresentado na Figura 3;
- ✓ O armazém considerado foi do tipo 2D, isto é, armazena apenas no nível do chão, sobre estrados de madeira (paletes) e não utiliza estruturas de prateleiras ou porta-paletes, conforme *layout* apresentado na Figura 3;

Figura 3 - Layout tradicional do armazém

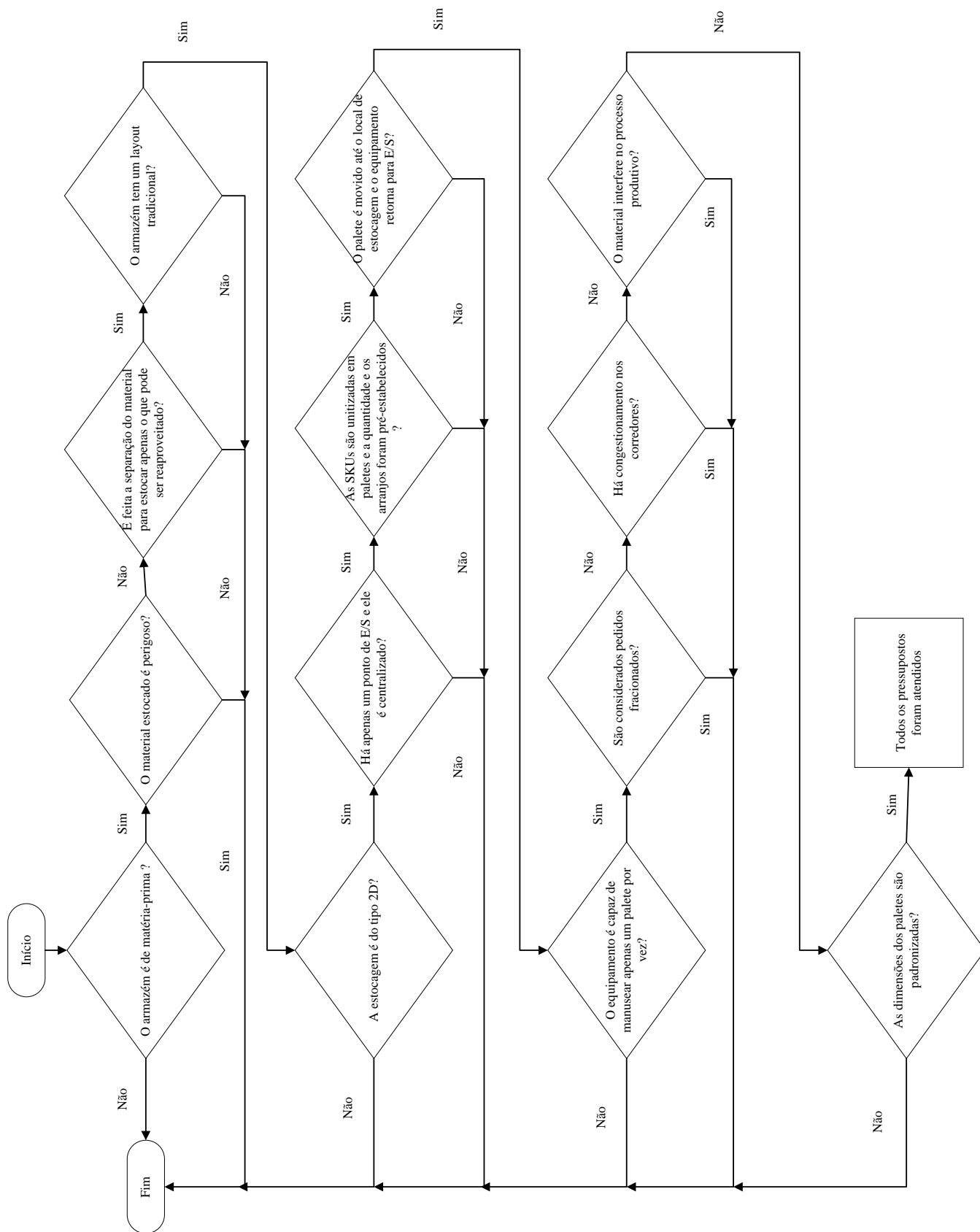


Fonte: Adaptado de Rakesh e Adil (2015)

- ✓ A instalação de armazenagem possui apenas um ponto de entrada/saída (E/S) e centralizado;
- ✓ As SKUs são unitizadas em paletes e as quantidades e arranjos foram previamente estabelecidos;
- ✓ O sistema de recuperação *single command* foi considerado;
- ✓ O equipamento de estocagem/recuperação tem capacidade para manusear apenas um palete por vez;
- ✓ Não foram considerados os pedidos de quantidades fracionadas, ou seja, menor do que a quantidade sobre o palete;
- ✓ Não há congestionamento nos corredores;
- ✓ O material usado no processo produtivo não interfere nas operações de armazenagem;
- ✓ O tamanho do palete usado é padronizado.

Assim sendo, é fundamental realizar uma entrevista com o gestor do armazém para identificar se todos os pressupostos foram atendidos. Isto pode ser feito por meio do fluxograma desenvolvida na Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma para verificação dos pressupostos



Fonte: A autora (2019)

### 3.2.2 Dimensionamento da área de armazenagem para fluxo direto e reverso

Para permitir uma melhor utilização do espaço de armazenagem e facilitar o fluxo foi importante identificar a quantidade de produtos que a instalação precisa armazenar para atender o processo produtivo. Neste contexto, ao se tratar de matéria-prima, o usual é se basear no planejamento das necessidades de materiais (MRP), para calcular as necessidades de cada material, ou SKU. De acordo com Shenoy e Bhadury (2005), essa técnica proporciona o planejamento e controle dos itens de demanda dependentes, para que as matérias-primas estejam disponíveis no momento certo e na quantidade requerida. Partindo-se do pressuposto que todas as quantidades definidas no MRP para um período  $t$  serão consumidas durante o próprio período  $t$ , e que a quantidade solicitada neste plano prevê um estoque de segurança para a variação do *lead time* de ressurgimento do fornecedor externo, pode-se considerar que a quantidade máxima de material em estoque pode ser definida através da Eq. (3.1).

$$N_{i,T} = \max N_{i,t} \quad \forall i = \{1,2, \dots, n\} \quad (3.1)$$

Em que:

$N_{i,T}$  é a quantidade máxima necessária da SKU  $i$ , em unidades, durante todo o período  $T$  considerado;

$N_{i,t}$  é a necessidade da SKU  $i$ , em unidades, durante um período  $t$ ;

$t$  representa um o período de tempo do MRP, em que  $t = \{1,2, \dots, m\}$ ;

$T$  representa o período total corresponde à análise, ou seja,  $T = \sum_1^m t$ , em que  $T \geq t$ .

Em seguida, nas instalações híbridas, é importante identificar a quantidade de SKUs que retornam à instalação. Contudo, o uso de métodos de previsão tradicionais, como por exemplo, a suavização exponencial, não é adequado para o fluxo reverso, porque as estimativas de retorno são negligenciadas (KRAPP; NEBEL; SAHAMIE, 2013a). Diante disso, Krapp, Nebel e Sahamie (2013b) desenvolveram um *framework* genérico para prever os retornos. Assim, partindo-se do pressuposto que esta previsão já foi realizada, a partir das informações dos retornos dos materiais pode-se calcular a quantidade de material retornado. Além disso, considerando que por questões econômicas o armazém prefira processar primeiramente as SKUs oriundas do fluxo reverso, pressupõem-se que todas as unidades que retornam no período  $t$  sejam utilizadas pelo processo produtivo dentro deste mesmo período. Sendo assim, a Eq. (3.2) calcula a quantidade máxima em estoque.

$$M_{i,T} = \max M_{i,t} \quad \forall i = \{1,2, \dots, n\} \quad (3.2)$$

Em que:

$M_{i,T}$  é a quantidade máxima retornada da SKU  $i$ , em unidades, durante todo o período de tempo  $T$  considerado; e

$M_{i,t}$  é a quantidade de retorno da SKU  $i$ , em unidades, durante um período  $t$ .

Diante dessas informações é possível calcular a quantidade de Matéria-Prima Primária (MPP) da SKU  $i$  que deverá ser solicitado aos fornecedores externos (fluxo direto), através da Eq. (3.3).

$$MPP_{i,t} = N_{i,t} - M_{i,t} \quad (3.3)$$

Em que:

$MPP_{i,t}$  é a quantidade de Matéria-Prima Primária da SKU  $i$ , em unidades, durante o período de tempo  $t$ .

A partir dessas informações foi possível estabelecer o espaço mínimo requerido para estocar as SKUs de ambos os fluxos durante o período  $t$ . Deve-se frisar que as SKUs são unitizadas em paletes, onde cada palete representa um espaço de armazenagem. Desta forma, as requisições de espaço para o fluxo direto (RED) e reverso (RER) podem ser obtidas pelas Eq. (3.4) e (3.5), respectivamente.

$$RED_{i,t} = \frac{MPP_{i,t}}{k_i} \quad \forall k > 0 \quad (3.4)$$

$$RER_{i,t} = \frac{M_{i,t}}{l_i} \quad \forall l > 0 \quad (3.5)$$

Em que:

$RED_{i,t}$  é a quantidade de espaço requerido para a SKU  $i$ , durante o período  $t$ , no espaço destinado para material primário, ou seja, do fluxo direto, em unidades;

$RER_{i,t}$  é a quantidade de espaço requerido para a SKU  $i$ , durante o período  $t$ , no espaço destinado para material retornado, ou seja, do fluxo reverso, em unidades;

$k_i$  é a quantidade da SKU  $i$  arranjada por palete quando for material é primário, em unidades;

$l_i$  é a quantidade da SKU  $i$  arranjada por palete quando for material é retornado, em unidades.

Assim, considerando-se um período  $T$  para a análise, a quantidade total de espaços para cada área, fluxo direto e fluxo reverso, pode ser calculada pelas Eq. (3.6) e (3.7), respectivamente.

$$RED_T = \max RED_{i,t} \quad \forall i = \{1,2,\dots,n\} \quad (3.6)$$

$$RER_T = \max RER_{i,t} \quad \forall i = \{1,2,\dots,n\} \quad (3.7)$$

Em que:

$RED_T$  é a quantidade total de espaço mínimo requerido para armazenar todos os materiais oriundos do fluxo direto, em unidades, durante o período de tempo  $T$  considerado;

$RER_T$  é a quantidade total de espaço mínimo requerido para armazenar todos os materiais oriundos do fluxo reverso, em unidades, durante o período de tempo  $T$  considerado.

### 3.2.3 Design do layout

As decisões relacionadas com o *design* do *layout* estão associadas a três variáveis: o número de blocos, o número de corredores e o número dos locais de armazenamento (DE SANTIS *et al.*, 2018). Assim, como a instalação de armazenagem possui o *layout* similar ao da Figura 3 consequentemente ela possui apenas um bloco, ou seja, existe apenas uma única área destinada à estocagem.

Em seguida, foi necessário identificar o espaço disponível para realizar a estocagem dos materiais. Desta forma, o gestor foi questionado sobre o perímetro (X, Y) do espaço do armazém destinado a estocagem dos paletes.

Assim, foi possível identificar quantos paletes podem ser estocados ao longo do comprimento do espaço destinado a armazenagem, conforme a Eq. (3.8).

$$NP = \frac{Y}{C_p} \quad (3.8)$$

Em que:

$NP$  é o número de paletes que podem ser estocados, em unidades, em cada estrutura de comprimento  $Y$ ;

$Y$  é o comprimento do espaço destinado a estocagem, em metros;

$C_p$  é o comprimento do paleta, em metros.

Somado a isso, através do número total de espaços requeridos, obtidos pelas Eq. (3.6) e (3.7), pode ser estimado um número de estruturas (E), dado em unidades, necessárias para armazenar todos os paletes oriundos de cada fluxo, conforme apresentado nas Eq. (3.9) e (3.10).

$$E_D = \frac{RED_T}{NP} \quad (3.9)$$

$$E_R = \frac{RER_T}{NP} \quad (3.10)$$

Em que:



$E_D$  é a quantidade estimada de estrutura necessárias para armazenar todas as SKUs oriundas do fluxo direto, em unidades, considerando o período de tempo  $T$ .

$E_R$  é a quantidade estimada de estrutura necessárias para armazenar todas as SKUs oriundas do fluxo reverso, em unidades, considerando o período de tempo  $T$ .

Finalmente, pode-se calcular o número de corredores ( $C$ ), dado em unidades, através da Eq. (3.11), com base no *layout* da Figura 3.

$$C = E_D + E_R - 1 \quad (3.11)$$

Contudo, deve-se calcular também a largura dos corredores, de modo que ela seja adequada ao tipo de equipamento utilizado para estocar/recuperar os paletes, ou seja, a largura do corredor deve corresponder a distância mínima necessária para que o equipamento possa fazer toda a movimentação necessária (o giro dentro do corredor). Normalmente, a largura ideal é indicada pelo fabricante do equipamento. Diante disso, a relação apresentada na Eq. (3.12) deve ser respeitada.

$$(C \times L_c) + ((E_D + E_R) \times L_p) \leq X \quad (3.12)$$

Em que:

$L_c$  é a largura do corredor, em metros;

$L_p$  é a largura do palete, em metros; e

$X$  é a largura do espaço destinado a estocagem, em metros.

Caso a condição da Eq. (3.12) não seja cumprida, deve-se rever as estimativas de requerimentos de espaço, ou o *layout* disponível para a estocagem dos materiais.

Além disso, para instalações novas sugere-se a abordagem desenvolvida por Rakesh e Adil (2015), através das adaptações dos pressupostos do modelo. No entanto, como a LR normalmente é implantada em instalações existentes foi necessário o desenvolvimento de equações que fornecessem as informações necessárias para definir o *design* do *layout* das instalações de armazenagem.

### 3.2.4 Estratégia de separação de pedidos

O modo como as SKUs são recuperadas impacta diretamente no custo de manuseio e dificulta o fluxo dentro das instalações híbridas. Como visto anteriormente, as principais

estratégias de separação de pedidos são: *single-order picking*, *order batching* e *zone picking*, entretanto é necessário considerar o perfil de cada pedido, ou seja, associado a essas estratégias está a movimentação da separação de pedidos, que se dividem em: *single-command operations* e *dual-command operations*.

Diante disso, algumas reflexões devem ser feitas. Primeiramente, o armazém de matéria-prima normalmente apresentará apenas um cliente para cada SKU (o estágio do processo produtivo). Neste caso, a impossibilidade de formação de lotes implica que a estratégia *order batching* não se aplique, sendo adequada, então, o *single-order picking*. Além disso, o armazém será dividido em pelo menos duas áreas (material do fluxo direto e reverso), porém isso, por si só, não pode ser confundido com a estratégia de *zone picking*. O *zone picking* é mais adequado quando os pedidos individuais estão acima da capacidade do selecionador que realiza a recuperação das SKUs em apenas um *tour*, não sendo viável recuperar sequencialmente até concluir o pedido (SHAH; KHANZODE, 2017b). Para esta estratégia o gestor deve-se perguntar, primeiramente, se a demanda por ressuprimento pelo processo produtivo é suficiente para haver um equilíbrio da força de trabalho quando dedicada a cada zona. No fluxo reverso, quando as SKUs retornam à instalação de armazenagem existe uma incerteza associada a quantidade, qualidade e o tipo das SKUs. Desta forma, sugere-se que o zoneamento não seja utilizado. Para os materiais do fluxo direto recomenda-se uma análise dos requerimentos. Contudo, cálculos adicionais de equilíbrio da força de trabalho devem ser realizados. Uma proposta para isto pode ser vista em De Koster, Le-Duc e Zaerpour (2012). De todo modo, não se recomenda o uso de metodologias sofisticadas e complexas por se tratar de um armazém de matéria-prima, onde a exigência do cliente é menor do que em armazéns de produtos acabados.

Por fim, deve-se observar a capacidade dos equipamentos de *picking* para definir se mais de uma unidade padrão poderá ser carregada por viagem. Em armazéns de matéria-prima o mais usual é a estocagem/recuperação de paletes inteiros. Desta maneira, pode-se empregar as estratégias de recuperação *single-command* e *dual-command* (ROODBERGEN; VIS, 2009). No entanto, duas das três operações realizadas ao adotar *dual-command* representam o *single-command* e as operações de reabastecimento são geralmente feitas através do *single-command*, por isso ele é mais usado do que o *dual-command* (ÖZTURKOGLU; GUE; MELLER, 2014). No fluxo reverso pode ocorrer das unidades retornadas não preencherem a capacidade do palete em determinado momento. Neste caso, recomenda-se reservar uma pequena área de *buffer*, onde estas ficarão aguardando outras unidades para concretizar o palete ou até serem requeridas

pela produção, ou ainda a estocagem/recuperação de paletes incompletos. Isto permitirá a conservação do padrão dos equipamentos de estocagem e de *picking*.

Assim, através da análise realizada identificou-se que a estratégia mais adequada para essa instalação é a *single-order picking*, porque o processo produtivo solicita grandes quantidades de SKUs e a movimentação é a *single-command operation*, muito utilizada para cargas unitárias e permite que a empilhadeira mova o palete até o local destinado à sua armazenagem e retorne ao ponto de E/S. Sendo assim, políticas de roteamento não serão utilizadas.

### 3.2.5 Atribuição do local de armazenagem

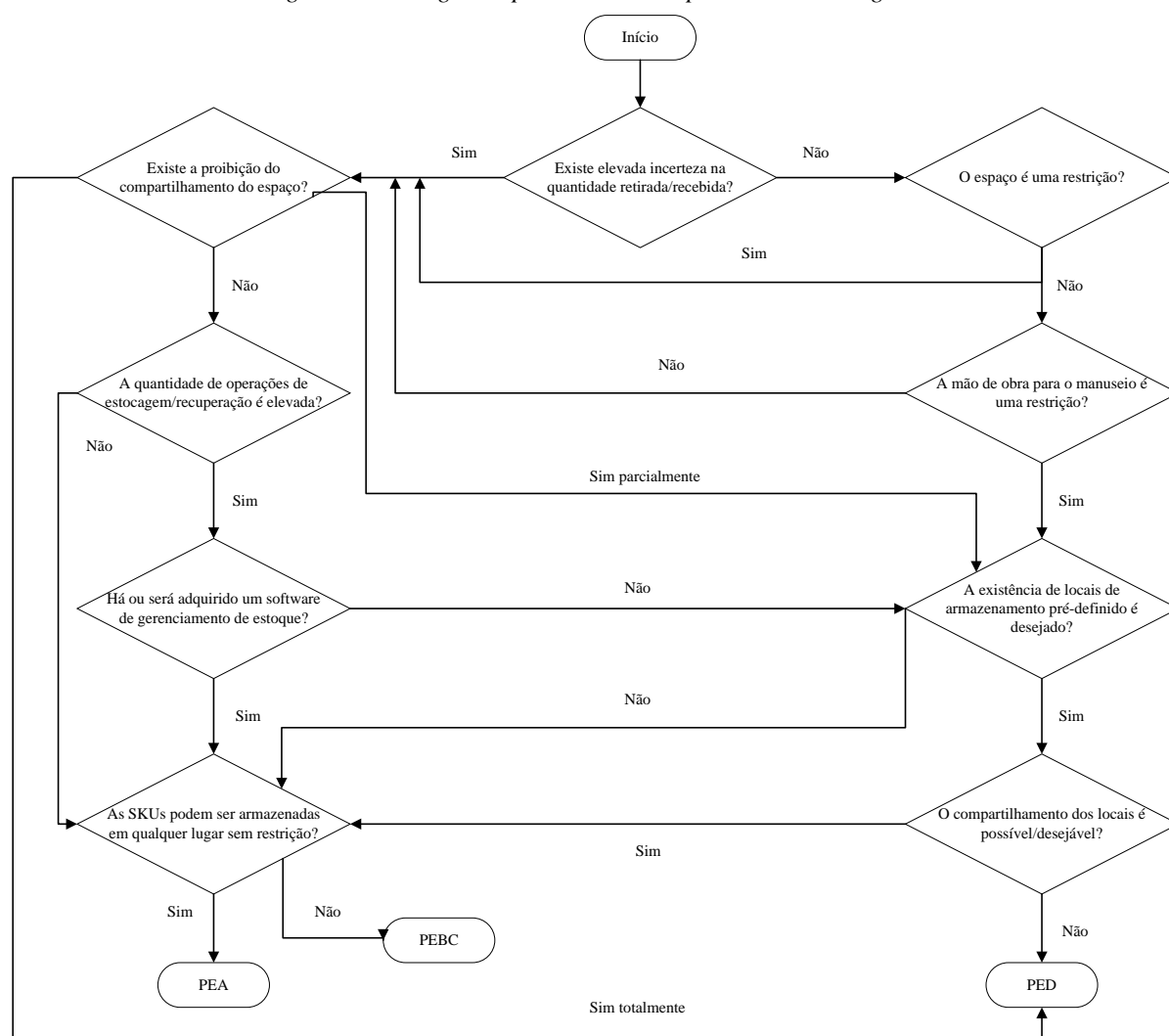
Uma vez que a atribuição das SKUs influencia na eficiência do armazém, foi necessário aprimorar as etapas definidas por Nova, Santos e Fontana (2017) de modo a incorporar também a definição da regra de alocação.

#### 3.2.5.1 Política de estocagem

Para definir a política de estocagem que mais se adequa a instalação de armazenagem é necessário considerar as particularidades da mesma. Deve-se observar, por exemplo, se a instalação possui espaço suficiente para armazenar todas as SKUs em locais pré-determinados. Caso não possua a política de estocagem dedicada (PED) não é uma opção viável, visto que ela estabelece locais fixos e reservados as SKUs. Por outro lado, se a organização não faz uso de um *software* para gerenciar o estoque, a política de estocagem aleatória (PEA) se torna inviável, especialmente quando a quantidade de operações de estocagem/recuperação for elevada, dificultando o controle visual e aumentando os custos.

Devido a estes tradicionais *trade-offs*, entre a PED e PEA, muitos autores convergem diretamente para a política de estocagem baseada em classes (PEBC), se esquecendo que devem priorizar as características do espaço de armazenagem e as preferências do seu gestor. Além disso, ao analisar o fluxo reverso deve-se considerar, também, a existência da incerteza na quantidade dos retornos, não sendo eficiente definir um espaço fixo para as SKUs, neste caso. Assim, alguns questionamentos podem ser feitos que irão auxiliar na convergência da política de estocagem mais adequada, como mostra o fluxograma da Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma para escolha da política de estocagem



Fonte: A autora (2019)

Deve-se destacar que a Figura 5 auxilia na convergência da política de estocagem mais adequada, mas ela por si só não garante a otimalidade da decisão. Assim, pode-se fazer uso de metodologias que sejam capazes de contabilizar os custos associados, como proposto por Muppani e Adil (2008a; 2008b), por exemplo.

Além disso, pode-se ver, analisando a Figura 5, que existem três resultados básicos: PED, PEA e PEBC. Uma vez que a PEA permite que as SKUs recebidas sejam alocadas a qualquer local vazio, geralmente, nenhuma regra de priorização na atribuição dos locais é considerado. Excepcionalmente pode-se fazer uso quando várias SKUs chegam no mesmo período e se quer estabelecer alguma ordenação de estocagem.

Por outro lado, nas PED e PEBC é importante estabelecer alguma regra para priorizar a ordem de alocação, bem como, no caso da PEBC, estabelecer quais SKUs podem ficar juntas. Para isso, alguns critérios são comumente utilizados, como descritos na revisão da literatura e sintetizados no Quadro 5 para o fluxo direto.

Quadro 5 - Critérios para a formação de classes no fluxo direto

Autores	Critérios					
	Máximo inventário ou Espaço	Popularidade	Peso	Requisitos do Cliente	Volume	Rentabilidade ou Volume de Negócios
<i>Muppani e Adil (2008a)</i>	X	X				
<i>Muppani e Adil (2008b)</i>	X	X				
<i>Chan e Chan (2011)</i>						
<i>Da Silva, De Vasconcelos e Cavalcante (2015)</i>				X	X	X
<i>Fontana e Cavalcante (2013a)</i>	X	X		X		X
<i>Fontana e Cavalcante (2013b)</i>	X	X		X		
<i>Fontana e Cavalcante (2014a)</i>						
<i>Fontana e Cavalcante (2014b)</i>	X	X				
<i>Guerriero et al. (2013)</i>						
<i>Fontana e Nepomuceno (2017)</i>		X	X			X
<i>Dijkstra e Roodbergen (2017)</i>						X
<i>Zhang et al. (2017)</i>	X	X				

Fonte: A autora (2019)

A escolha do critério do Quadro 5 deve ir de encontro as características do armazém e as preferências do gestor. Além disso, eles foram usados em armazéns ou centros de distribuição de produtos acabados, ou seja, que serão expedidos para os clientes externos. No caso aqui estudado, trata-se de um armazém de matéria-prima, enviado para o cliente interno ou processo

produtivo da empresa. Desta forma, critérios como rentabilidade/volume de negócios pode ser substituído pelo custo operacional, por exemplo.

Ademais, no Quadro 5 as variáveis consideradas nos índices COI, CIC e COIC, por exemplo, foram relatadas separadamente para os autores Muppani e Adil (2008a; 2008b), Chan e Chan (2011), Chuang *et al.* (2012), Fontana e Cavalcante (2013a), Fontana e Cavalcante (2014) e Zhang *et al.* (2017). Porém, apesar do uso destes índices permitir a consideração de duas ou mais característica das SKUs, isso acaba resultando em uma compensação entre elas (NOVA; FONTANA, 2018). Devido a isso, alguns trabalhos propuseram o uso de métodos multicritérios como Da Silva, De Vasconcelos e Cavalcante (2015), Fontana e Cavalcante (2013b) e Fontana e Nepomuceno (2017). No fluxo reverso, no entanto, o uso desses índices se tornou inadequado devido à incerteza associada a taxa de retorno e a qualidade das SKUs.

Da mesma forma, para as SKUs de fluxo reverso, os critérios podem ser definidos a partir de aspectos operacionais, econômicos e as características das SKUs. Contudo, a revisão da literatura não retornou trabalhos desenvolvidos neste sentido. Assim, com base nos motivadores e barreiras da logística reversa, foi proposto aqui os critérios apresentados no Quadro 6.

*Quadro 6 - Critérios para a formação das classes no fluxo reverso*

<b>Operacionais</b>	<b>Econômicos</b>	<b>Características das SKUs</b>
Criticidade para o processo produtivos	Margem = Custo da matéria prima nova – custo do material reverso	Qualidade dos retornos
Máximo inventário ou espaço requerido	Custo do espaço	
Popularidade	Custo da Mão-de-obra	

*Fonte: A autora (2019)*

No entanto, cabe ao gestor definir os critérios que devem ser considerados para estabelecer a política baseada em classes. Vale ressaltar que estes critérios, tanto do fluxo direto como reverso, podem também ser incorporados a modelos combinatórios na geração de alternativas de PEBC. Além disso, os critérios também podem ser usados para estabelecer a ordem de alocação das SKUs ou classes dentro do armazém, para as políticas PED e PEBC, respectivamente.

### 3.2.5.2 Formação de classes

Como afirmado na revisão da literatura, comumente o problema de formação de classes e atribuição de locais de armazenagem faz uso de análise combinatória, gerando  $n^n$  diferentes maneiras, ou seja, trata-se de um problema NP-complexo. Por este fato, a literatura apresenta diversas metodologias que são utilizadas, como: metaheurísticas e inteligência artificial; modelos de otimização e métodos multicritérios. Porém, o uso das metaheurísticas e da inteligência artificial, na prática, não são fáceis de usar; já os métodos de otimização não consideram critérios qualitativos (TORABI; HATEFI; PAY, 2012), além de requerer um elevado esforço computacional.

Assim, como o processo de decisão envolve muitos critérios, na maioria das vezes conflitantes, torna-se incoerente tomar as decisões baseado apenas na intuição e no conhecimento empírico do decisor. Desta forma, o decisor precisa fazer uso de uma metodologia que incorpore aspectos quantitativos e qualitativos (SITORUS; CILLIERS; BRITO-PARADA, 2019). Diante disso, Govindan e Jepsen (2016) destacaram o uso de *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) que permite gerenciar o caráter conflitante dos critérios, proporcionando uma decisão estruturada. Portanto, de acordo com Isen e Boran (2018), uma das técnicas bastante eficiente para categorizar as SKUs são os métodos multicritérios.

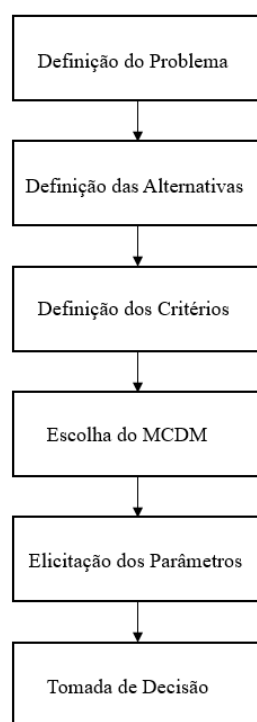
Neste sentido, no fluxo direto, alguns estudos fizeram uso de métodos multicritérios de apoio a decisão (MCDM) para agregar as SKUs em classes predefinidas pelo método ELECTRE TRI (FONTANA; CAVALCANTE, 2013a; FONTANA e NEPOMUCENO, 2017); escolha da alternativa de PEBC pelo método PROMETHEE I e II (FONTANA; CAVALCANTE, 2014a); ou para atribuir os locais de armazenamento para as classes ou SKUs pelo método SMARTER combinado com o método lexicográfico (DA SILVA; DE VASCONCELOS; CAVALCANTE, 2015) ou pelo método ELECTRE III (FONTANA e NEPOMUCENO, 2017).

Outra questão pertinente é o fato das organizações terem tornado popular o uso da curva ABC para a formação de classes no gerenciamento dos estoques, ao mesmo tempo em que usam esta categorização para a atribuição de locais de armazenamento a estas classes. Normalmente, esta curva ABC permite classificar as SKUs em três classes, com base no princípio de Pareto (PARK; BAE; BAE, 2014), tradicional, faz isto considerando um único critério de acordo com as características das SKUs. Porém, considerar apenas um critério tornou-se irrealista, podendo ocasionar perdas financeiras (GHORABAEE *et al.*, 2015; ISEN; BORAN, 2018). Conseqüentemente, é interessante incorporar outros critérios, tanto qualitativos quanto

quantitativos (TORABI; HATEFI; PAY, 2012). Ademais, além de características intrínsecas a gestão de estoques, considerar características operacionais do armazém é necessário para se chegar a uma atribuição dos locais de armazenamento mais adequada. Esta situação reforça a adequabilidade dos métodos MCDM.

Portanto, o uso de um MCDM para formação das classes pode ser sintetizado na Figura 6.

Figura 6 - Formação de classes pelo uso de um MCDM



Fonte: A autora (2019)

Primeiramente o problema deve ser claramente exposto e compreendido os processos do armazém. Depois disso, é feito o levantamento dos objetivos, dos critérios e das alternativas do decisor. No caso deste estudo, uma alternativa 'a' é representada por uma SKU. Em seguida é feita a escolha do MCDM de acordo com a racionalidade do decisor. Para a aplicação do método multicritério escolhido o decisor precisa estabelecer os parâmetros necessários, tais como pesos, limiares e entre outros. Por fim, a solução é apresentada ao decisor. Caso ele não esteja satisfeito, recomenda-se voltar etapas e rever suas preferências.

Contudo, a escolha do método MCDM depende de várias características do problema, dentre elas a natureza das alternativas, os critérios e a racionalidade do decisor. Desta forma, podem-se destacar os métodos multicritérios utilizados para distribuir as alternativas em categorias predefinidas, isto é, para problemática de classificação são: AHPSORT, UTADIS,



ELECTRE TRI, FlowSort e PROMSORT (ISHIZAKA; PEARMAN; NEMERY, 2012). O AHPSORT realiza julgamentos critério a critério, exigindo mais experiência do decisor, resultando em julgamentos mais demorados, sendo viável utiliza-lo em situações onde o resultado possui alguma incoerência, após ser validado pelo decisor (LEME, 2017). No UTADIS faz-se necessário deduzir a função utilidade para cada critério e possui racionalidade compensatória (ISHIZAKA; PEARMAN; NEMERY, 2012). Os métodos ELECTRE TRI, FlowSort e PROMSORT são classificados como métodos de sobreclassificação. De Almeida (2013) apresentou algumas características desses métodos como: apresentam uma racionalidade não compensatória, permitem a incorporação de incomparabilidade na estruturação de preferência do decisor e não realizam a agregação analítica para definir o *score* para cada alternativa.

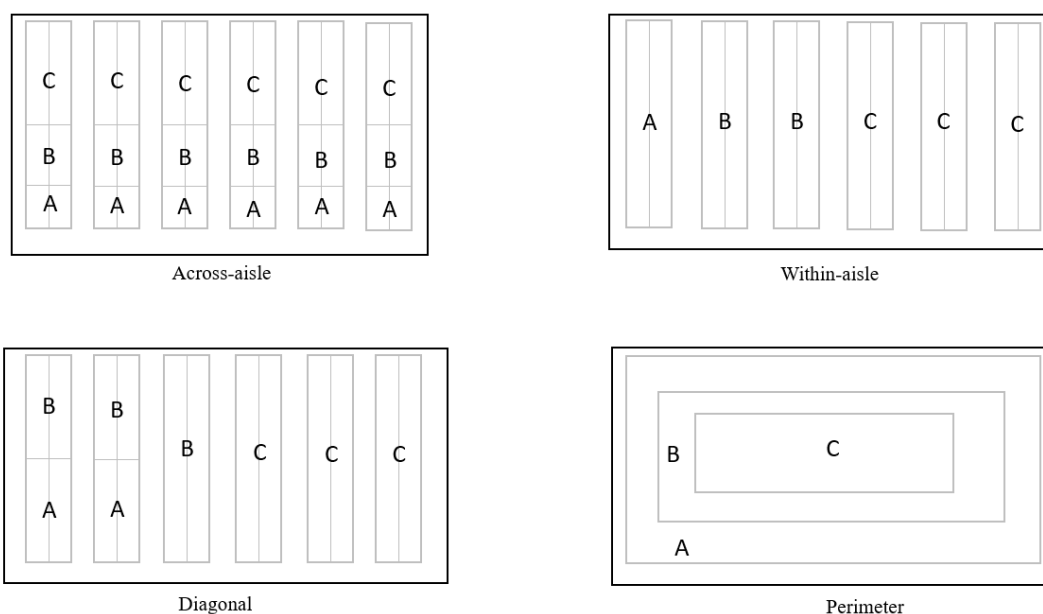
O PROMSORT as alternativas são ordenadas a partir das categorias, porém pode ocorrer situações onde as alternativas não são atribuídas a nenhuma classe (VIANA; ALENCAR, 2015). Além disso, Pelissari *et al.* (2019) argumentaram que as atribuições estabelecidas pelo PROMSORT não são independentes. O ELECTRE TRI realiza comparações sucessivas de cada alternativa potencial com uma alternativa de referência. Porém, a dificuldade associada ao seu uso está em o decisor elicitar os vários parâmetros de preferências, visto que, o mesmo apresenta dificuldade em entender as implicações que os valores definidos para os parâmetros possuem sobre a solução do problema analisado (SZAJUBOK; MOTA; DE ALMEIDA, 2006).

O FlowSort apresenta atribuições independentes e categorias ordenadas, contudo os parâmetros de entrada precisam ser definidos através de valores quantitativos e nítidos, dificultando seu uso na presença de informações imprecisas ou incerteza (PELISSARI *et al.*, 2019).

### 3.2.5.3 Regras de alocação de itens nos locais de armazenamento

Outra questão importante são as regras de alocação dos itens dentro dos locais de armazenamento, que pode ser basicamente: *perimeter*, *within-aisle*, *across-aisle*, *diagonal*, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Regras de alocação para armazenagem baseada em classes



Fonte: Adaptada de Petersen e Schmmer (1999) e Quader e Castillo-Villar (2018)

De acordo com os estudos de Berglund e Batta (2012), a escolha da regra de alocação está associada com o tamanho da lista de pedidos, conforme apresentado no Quadro 7.

Quadro 7 - Influência do tamanho da lista de pedidos na regra de alocação

Regras de alocação	Tamanho da lista de pedidos
<i>Across-aisle</i>	$N \leq 30$
Diagonal	$N = 2$
<i>Within-aisle</i>	$N \geq 40$

Fonte: Adaptado de Berglund e Batta (2012)

Apesar da diagonal ser eficiente para listas menores, as regras mais utilizadas são: *across-aisle* e *within-aisle* (CHAN; CHAN, 2011). Contudo, ainda que a *within-aisle* reduza o número de viagens no sentido leste-oeste, ela aumenta a distância percorrida no sentido norte-sul quando comparado a *across-aisle* (BERGLUND; BATTA, 2012).

Assim, como a instalação de armazenagem estudada, é do tipo 2D, estoca apenas matéria-prima e busca suprir apenas o processo produtivo, conseqüentemente, o tamanho das listas de pedidos tem, em geral, um número pequeno paletes, desta forma, recomenda-se a regra de alocação *across-aisle*. Esta alocação também auxilia na gestão de estoques, uma vez que essa regra permite que os produtos mais importantes sejam estocados no início dos corredores,

ou seja, mais próximo do ponto de E/S. Para os armazéns do tipo 3D sugere-se uma análise no estudo desenvolvido por Pan, Wu e Chuang (2014).

#### 3.2.5.4 Avaliação das soluções

A maneira como as SKUs estão dispostas, localizadas, podem resultar em níveis diferentes de eficiência para a instalação de armazenagem. Diante disso, quando há mais de uma solução para a localização das SKUs ou classes, elas devem ser avaliadas quanto a sua eficiência. Para tanto, alguns indicadores de desempenho são usados, os mais comuns são: custo operacional, tempo e/ou distância percorrida para separação de pedidos e espaço utilizado. Exemplificando, pode-se fazer este comparativo entre a solução da versão pessimista e otimista do ELECTRE TRI. Em alguns modelos, estes indicadores são incorporados aos métodos de otimização (FONTANA; CAVALCANTE, 2013b; FUMI; SCARABOTTI; SCHIRALDI, 2013), heurísticos (MUPPANI; ADIL, 2008a; 2018b; LI; CHEN; LIU, 2008; GUERRIERO *et al.*, 2013; ZHANG *et al.*, 2017) ou MCDM (DE VASCONCELOS; CAVALCANTE, 2015; FONTANA; CAVALCANTE, 2014b).

Da mesma maneira, no fluxo reverso, pode-se utilizar a análise do custo de manuseio para avaliar o desempenho das soluções para obter a redução dos custos e facilitar o fluxo na instalação. Esta análise pode-se basear na proposição de Muppani e Adil (2008a), que serve também para o fluxo direto.

Para visualizar essa análise, considere um conjunto com quatro SKUs, tal que  $F = \{p_1, p_2, p_3, p_4\}$ , possuem as características definidas na Tabela 1. Para este caso, considerou-se um *layout* similar ao da Figura 3, em apenas 02 dimensões (2D) e com 5 colunas.

Tabela 1 - Dados para análise do custo de manuseio

<i>SKUs</i>	<i>Quantidade mantida em estoque (un.)</i> (a)	<i>Quantidade por palete (un.)(l)</i>	<i>Espaço (m<sup>2</sup>)*</i> $\left[\frac{a}{l}\right]$	<i>Demanda do cliente</i> (em paletes)
<i>P1</i>	50	20	3	25
<i>P2</i>	120	24	5	8
<i>P3</i>	250	25	10	4
<i>P4</i>	175	25	7	10

Um espaço corresponde a 1m<sup>2</sup> equivalente a dimensão do palete.

Fonte: A autora (2019)

Assim, observado a Tabela 1 a quantidade de espaço que deve ser reservado para cada SKU é uma relação entre as dimensões dos itens e a quantidade normalmente em estoque. Como

esta quantidade pode mudar num determinado horizonte de planejamento, é usual considerar mais de um período temporal. Para mais detalhes ver Muppani e Adil (2008a). Além disso, como foi utilizado a armazenagem 2D e considerado a unitização dos itens em paletes (paletização), esta dinâmica permitiu realizar uma adaptação, onde o número de paletes formado é equivalente ao espaço, ou seja, no caso apresentado a SKU P1 teria 3 paletes no estoque no período analisado. Ressalta-se que a quantidade armazenada pode ser maior ou menor do que a demanda, devido ao giro de estoque. Este giro deve ser considerado previamente ao calcular a quantidade de itens mantida em estoque.

Desta forma, suponha que o gestor teve três soluções para analisar:  $PED = \{p_2, p_3, p_4, p_1\}$ ,  $PEBC = \{p_2 + p_3; p_1 + p_4\}$  e  $PEA = \{p_2 + p_3 + p_1 + p_4\}$ . A Tabela 2 demonstra os cálculos do custo de manuseio dado pela distância percorrido em um sistema de separação de pedidos pelas estratégias *single-command operations* e *single-order picking*. Aqui, considerou-se que a probabilidade da escolha de um espaço fixo para um item da SKU/classe seja igual para todos os itens daquela SKU/classe. Desta forma, a distância média pode ser calculada pela média simples, resultando em uma aproximação adequada para a comparação no tipo de sistema de separação de pedido considerado. Para outras estratégias deve-se considerar outros tipos de médias. Além disso, aqui considerou-se que apenas uma unidade da SKU pode ser recuperada do local de armazenamento por viagem. Desta forma, a demanda do cliente será equivalente a popularidade do item. Por fim, a regra de alocação adotada foi a *across-aisle*.

Tabela 2 - Análise do custo de manuseio

SKUs	Demanda do cliente – un. (d)	Espaço - m <sup>2</sup> (b)	Linha - m ( $\frac{b}{a} = c$ )*	Distância média - m (d)	Distância total – m** dt = 2 × (d × a)	Custo de manuseio (ex: R\$ 0,05/m)
<b>Política de estocagem Dedicada</b>						
P2	8	5	1	$= \frac{5 \times 0,5}{5} = 0,5$	8	0,40
P3	4	10	2	$= \frac{5 \times (1,5 + 2,5)}{10} = 2$	16	0,80
P4	10	7	2	$= \frac{(5 \times 3,5) + (2 \times 4,5)}{7} = 3,78$	75,6	3,78
P1	25	3	1	$= \frac{3 \times 4,5}{3} = 4,5$	225	11,25

<b>TOTAL</b>						<b>16,23</b>
<b>Política de estocagem Baseada em classe</b>						
P2 + P3	12	15	3	$= \frac{5x(0,5 + 1,5 + 2,5)}{15} = 1,5$	36	1,80
P1 + P4	35	10	2	$= \frac{5x(3,5 + 4,5)}{10} = 4$	280	14,00
<b>TOTAL</b>						<b>15,80</b>
<b>Política de estocagem Aleatória</b>						
P1+P2 +P3+P4	47	25	5	$= \frac{5x(0,5 + 1,5 + 2,5 + 3,5 + 4,5)}{25} = 2,5$	235	<b>11,75</b>

Onde:  $\alpha$  é o número de colunas de armazenagem, considerou-se  $\alpha = 5$ . \*Considerou cada espaço de armazenagem com 1m<sup>2</sup> de dimensão; \*\*Considera ida e volta da E/S ao local de armazenamento.

*Fonte: Adaptado de Muppani e Adil (2008a)*

Essa análise deve ser realizada em todas as soluções admissíveis, de modo a permitir identificar aquela mais eficiente. Considerando apenas este custo a solução PEBC seria a escolhida. Ao considerar diferentes períodos de tempo para o requerimento de espaço, a quantidade dele pode variar conforme a solução, o que não foi o caso deste exemplo.

Ademais, neste momento é importante verificar se o gestor ficou satisfeito com a solução encontrada. Caso contrário, recomenda-se verificar parâmetros e variáveis adotados nas metodologias em etapas anteriores.

### 3.3 Síntese Conclusiva

Neste capítulo foi apresentado o *framework* para a armazenagem de produtos reversos em instalações híbridas, onde seu desenvolvimento se deu a partir dos elementos que norteiam a armazenagem no fluxo direto.

Desta forma, a estrutura conceitual integrativa permitiu incorporar as decisões do *design* e do gerenciamento operacional, auxiliando no processo de tomada de decisão em instalações híbridas. Além disso, destaca-se o uso de uma abordagem multicritério para formar as classes e a utilização do custo de manuseio para realizar a avaliação das soluções.

Assim, no capítulo 4 será apresentada uma simulação, bem como os resultados obtidos por meio da ferramenta de decisão descrita neste capítulo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na seção anterior foi proposto um *framework* para armazenar as SKUs de fluxo reverso em instalações híbridas. Contudo, é importante demonstrar sua aplicação para validar sua efetividade, permitindo, assim, auxiliar os gestores no processo de tomada de decisão. Para tanto, neste capítulo foi apresentado uma simulação baseada em casos estudados na literatura e na sequência serão analisados os resultados.

### 4.1 Aplicação do framework

O *framework* proposto foi aplicado a um exemplo numérico para realizar a armazenagem das SKUs de fluxo reverso em uma instalação híbrida. Desta forma, os dados usados buscaram proporcionar um caráter realístico, de modo a auxiliar os gestores no processo de tomada de decisão.

#### 4.1.1 Caracterização da instalação de armazenagem simulada

A organização WX possui 06 SKUs em seu portfólio, sendo necessárias 09 matérias-primas distintas para sua fabricação. Ela possui uma instalação de armazenagem híbrida, compartilhando o espaço e os recursos com as matérias-primas primárias e as derivadas do retorno dos produtos, destaca-se que o material estocado não é perigoso. Assim, para gerenciar os processos utiliza-se o *Warehouse Management System* (WMS) do *Enterprise Resource Planning* (ERP), que consiste em um sistema de gestão integrada voltado para instalações de armazenagem, cujo objetivo é agilizar o fluxo de informações, bem como melhorar a operacionalidade da instalação (GUARNIERI *et al.*, 2006). O armazém foi caracterizado como do tipo 2D, ou seja, realiza a armazenagem horizontal, possui o *layout* apresentado na Figura 3 e o custo de manuseio considerado, baseado em Muppani e Adil (2008a), foi de R\$ 0,07/metro.

Devido à incerteza associada as SKUs de fluxo reverso, foi realizada a previsão dos retornos. Além disso, o material secundário passa por um processo de separação, onde apenas o que pode ser reaproveitado foi direcionado para o armazém. Consequentemente, a matéria-prima secundária foi unitizada em paletes, cujas as dimensões foram padronizadas de  $1m \times 1m$ . Apesar do material não interferir no processo produtivo, não são recuperados pedidos fracionados. A movimentação desses paletes foi realizada por meio de paleteiras manuais, que tem capacidade de manusear apenas um palete por vez. Além disso, os paletes são movidos até o local de estocagem e o selecionador retorna ao ponto de E/S, não havendo congestionamento nos corredores.

Portanto, a partir das informações obtidas e da análise fornecida pela Figura 4, concluiu-se que todos os pressupostos foram atendidos. Desta forma, a Tabela 3 apresenta os parâmetros dessa instalação.

Tabela 3 - Parâmetros da instalação de armazenagem

Parâmetros da instalação	
Dimensões do espaço de armazenagem	11 m x 34m
Configuração dos paletes	1 m x 1 m
Largura do corredor (Lc)	1,7 m

Fonte: A autora (2019)

#### 4.1.2 Dimensionamento da área de armazenagem

Através da Eq. (3.1) identificaram-se as necessidades de cada material, conforme apresentado na Tabela 4. Neste caso considerou-se um período  $T = 4$ .

Tabela 4 - Planejamento das necessidades dos materiais - demanda dependente

Matéria-prima	Quantidade requerida ( $N_{i,t}$ )			
	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 4$
MP1	350	166	88	185
MP2	176	122	103	190
MP3	120	137	135	134
MP4	141	104	162	143
MP5	123	249	104	105
MP6	80	96	107	78
MP7	280	175	193	194
MP8	270	229	299	30
MP9	471	399	341	262

Fonte: A autora (2019)

Associado a isso, para o mesmo período de análise e considerando estimativas de retorno, foi calculada a quantidade máxima de matéria-prima secundária retornada no período  $T$ , por meio da Eq. (3.2), como retratado na Tabela 5.

Tabela 5 - Quantidade de matérias que retornaram ao processo produtivo – demanda independente

Matéria-prima	Quantidade estimada de retorno ( $M_{i,t}$ )				$M_{i,T}$
	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 4$	
MP1	120	80	0	90	120
MP2	88	22	37	124	124
MP3	0	47	0	0	47
MP4	40	20	36	60	60
MP5	48	24	0	0	48

MP6	0	0	11	0	11
MP7	42	21	63	62	63
MP8	0	19	0	0	19
MP9	51	119	101	102	119

Fonte: A autora (2019)

Diante disso, através da Eq. (3.3) foi calculado a quantidade de matéria-prima primária que deverá ser solicitada aos fornecedores, como pode-se observar na Tabela 6.

Tabela 6 - Quantidade de matéria-prima primária que será comprada

Matéria-prima	Quantidade solicitada aos fornecedores externos ( $MPP_{i,t}$ )				$MPP_{i,T}$
	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 4$	
MP1	230	86	88	95	230
MP2	88	100	66	66	100
MP3	120	90	135	134	135
MP4	101	84	126	83	126
MP5	75	225	104	105	225
MP6	80	96	96	78	96
MP7	238	154	130	132	238
MP8	270	210	299	30	299
MP9	420	280	240	160	420

Fonte: A autora (2019)

Como foi realizado a unitização das SKUs em paletes, o espaço necessário é equivalente à quantidade de paletes. Desta forma a Tabela 7 apresentou a quantidade de SKUs por paleta, para ambos os fluxos, conforme definição prévia.

Tabela 7 - Quantidade de SKUs por paleta

Matéria-prima	Quantidade de itens por paleta (un.)	
	Fluxo Direto	Fluxo Reverso
MP1	11	30
MP2	22	22
MP3	15	25
MP4	21	20
MP5	21	24
MP6	16	11
MP7	22	21
MP8	30	19
MP9	20	17

Fonte: A autora (2019)

Assim, a partir dessas informações podem-se calcular as requisições de espaços, através do uso das Eq. (3.4) e Eq. (3.5), onde a Tabela 8 corresponde ao fluxo direto e a Tabela 9 para o fluxo reverso.



Tabela 8 - Espaço requerido para o fluxo direto

Matéria-prima	Quantidade espaço requerido em paletes ( $RED_{i,t}$ )				$RED_{i,T}$
	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 4$	
MP1	21	8	8	9	21
MP2	4	5	3	3	5
MP3	8	6	9	9	9
MP4	5	4	6	4	6
MP5	4	11	5	5	11
MP6	5	6	6	5	6
MP7	11	7	6	6	11
MP8	9	7	10	1	10
MP9	21	14	12	8	21

Fonte: A autora (2019)

Tabela 9 - Espaço requerido para o fluxo reverso

Matéria-prima	Quantidade espaço requerido em paletes ( $RER_{i,t}$ )				$RER_{i,T}$
	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 4$	
MP1	4	3	0	3	4
MP2	4	1	2	6	6
MP3	0	2	0	0	2
MP4	2	1	2	3	3
MP5	2	1	0	0	2
MP6	0	0	1	0	1
MP7	2	1	3	3	3
MP8	0	1	0	0	1
MP9	3	7	6	6	7

Fonte: A autora (2019)

Portanto, através das Eq. (3.6) e Eq. (3.7), foram definidos  $RED_T = 100$  espaços para o fluxo direto e  $RER_T = 29$  espaços para o fluxo reverso.

#### 4.1.3 Design do Layout

Conforme apresentado na literatura para definir o *design* do *layout* é necessário estabelecer três elementos: o número de blocos, o número de corredores e a quantidade de locais para armazenagem. Desta forma, a instalação, aqui definida, possui o *layout* apresentado na Figura 3, conseqüentemente, possui apenas um bloco (única área de estocagem, sem zonas).

Assim, como pode-se observar o espaço destinado a armazenagem foi definido com um perímetro de 45m. Para tanto, através da Eq. (3.8) pode-se identificar que é possível estocar 34 paletes ao longo do comprimento desse espaço, visto que, o comprimento do palete utilizado foi de 1m. Para calcular o número de estruturas foi utilizado a Eq. (3.9) e Eq. (3.10), onde se obteve 03 estruturas para o fluxo direto e 01 estruturas para o fluxo reverso. Desta forma, por

meio da Eq. (3.11) foi calculado o número de corredores, isto é,  $C=03$  corredores. Portanto, a partir da Eq. (3.12) identificou-se que a relação foi respeitada.

Em síntese, o armazém possui 03 corredores e 04 estruturas, das quais 03 foram destinadas ao fluxo direto e 01 para o fluxo reverso. Vale ressaltar que esta configuração foi definida considerando apenas o período  $T$ .

#### 4.1.4 Estratégia de separação das SKU

Para definir a estratégia de recuperação é necessário considerar o perfil dos pedidos. Assim, como relatado anteriormente, como o caso aqui estudado corresponde a um armazém de matéria-prima que atende a apenas um cliente (o processo produtivo), a estratégia de *order batching* não se aplica. Além disso, existe um alto nível de incerteza sobre os retornos associada a quantidade e o tipo de SKU, não sendo adequado dedicar selecionadores e equipamentos para cada zona. Desta forma o *zone picking* também não é recomendado. Consequentemente, a estratégia *single-order picking* é a mais adequada.

Além disso, para simplificar a movimentação, de modo que o equipamento transporte o palete até o local destinado e retorne ao ponto de E/S, identificou-se que a estratégia mais adequada para realizar a movimentação é *single-command*, visto que, duas das operações do *dual-command* são *single-command*.

#### 4.1.5 Atribuição do local de armazenagem

Para facilitar o fluxo de produtos nessa instalação, reduzir os custos com manuseio e melhorar a utilização dos espaços, foram implementadas as etapas desenvolvidas na Figura 2, relacionadas com a atribuição das SKUs ao local de armazenagem.

##### 4.1.5.1 Política de estocagem

Nessa etapa, o decisor precisa identificar a política de estocagem que mais se adequa a instalação, dessa forma foram feitos os questionamentos apresentados na Figura 5 para auxiliá-lo nessa decisão.

Neste caso, supôs-se uma situação com elevada incerteza na quantidade de SKUs que retornam à instalação e não há proibição do compartilhamento do espaço entre materiais oriundos do mesmo fluxo. Além disso, a quantidade de operações de estocagem/recuperação é elevada, visto que, a instalação realiza a estocagem apenas de matéria-prima. Apesar da instalação fazer uso do *software* WMS, o decisor não se mostrou favorável para realizar a estocagem das SKUs em qualquer lugar vazio, visto que, os selecionadores acabam percorrendo longas distâncias para recuperar as SKUs solicitadas.

Diante disso, identificou-se que a política de estocagem que está mais atrelada as preferências deste decisor foi a baseada em classes para ambos os fluxos. Assim, é necessário definir um local para cada classe. Vale ressaltar que o decisor poderia adotar políticas distintas para cada fluxo de material.

#### 4.1.5.2 Formação de classes

Aqui, para efeito de demonstração, foram considerados apenas os materiais do fluxo reverso, mas o raciocínio é o mesmo para os materiais do fluxo direto, apenas adequando os critérios de avaliação que podem ser diferentes.

Desta forma, com o intuito de auxiliar na gestão dos estoques e no SLAP, foi utilizado o conceito da curva ABC para formar as classes, assim como descrito na seção 3.2.5.2. Para tanto, o Quadro 6, com os critérios para a formação das classes, foi apresentado ao decisor, para que ele pudesse delimitar qual ou quais deles são relevantes. Neste caso definiram-se como determinantes os critérios:

- ✓ Cr<sub>1</sub> - Criticidade: este critério representa o grau de criticidade que a demora no suprimento deste material pode trazer para o processo produtivo (cliente). Assim, quanto maior o desempenho nesse critério mais próximo o material vai estar do ponto E/S, desta forma, mais facilmente o cliente será atendido e em um menor tempo. As soluções podem ser avaliadas em relação a frequência do uso do material e a consequência no processo produtivo (cliente), como sugere o Quadro 8.

Quadro 8 - Escala utilizada para o critério criticidade

Cardinal	Escala verbal	Significado
5	Muito alta	Componente frequentemente utilizado no início do processo, com <i>lead time</i> curto. A demora no suprimento pode ocasionar a parada de todo o processo produtivo com grande probabilidade.
4	Alta	Componente frequentemente utilizado no início do processo, com <i>lead time</i> longo. A demora no suprimento pode ocasionar a parada de todo o processo produtivo com baixa probabilidade.
3	Médio	Componente frequentemente utilizado no meio do processo, com <i>lead time</i> curto. A demora no suprimento pode ocasionar a parada de uma parte do processo produtivo com grande probabilidade.
2	Baixa	Componente frequentemente utilizado no meio do processo, com <i>lead time</i> longo. A demora no suprimento pode ocasionar a parada de uma parte do processo produtivo com baixa probabilidade.
1	Muito baixa	Componente pouco utilizado e/ou o processo apresenta um <i>lead time</i> de espera longo. A demora no suprimento deste item não causa ou raramente causa danos ao processo produtivo.

Fonte: A autora (2019)

- ✓ Cr<sub>2</sub> - Demanda: corresponde a quantidade que o processo produtivo solicita do material reverso. Seus valores são definidos pelas ordens de produção em consonância com o MRP. Neste caso, quanto maior for a demanda de um material, maior tende a ser a sua popularidade, conforme a estratégia *single-command*. Assim, deseja-se alocar os materiais com maior demanda mais próximos a E/S.
- ✓ Cr<sub>3</sub> - Espaço: esse critério está relacionado com o espaço reservado para estocar o material reverso. Neste caso, quanto menor o requerimento de espaço, menor tende a ser a distância percorrida até o próximo SKU e, conseqüentemente, este deve ser alocado mais próximo da E/S.
- ✓ Cr<sub>4</sub> - Economia: esse critério está relacionado a economia que a organização vai obter ao utilizar o material reverso em vez de comprar matéria-prima nova. Isso significa que é imperativo dar preferência ao uso de material retornado em detrimento a materiais primários. Quando mais próximo a E/S, mais facilmente será executado o controle de estoque visual, possibilitando que os selecionadores executem as ordens mais facilmente e preferencialmente dos itens reversos. Neste caso, deseja-se que os materiais que proporcionem maior economia sejam alocados mais próximo a E/S. Os valores aqui podem ser expressos em porcentagem, ou seja, um valor de 60% significa que o uso do material reverso traz uma economia de 60% em relação ao custo do material primário.

Assim, a matriz de avaliação deve ser gerada. Para tanto, no critério Cr<sub>2</sub> considerou-se a demanda média, para o período  $T$ , de cada SKU, calculada pelo MRP. Para o critério Cr<sub>3</sub> considerou-se a necessidade máxima de espaço para cada SKU. Já nos demais critérios considerou-se valores aleatórios, da seguinte maneira: no Cr<sub>1</sub> os valores variaram entre 5 e 1 (escala); enquanto para Cr<sub>4</sub> considerou-se um intervalo entre 0% a 100%. Desta forma, a Tabela 10 apresenta o desempenho dos materiais em cada critério.

Tabela 10 - Desempenho das SKUs em cada critério

Matéria-prima	Critérios			
	Cr <sub>1</sub> - Criticidade	Cr <sub>2</sub> - Demanda	Cr <sub>3</sub> - Espaço	Cr <sub>4</sub> - Economia
MP1	4	72,5	4	86
MP2	4	67,75	6	47
MP3	5	11,75	2	35
MP4	1	39	3	84
MP5	1	18	2	45
MP6	1	2,75	1	58
MP7	2	47	3	64
MP8	1	4,75	1	44
MP9	5	93,25	7	99

Fonte: A autora (2019)

Para dar seguimento, os valores da Tabela 10 devem ser normalizados na mesma escala. Assim, dado que os valores do critério  $Cr_1$  estão em uma escala intervalar, a normalização recomendada é dada pela Eq. (4.20), em que todos os valores serão transformados para uma escala intervalar entre 0 e 1.

$$v'_j(MP_i) = [v_j(MP_i) - \text{Min } v_j] / [\text{Max } v_j - \text{Min } v_j] \quad (4.20)$$

Em que:

$v'_j(MP_i)$  é o valor normalizada SKU  $i$  no critério  $j$ ;

$v_j(MP_i)$  é o valor não normalizado da SKU  $i$  no critério  $j$

$\text{Max } v_j$  é o máximo valor não normalizado da SKU  $i$  no critério  $j$

$\text{Min } v_j$  é o mínimo valor não normalizado da SKU  $i$  no critério  $j$

Em seguida, a partir da literatura estudada, verificou-se que uma compensação entre critérios de gestão de estoque com critérios operacionais do armazém pode não ser adequado. Por este fato, definiu-se que os métodos não compensatórios são mais indicados para categorizar as SKUs. Portanto, optou-se pelo método ELECTRE TRI por não apresentar compensação entre as avaliações das alternativas nos critérios (SZAJUBOK; MOTA; DE ALMEIDA, 2006); permitir lidar com critérios qualitativos e quantitativos (GUARNIERI, 2014); e, pelo fato da sua comparação pareada ser realizada entre a alternativa e os perfis das classes, dentro de certos limites, onde não há a alteração das categorias quando o armazém recebe SKUs diferentes (novas) (FONTANA; CAVALCANTE, 2013a).

Diante disso, para que se possa realizar essas comparações, o decisor precisou definir os pesos para cada critério  $\{K_1, K_2, \dots, K_j\}$ . De acordo com Duarte Neto *et al.* (2017), os decisores definem os pesos através de preferências restritas mediante o uso de pseudocritérios, havendo, conseqüentemente, um duplo limiar: os limiares de preferência  $p_j(b_h)$  e indiferença  $q_j(b_h)$  representam informações intracritérios. Assim,  $p_j$  representa a menor diferença  $g_j(a) - g_j(b)$ , isto é, a alternativa 'a' é preferível a 'b<sub>h</sub>' no critério  $g_j$ ; e  $q_j$  representa a maior diferença entre 'a' e 'b<sub>h</sub>' no critério  $g_j$  (SZAJUBOK; MOTA; DE ALMEIDA, 2006). Somado a isso, como considerou-se a utilização da curva ABC, conseqüentemente, o número de classes é dado por 03, onde cada classe deverá ter um limite inferior e outro superior, ou seja, tem-se dois perfis ( $b_1$  e  $b_2$ ). Desta forma, a Tabela 11 apresenta os parâmetros descritos anteriormente.

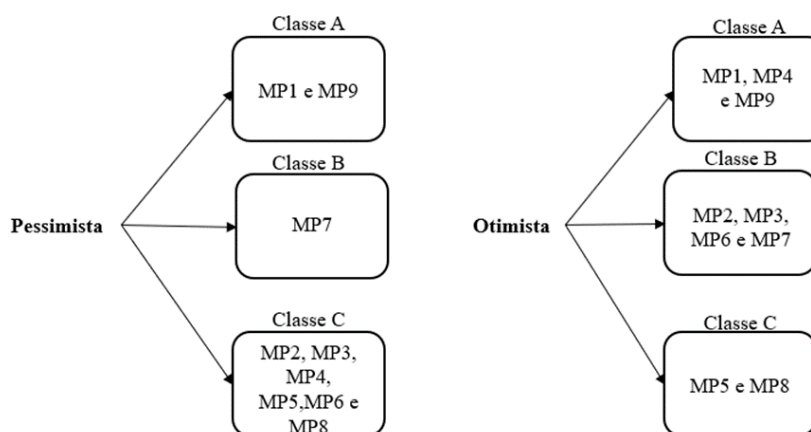
Tabela 11 - Parâmetros para o ELECTRE TRI

Matéria-prima	Critérios			
	Cr <sub>1</sub> - Criticidade	Cr <sub>2</sub> - Demanda	Cr <sub>3</sub> - Espaço	Cr <sub>4</sub> - Economia
k	0,25	0,25	0,35	0,15
b <sub>1</sub>	74	69	71	70
b <sub>2</sub>	26	29	33	30
p	2	2	2	2
q	1	1	1	1
λ	0,75			

Fonte: A autora (2019)

Uma vez definido os parâmetros de entrada do ELECTRE TRI, utilizou-se o *software* ELECTRE TRI 2.0a para categorizar as SKUs. Desta forma, têm-se os resultados da atribuição das SKUs nas classes, apresentados na Figura 8.

Figura 8 - Distribuição das SKUs entre as classes ABC



Fonte: A autora (2019)

Após a implementação do ELECTRE TRI, as SKUs foram atribuídas às categorias pré-definidas nas versões pessimista e otimista. Na pessimista cada alternativa é atribuída a classe mais elevada para qual a alternativa ‘a’ sobreclassifica ‘b<sub>h</sub>’, isto é, a alternativa ‘a’ é atribuída a classe C<sub>n</sub>; e a otimista atribui cada alternativa ‘a’ a classe menos elevada para qual ‘b<sub>h</sub>’ sobreclassifica a alternativa ‘a’, isto é, a alternativa ‘a’ é atribuída a classe C<sub>n+1</sub> (LOURENÇO; COSTA, 2004). Contudo, diante de relações de incomparabilidade, a regra pessimista atribui a alternativa a uma classe menos elevada do que a otimista, sendo preferível quando um resultado mais conservador é necessário (CERTA *et al.*, 2017).

Portanto, estas duas alternativas devem ser avaliadas para a tomada de decisão final. Somado a isso, destaca-se que a escolha dos critérios Cr<sub>2</sub> e Cr<sub>3</sub> permitiu seguir a lógica do COI, bem como Cr<sub>1</sub> e Cr<sub>4</sub> seguiram a lógica da curva ABC, permitindo auxiliar o decisor na gestão de estoque.

4.1.5.3 Regra de alocação de itens nos locais de armazenamento

Como foi definido anteriormente, na seção 3.2.5.3, a regra de alocação utilizada foi a *across-aisle*, conforme apresentado na Figura 7, permitindo, assim, que as SKUs da classe A fiquem mais próximas do ponto de (E/S), facilitando os deslocamentos e auxiliando na gestão de estoque, uma vez que as SKUs atribuídas a essa classe foram consideradas as mais relevantes e necessitam de maior atenção por parte dos gestores e seletores.

4.1.5.4 Avaliação das soluções

Como visto, duas soluções foram encontradas e devem ser avaliadas. Para tanto, pode-se calcular a distância percorrida para atender as ordens do cliente interno, conforme a metodologia de Muppani e Adil (2008a), descrita na seção 3.2.5.4.

Para esta simulação, considerou-se a popularidade como a quantidade média que retorna à instalação em número de paletes e o espaço foi obtido através das requisições de espaço para o fluxo reverso, apresentados na Tabela 9. Entretanto, o espaço destinado à estocagem deve considerar todo o período *T* e a possível economia de espaço devido às agregações em classes. Assim, foi calculado o custo de manuseio para ambos os procedimentos, conforme apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 - Análise do custo de manuseio para PEBC

SKUs	Popularidade	Espaço - m <sup>2</sup> (E)					Linha	Distância média	Distância total	Custo*
		t = 1	t = 2	t = 3	t = 4	Máx. E				
<b>Baseada em Política de estocagem Classes (Pessimista)</b>										
MP1+ MP9	9	4	3	0	3	10	10	5	90	6,30
		3	7	6	6					
	<b>Máx.</b>	7	10	6	9					
MP7	3	2	1	3	3	3	3	11,50	69	4,83
		2	1	3	3					
MP2+ MP3+ MP4+ MP5+ MP6+ MP8	10	4	1	2	6	9	9	17,50	350	24,50
		0	2	0	0					
		2	1	2	3					
		2	1	0	0					
		0	0	1	0					
	<b>Máx.</b>	8	6	5	9					
<b>35,63</b>										
<b>Política de estocagem Baseada em Classe (Otimista)</b>										
MP1+ MP4+ MP9	11	4	3	0	3	12	12	6	132	9,24
		2	1	2	3					
		3	7	6	6					
	<b>Máx.</b>	9	11	8	12					

MP2+	9	4	1	2	6	9	9	16,50	297	20,79
MP3+		0	2	0	0					
MP6+		0	0	1	0					
MP7		2	1	3	3					
<b>Máx.</b>		6	4	6	9					
MP5+	2	2	1	0	0	2	2	22	88	6,16
MP8		0	1	0	0					
<b>Máx.</b>		2	2	0	0					
<b>36,19</b>										

Onde:  $\alpha = 1$  colunas destinadas ao material de fluxo reverso. \* O custo de manuseio considerado foi de R\$ 0,07/m

Fonte: A autora (2019)

Note que a agregação dos materiais, definida no procedimento pessimista, permitiu uma economia do espaço no armazém igual a 1 e resultou em uma diminuição da distância percorrida pelos seletores. Diante disso, foi possível concluir que para essa instalação o procedimento pessimista é o mais eficiente, proporcionando a redução da distância percorrida e do custo de manuseio. No entanto, caso o decisor não esteja satisfeito com a atribuição obtida, o mesmo precisa rever os parâmetros fornecidos na etapa anterior.

## 4.2 Implicações gerenciais

Apesar dessas decisões de armazenagem serem interligadas pode-se constatar que elas não são avaliadas simultaneamente pelos gestores, sendo definidas, normalmente, de modo intuitivo. Desta forma, se tornou muito complexo para os gestores gerenciar as instalações híbridas, devido ao alto nível de incerteza atrelada ao retorno das SKUs. Assim, para realizar a estocagem das SKUs de fluxo reverso foi necessário considerar as decisões que fundamentam a armazenagem na logística direta, bem como suas implicações:

- ✓ Para dimensionar adequadamente o espaço é necessário identificar a quantidade de matéria-prima necessária para atender o processo produtivo, por meio do MRP. Somado a isso, a organização precisa fazer uso de métodos de previsão específicos para o fluxo reverso, caso não utilize a tecnologia RFID, bem como identificar se todas as partes do produto são reutilizáveis. Assim, a partir dessas informações é possível estabelecer o espaço destinado ao fluxo direto e o reverso;
- ✓ A definição do *design* do *layout* estar associado as particularidades de cada organização, analisando aspectos como: estoque de matéria-prima ou de produto acabado, a armazenagem em 2D ou 3D, o equipamento utilizado, etc. Como a instalação analisada estoca apenas matéria-prima optou-se por fazer uso do *layout* tradicional, mas para



instalações que estocam produtos acabados é interessante analisar outros *layouts*, como: espinha de peixe, e o acréscimo de corredores cruzados;

- ✓ A seleção da estratégia de recuperação de pedidos foi realizada a partir da análise das particularidades do armazém de matéria-prima, visto que, o mesmo possui apenas um cliente e os pedidos são recuperados em paletes completos. Atrelado a isso, o *order batching* é uma política inviável, pois o equipamento utilizado tem capacidade apenas para uma unidade de carga destinada para um único cliente. Ao adotar a política de zoneamento é necessário avaliar se cada área tem uma necessidade de trabalho proporcional. Assim, se torna preferível a adoção da estratégia *single order-picking* e a estratégia de movimentação foi definida como *single-command*, por permitir simplificar e reduzir a movimentação. Para os armazéns de produtos acabados de fluxo direto é importante considerar que nem sempre é possível recuperar todas os pedidos por *order batching*, visto que, haverá SKUs que aparecerão em apenas uma ordem, sendo necessário que o gestor da instalação de armazenagem combine o uso dessa estratégia de recuperação com outra estratégia.
- ✓ Com o intuito de auxiliar o decisor na escolha da política de estocagem, foi utilizada a Figura 5. Contudo é necessário fazer algumas análises, visto que, o alto grau de incerteza dos retornos, torna ineficiente estabelecer um local fixo para cada SKU, ou seja, caso o decisor venha a convergir para PED e deseje utilizar a curva ABC, para auxiliar na gestão de estoque, essa hibridização não é adequada para as SKUs de fluxo reverso, mas é uma opção viável para matéria-prima primária. Apesar da política aleatória proporcionar a melhor utilização do espaço, ela gera ineficiência operacional porque os selecionadores precisam percorrer maiores distâncias de *picking*. Ao adotar a política baseada em classes, deve-se destacar que apesar da classificação ABC ser muito popular, o número de classes não se limita há três, visto que, a depender do armazém pode ser mais eficiente definir um número maior de classes. O uso do índice COI, não é adequado porque a previsão de demanda dos retornos varia muito e os índices CIC e COIC também não são recomendados, pois há um único cliente (processo produtivo). Apesar da avaliação da atribuição ter sido realizada considerando apenas o custo de manuseio, pode-se incorporar outros indicadores de desempenho de acordo com as preferências do decisor. Além disso, a regra de alocação *across-aisle* foi escolhida de modo a auxiliar na gestão de estoque e reduzir a distância percorrida, alocando as SKUs de classe A mais próximo ao ponto de E/S. No entanto, para outros armazéns é necessário fazer uma análise para identificar a regra mais adequada.

Portanto, observou-se que devido à falta de conhecimento sobre uma metodologia que direcione o decisor no desenvolvimento de ações nas instalações híbridas, pode comprometer o desempenho destas, em termos de custos e eficiência. Diante disso, o *framework* proposto definiu como as SKUs de fluxo reverso devem ser armazenadas, direcionando as ações do decisor, incorporando suas preferências e proporcionando tomar decisões mais estruturadas

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O armazém assumiu uma posição de destaque nas CSs, visto que, ele passou a ser usado como uma forma para obter vantagens competitivas, devido a sua influência nos custos e no desempenho destas, dado que uma variedade de operações são executadas nessa instalação, como: recebimento, transferência e estocagem, separação de pedidos, acumulação/classificação, *cross-docking* e expedição. Somado a isso, há uma crescente necessidade de operacionalizar materiais retornados, sejam oriundos do canal do pós-venda, atendendo especialmente ao código de defesa do consumidor, sejam oriundos do canal do pós-consumo, atendendo especialmente ao Plano Nacional dos Resíduos Sólidos.

No entanto, após a coleta dos produtos retornados faz-se necessário realizar uma inspeção e classificar esse material, devido à incerteza em termos de qualidade e quantidade das SKUs do fluxo reverso, para só então identificar o processo de recuperação mais adequado.

Neste contexto, destaca-se o uso de instalações híbridas que passaram a armazenar os fluxos bidirecionais de suprimentos. Assim, tomando como base a literatura, foi possível identificar que a eficiência dos armazéns é resultado das decisões associadas ao *design* do *layout*, bem como as questões operacionais.

Para tanto, a partir da revisão da literatura apresentada no Apêndice A se tornou evidente a carência no desenvolvimento de ferramentas de tomada de decisão para auxiliar os gestores diante de instalações híbridas. Desta forma, este estudo propôs o desenvolvimento de uma metodologia de decisão integrativa para auxiliar os gestores proporcionando decisões mais estruturadas, permitindo armazenar as SKUs de fluxo reverso em instalações híbridas.

Contudo, como a armazenagem das SKUs de fluxo reverso é ainda pouco explorada, apesar da utilização da matéria-prima secundária ser importante para gestão de inventário, proporcionando a redução dos custos com a aquisição de matéria-prima primária e evitando a manutenção de estoques altos, foi preciso utilizar as decisões de fluxo direto e integrá-las em um único problema de decisão, visto que, o uso de abordagens desintegradas resulta na subotimização.

Desta forma, foi desenvolvida uma simulação para validar e implementar a estrutura conceitual integrativa, permitindo, assim, projetar o *design* do *layout* e o gerenciamento operacional para armazenar as SKUs de fluxo reverso em instalações híbridas.

Em síntese, o desenvolvimento de uma metodologia de decisão integrativa permitiu incorporar de maneira sistemática as decisões que influenciam na eficiência do sistema de

armazenagem, além de considerar as preferências do decisor no processo e o uso de abordagem de decisão multicritério para melhorar a eficiência operacional dessa instalação. No entanto, destaca-se a importância que o decisor exerce no processo de tomada de decisão, visto que, ele precisa analisar se as atribuições atendem a suas preferências e tomar a decisão final.

### 5.1 Limitações e trabalhos futuros

Uma limitação desse estudo foi a utilização direta de uma abordagem multicritério para categorizar as SKUs em classes, contudo para a simulação desenvolvida a política de estocagem baseada em classes se mostrou mais eficiente, podendo ser utilizada em situações similares as tratadas aqui. A consideração de um único *design* do armazém, como trabalho futuro sugere-se a consideração de outros *layouts* a fim de verificar os parâmetros e os resultados obtidos, bem como fazer as adaptações necessárias no *layout* e na regra de alocação para armazenagem 3D, bem como utilizar a norma NBR 15524-2/2007 para o sistema de porta-palete.

Além disso, uma dificuldade inerente ao fluxo reverso é a previsão de demanda dos retornos, por isso deixa-se para futuros trabalhos utilizar empiricamente o método desenvolvido por Krapp, Nebel e Sahamie (2013b). Acrescenta-se a possibilidade da utilização dos métodos de estruturação de problemas para identificar as prioridades da instalação de armazenagem, possibilitando, assim, direcionar ações específicas.

Finalmente, destaca-se o caráter genérico da ferramenta que permitiu realizar adaptações para que a mesma seja utilizada em setores específicos.

**REFERÊNCIAS**

- ABDALLAH, T.; DIABAT, A.; SIMCHI-LEVI, D. Sustainable supply chain design: a closed-loop formulation and sensitivity analysis. *Production Planning e Control*, 23: 120-133, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15524-2: Diretrizes para o uso de estrutura tipo porta-paletes seletivos. Rio de Janeiro. 2007.
- ACCORSI, R.; MANZINI, R.; MARANESI, F. A decision- support system for the design and management of warehousing systems. *Computers in Industry*, 65: 175-186, 2014.
- ADENSO-DIAZ, B.; MORENO, P.; GUTIERREZ, E.; LOZANO, S. An analysis of the main factors affecting bullwhip in reverse supply chains. *International Journal of Production Economics*, 135: 917-928, 2012.
- AGRAWAL, S.; SINGH, R. K.; MURTAZA, Q. A literature review and perspectives in reverse logistics. *Resources, Conservation and Recycling*, 97: 76-92, 2015.
- AITKEN, J.; MURRAY, A. Crash repair in the UK: reusing salvaged parts in car repair centers. *International Journal of Logistics-Research and Applications*, 13: 359-372, 2010.
- AKÇALI, E.; ÇETINKAYA, S. Quantitative models for inventory and production planning in closed-loop supply chains. *International Journal of Production Research*, 49: 2373-2407, 2011.
- ALFONSO-LIZARAZO, E. H.; MONTOYA-TORRES, J. R.; GUTIERREZ-FRANCO, E. Modeling reverse logistics process in the agro-industrial sector: The case of the palm oil supply chain. *Applied Mathematical Modelling*, 37: 9652-9664, 2013.
- ALIMORADI, A.; YUSSUF, R. M.; ISMAIL, N. B.; ZULKIFLI, N. Developing a fuzzy linear programming model for locating recovery facility in a closed loop supply chain. *International Journal of Sustainable Engineering*, 8:122-137, 2015.
- AL-SALEM, M.; DIABAT, A.; DALALAH, D.; ALREFAEI, M. A closed-loop supply chain management problem: Reformulation and piecewise linearization. *Journal of Manufacturing Systems*, 40: 1-8, 2016.
- AMIN, S. H.; BAKI, F. A facility location model for global closed-loop supply chain network design. *Applied Mathematical Modelling*, 41: 316-330, 2017.
- AMIN, S. H.; ZHANG, G. A proposed mathematical model for closed-loop network configuration based on product life cycle. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58: 791-801, 2012a.
- AMIN, S. H.; ZHANG, G. An integrated model for closed-loop supply chain configuration and supplier selection: Multi-objective approach. *Expert Systems with Applications*, 39: 6782-6791, 2012b.
- AMIN, S.; ZHANG, G. A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return. *Applied Mathematical Modelling*, 37: 4165-4176, 2013a.
- AMIN, S.; ZHANG, G. A three-stage model for closed-loop supply chain configuration under uncertainty. *International Journal of Production Research*, 51: 1405-1425, 2013b.
- AMIN, S.; ZHANG, G.; AKHTAR, P. Effects of uncertainty on a tire closed-loop supply chain network. *Experts Systems with Applications*, 73: 82-91, 2017.

- ASHFARI, H.; SHARIFI, M.; ELMEKKAWY, T. Y.; PENG, Q. Facility Location Decisions within Integrated Forward/Reverse Logistics under Uncertainty. *Procedia CIRP*, 17: 606-610, 2014.
- ATAMER, B.; BAKAL, I. S.; BAYINDIR, Z. P. Optimal pricing and production decisions in utilizing reusable containers. *International Journal of Production Economics*, 143: 222-232, 2013.
- AZADEH, A.; ZARRIN, M.; SALEHI, N. Supplier selection in closed loop supply chain by an integrated simulation-Taguchi-DEA approach. *Journal of Enterprise Information Management*, 29: 302-326, 2016.
- BAKER, P.; CANESSA, M. Warehouse design: a structured approach. *European Journal of Operational Research*, 193: 425-436, 2009.
- BANASIK, A.; KANELLOPOULOS, A.; CLAASSEM, G. D. H.; BLOEMHOF-RUWAARD, J. M.; VAN DER VORST, J. G. A. J. Closing loops in agricultural supply chains using multi-objective optimization: A case study of an industrial mushroom supply chain. *International Journal of Production Economics*, 183: 409-420, 2017.
- BATTINI, D.; BOGATAJ, M.; CHOUDHARY, A. Closed Loop Supply Chain (CLSC): Economics, modelling, management and control. *International Journal of Production Economics*, 183: 319-321, 2017.
- BATTISTA, C.; FUMI, A.; GIORDANO, F.; SCHIRALDI, M. M. Storage Location Assignment Problem: implementation in a warehouse design optimization tool. In: *Proceedings of the Conference "Breaking down the barriers between research and industry*, Abano Terme, Padua-Italy, 14-16 September 2011.
- BEHMANESH, E.; PANNEK, J. The effect of various parameters of solution methodology on a flexible integrated supply chain model. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/5935268>
- BELL, J.; MOLLENKOPF, D.; STOLZE, H. Natural resource scarcity and the closed-loop supply chain: a resource advantage view. *International Journal of Physical Distribution e Logistics Management*, 43: 351-379, 2013.
- BERGLUND, P.; BATA, R. Optimal placement of warehouse cross-aisles in a picker-to-part warehouse with class-based storage. *IIE Transactions*, 44: 107-120, 2012.
- BHAKTHAVATCHALAM, S.; DIALLO, C.; VENKATADRI, U.; KHATAB, A. Quality, reliability, maintenance issues in closed-loop supply chains: a review. *IFAC-PapersOnLine*, 48: 460-465, 2015.
- BHATTACHARYA, R.; KAUR, A. Allocation of external returns of different quality grades to multiple stages of a closed loop supply chain. *Journal of Manufacturing Systems*, 37: 692-702, 2015.
- BHATTACHARYA, R.; KAUR, A.; AMIT, R. K. Price optimization of multi-stage remanufacturing in a closed loop supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 186: 943-962, 2018.
- BOYSEN, N. B.; BRISKORN, D.; EMDE, S. Parts-to-picker based order processing in a rack-moving mobile robots environment. *European Journal of Operational Research*, 262: 550-562, 2017.
- BOYSEN, N. B.; STEPHAN, K. A survey on single crane scheduling in automated storage/retrieval systems. *European Journal of Operational Research*, 254: 691-704, 2016.
- BOYSEN, N.; STEPHAN, K. The deterministic product location problem under a pick-by-order policy. *Discrete Applied Mathematics*, 161: 2862- 2875, 2013.

- BÜNDCHEN, G. *Aprendizados: minha caminhada para uma vida com mais significado*. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Best Seller, 2018.
- CAIADO, N.; GUARNIERI, P.; XAVIER, L. H.; CHAVES, G. de L. D. A characterization of the Brazilian market of reverse logistic credits (RLC) and an analogy with the existing carbon credit market. *Resources, Conservation and Recycling*, 118: 47–59, 2017.
- ÇALIK, A.; PEHLIVAN, N. Y.; PAKSOY, T.; WEBER, G. W. A novel interactive fuzzy programming approach for optimization of allied closed-loop supply chains. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 11: 672-691, 2018.
- CALMON, A.; GRAVES, S. Inventory management in a consumer electronics closed-loop supply chain. *MeSOM-Manufacturing e Service Operations Management*, 19: 568-585, 2017.
- CALZAVARA, M.; GLOCK, C. H.; GROSSE, E. H.; PERSONA, A.; SGARBOSSA, F. Analysis of economic and ergonomic performance measures of different rack layouts in an order picking warehouse. *Computers e Industrial Engineering*, 111: 527–536, 2017.
- CANNELLA, S.; BRUCCOLERI, M.; FRAMINAN, J. M. Closed-loop supply chains: What reverse logistics factors influence performance? *International Journal of Production Economics*, 175: 35-49, 2016.
- CARDONA, L. F.; SOTO, D. F.; RIVERA, L.; MARTÍNEZ, H. J. Detailed design of fishbone warehouse layouts with vertical travel. *International Journal Production Economics*, 170: 825–837, 2015.
- CARDOSO, S. R.; BARBOSA-PÓVOA, A. P. F. D.; RELVAS, S. Design and planning of supply chains with integration of reverse logistics activities under demand uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 226: 436–451, 2013.
- CARDOSO, S. R.; BARBOSA-POVOA, A. P.; RELVAS, S. Integrating financial risk measures into the design and planning of closed-loop supply chains. *Computers e Chemical Engineering*, 85: 105-123, 2016.
- CARLO, H.J.; GIRALDO, G.E. Toward perpetually organized unit-load warehouses. *Computers e Industrial Engineering*, 64: 1003–1012, 2012.
- CARON, F.; MARCHET, G.; PEREGO, A. Optimal layout in low-level picker-to-part systems. *International Journal of Production Research*, 38: 101-117, 2000.
- CARRASCO-GALLEGO, R.; PONCE-CUETO, E.; DEKKER, R. Closed-loop supply chains of reusable articles: a typology grounded on case studies. *International Journal of Production Research*, 50: 5582-5596, 2012.
- CERTA, A.; ENEA, M.; GALANTE, M. G.; LA FATA, M. C. ELECTRE TRI-based approach to the failure modes classification on the basis of risk parameters: an alternative to the risk priority number. *Computers e Industrial Engineering*, 108: 100-110, 2017.
- CHACKELSON, C.; ERRASTI, A.; CIPRÉS, D.; LAHOZ, F. Evaluating order picking performance trade-offs by configuring main operating strategies in a retail distributor: A design of experiments approach. *International Journal of Production Research*, 51: 6097–6109, 2013.
- CHAN, F. T. S.; CHAN, H. K. Improving the productivity of order picking of manual-pick and multi-level rack distribution warehouse through the implementation of class-based storage. *Expert Systems with Applications*, 38: 2686-2700, 2011.

- CHEN, C.-K.; WENG, T.-C.; LO, C.-C. Optimal replenishment quantity for new products and return rate of used products for a retailer. *Applied Mathematical Modelling*, 40: 9754-9766, 2016.
- CHEN, C.-M.; GONG, Y.; DE KOSTER, R.; VAN NUNEN, J. A flexible evaluative framework for order picking systems. *Production e Operations Management*, 19: 70–82, 2010.
- CHEN, J.-M.; CHANG, C.-I. Pricing and collection effort decisions in a closed-loop supply chain. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33: 568-578, 2016.
- CHEN, J.-M.; CHANG, C.-I. The co-opetitive strategy of a closed-loop supply chain with remanufacturing *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation*, 48: 387-400, 2012.
- CHEN, T.-L.; CHENG, C.-Y.; CHEN, Y.-Y.; CHAN, L.-K. An efficient hybrid algorithm for integrated order batching, sequencing and routing problem. *International Journal of Production Economics*, 159: 158–167, 2015.
- CHEN, W.; KUCUKYAZICI, B.; VERTER, V.; SAENZ, M. J. Supply chain design for unlocking the value of remanufacturing under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 247: 804-819, 2015.
- CHEN, Y.; WANG, L.; WANG, A.; CHEN, T. A particle swarm approach for optimizing a multi-stage closed loop supply chain for the solar cell industry. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 43: 111-123, 2017.
- CHENG, C.-Y.; CHEN, Y.-Y.; CHEN, T.-L.; JUNG-WOON YOO, J. Using a hybrid approach based on the particle swarm optimization and ant colony optimization to solve a joint order batching and picker routing problem. *International Journal of Production Economics*, 170: 805–814, 2015.
- CHERAGHALIPOUR, A.; PAYDAR, M. M.; HAJIAGHAEI-KESHTELI, M. A bi-objective optimization for citrus closed-loop supply chain using Pareto-based algorithms. *Applied Soft Computing*, 69: 33-59, 2018.
- CHO, D. W.; LEE, Y. H.; AHN, S. H.; HWANG, M. K. A framework for measuring the performance of service supply chain management. *Computers e Industrial Engineering*, 62: 801-818, 2012.
- CHOI, T.-M.; LI, Y.; XU, L. Channel leadership, performance and coordination in closed loop supply chains. *International Journal of Production Economics*, 146: 371-380, 2013.
- CHOUDHARY, A.; SARKAR, S.; SETTUR, S.; TIWARI, M. K. A carbon market sensitive optimization model for integrated forward-reverse logistics. *International Journal of Production Economics*, 164: 433-444, 2015.
- CHU, C.W.; LIANG, G.-S.; LIAO, C.-T. Controlling inventory by combining ABC analysis and fuzzy classification. *Computers e Industrial Engineering*, 55: 841-851, 2008.
- CHUANG, Y.-F.; LEE, H.-T.; LAI, Y.-C. Item-associated cluster assignment model on storage allocation problems. *Computers e Industrial Engineering*, 63: 1171-1177, 2012.
- CLOSS, D. J.; SPEIER, C.; MEACHAM, N. Sustainability to support end-to-end value chains: the role of supply chain management. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 39: 101-116, 2011.
- COUTO, M. C. L.; LANGE, L. C. Análise dos sistemas de logística reversa no Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 22: 889-898, 2017.
- CUI, L.; WU, K.; TSENG, M. Selecting a remanufacturing quality strategy based on consumer preferences. *Journal of Cleaner Production*, 161: 1308-1316, 2017a.



- CUI, Y.; GUAN, Z.; SAIF, U.; ZHANG, L.; ZHANG, F.; MIRZA, J. Close loop supply chain network problem with uncertainty in demand and returned products: Genetic artificial bee colony algorithm approach. *Journal of Cleaner Production*, 162: 717-742, 2017b.
- DA SILVA, D. D.; DE VASCONCELOS, N. V. C.; CAVALCANTE, C. A. V. Multicriteria Decision Model to Support the Assignment of Storage Location of Products in a Warehouse. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015, Article ID 481950, 8 pages.
- DAABOUL, J.; LE DUIGOU, J.; PENCIUC, D.; EYNARD, B. An integrated closed-loop product lifecycle management approach for reverse logistics design. *Production Planning e Control*, 27: 1062-1077, 2016.
- DAS, D.; DUTTA, P. A system dynamics framework for integrated reverse supply chain with three way recovery and product exchange policy. *Computers e Industrial Engineering*, 66: 720-733, 2013.
- DAS, D.; DUTTA, P. Design and analysis of a closed-loop supply chain in presence of promotional offer. *International Journal of Production Research*, 53: 141-165, 2015.
- DAVARZANI, H.; NORRMAN, A. Toward a relevant agenda for warehousing research: literature review and practitioners' input. *Logistics Research*, 8: 1-18, 2015.
- DE ALMEIDA, A. T. *Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério*. São Paulo: Atlas, 2013.
- DE CAMPOS, E. A. R.; DE PAULA, I. C.; PAGANI, R. N.; GUARNIERI, P. Reverse logistics for the end-of-life and end-of-use products in the pharmaceutical industry: a systematic literature review. *Supply Chain Management an International Journal*, 22: 375-392, 2017.
- DE KOSTER, R. B. M.; JOHNSON, A. L.; ROY, D. Warehouse design and management. *International Journal of Production Research*, 55:21, 6327-6330, 2017.
- DE KOSTER, R. B. M.; LE-DUC, T.; ZAERPOUR, N. Determining the number of zones in a pick-and-sort order picking system. *International Journal of Production Research*, 50: 757-771, 2012.
- DE KOSTER, R.; LE-DUC, T.; ROODBERGEN, K. J. Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182: 481-501, 2007.
- DEKKER, R.; DE KOSTER, R.; ROODBERGEN, K. J.; VAN KALLEVEEN, H. Improving order-picking response time at Ankor's warehouse. *Interfaces*, 34: 303-313, 2004.
- DEMIREL, N.; GOKCEN, H.; AKCAYOL, M.; DEMIREL, E. A hybrid genetic algorithm for multistage integrated logistics network optimisation problem. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 26: 929-936, 2011.
- DEMIREL, N.; OZCEYLAN, E.; PAKSOY, T.; GOKCEN, H. A genetic algorithm approach for optimising a closed-loop supply chain network with crisp and fuzzy objectives. *International Journal of Production Research*, 52: 3637-3664, 2014.
- DENG, S.; LI, Y.; GUO, H.; LIU, B. Solving a closed-loop location-inventory-routing problem with mixed quality defects returns in e-commerce by hybrid ant colony optimization algorithm. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2016. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/6467812>
- DE SANTIS, R.; MONTANARI, R.; VIGNALI, G., BOTTANI, E. Na adapted ant colony optimization algorithm for the minimization of the travel distance of pickers in manual warehouses. *European Journal of Operational Research*, 267: 120-137, 2018.

- DESPOIT, P.; LARDEUX, F.; LESAIN, D.; DI CAIRANO-GILFEDDER, C.; LIRET, A.; OWUSU, G. A combinatorial optimisation approach for closed-loop supply chain inventory planning with deterministic demand. *European Journal of Industrial Engineering*, 11: 303-327, 2017.
- DIABAT, A.; ABDALLAH, T.; AL-REFAIE, A.; SVETINOVIC, D.; GOVINDAN, K. Strategic closed-loop facility location problem with carbon market trading. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 60: 398-408, 2013.
- DIABAT, A.; ABDALLAH, T.; HENSCHER, A. A closed-loop location-inventory problem with spare parts consideration. *Computers e Operations Research*, 54: 245-256, 2015.
- DIALLO, C.; VENKATADRI, U.; KHATAB, A.; BHAKTHAVATCHALAM, S. State of the art review of quality, reliability and maintenance issues in closed-loop supply chains with remanufacturing. *International Journal of Production Research*, 55: 1277-1296, 2017.
- DIFRANCESCO, R. M.; HUCHZERMEIER, A. Closed-loop supply chains: a guide to theory and practice. *International Journal of Logistics-Research and Applications*, 19: 443-464, 2016.
- DIJKSTRA, A. S.; ROODBERGEN, K. J. Exact route-length formulas and a storage location assignment heuristic for picker-to-parts warehouses. *Transportation Research Part E*, 102: 38-59, 2017.
- DJIKANOVIC, J.; JOKSIMOVIC, D.; VUJOSEVIC, M. Application of variable neighbourhood search method for vehicle-routing problems in an integrated forward and reverse logistic chain. *Acta Polytechnica Hungarica*, 12: 51-70, 2015.
- DJIKANOVIC, J.; VUJOSEVIC, M. A new integrated forward and reverse logistics model: A case study. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 9: 25-35, 2016.
- DOBOS, I.; GOBSCH, B.; PAKHOMOVA, N.; PISHCHULOV, G.; RICHTER, K. Design of contract parameters in a closed-loop supply chain. *Central European Journal of Operations Research*, 21: 713-727, 2013.
- DONDO, R. G.; MÉNDEZ, C. A. Operational planning of forward and reverse logistic activities on multi-echelon supply-chain networks. *Computers and Chemical Engineering*, 88: 170-184, 2016.
- DOWLATSHAHI, S. A framework for the role of warehousing in Reverse Logistics. *International Journal of Production Research*, 50: 1265-1277, 2012.
- DUKIC, G.; CESNIK, V.; OPETUK, T. Order-picking methods and technologies for greener warehousing. *Strojarstvo*, 52: 23-31, 2010.
- DUARTE NETO, J. G.; MACHADO, M. A. S.; GOMES, L. F. A. M.; CALDEIRA, A. M.; SALLUM, F. S. V. Investments in a new technological infrastructure: decision making using the ELECTRE-TRI methodology. *Procedia Computer Science*, 122: 194-199, 2017.
- DUTTA, P.; DAS, D.; SCHULTMANN, F.; FROHLING, M. Design and planning of a closed-loop supply chain with three way recovery and buy-back offer. *Journal of Cleaner Production*, 135: 604-619, 2016.
- EFENDIGIL, T. Modelling product returns in a closed-loop supply chain under uncertainties: A neuro fuzzy approach. *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing*, 23: 407-426, 2014.
- ELBERT, R. M.; FRANZKE, T.; GLOCK, C. H.; GROSSE, E. H. The effects of human behavior on the efficiency of routing policies in order picking: The case of route deviations. *Computers e Industrial Engineering*, 111: 537-551, 2017.

- ELIA, V.; GNONI, M. G. Designing an effective closed loop system for pallet management. *International Journal of Production Economics*, 170: 730-740, 2015.
- ESKANDARPOUR, M.; MASEHIAN, E.; SOLTANI, R.; KHOSROJERDI, A. A reverse logistics network for recovery systems and a robust metaheuristic solution approach. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 74: 9-12, 2014.
- FABER, N.; DE KOSTER, M. B. M.; SMIDTS, A. Organizing warehouse management. *International Journal of Operations e Production Management*, 33: 1230-1256, 2013.
- FALLAH-TAFTI, A.; SAHRAEIAN, R.; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R.; MOEINIPOUR, M. An interactive possibilistic programming approach for a multi-objective closed-loop supply chain network under uncertainty. *International Journal of Systems Science*, 45: 283-299, 2014.
- FANG, C.; LIU, X.; PEI, J.; FAN, W.; PARDALOS, P. M. Optimal production planning in a hybrid manufacturing and recovering system based on the internet of things with closed loop supply chains. *Operational Research*, 16: 543-577, 2016.
- FANG, X.; DU, Y.; QIU, YZ. Reducing carbon emissions in a closed-loop production routing problem with simultaneous pickups and deliveries under carbon cap-and-trade. *Sustainability*, 9: 1-15, 2017.
- FARD, A. M. F.; HAJAGHAEI-KESHTELI, M. A tri-level location-allocation model for forward/reverse supply chain. *Applied Soft Computing*, 62: 328-346, 2018.
- FARD, A.; GHOLIAN-JOUYBARI, F.; PAYDAR, M.; HAJIAGHAEI-KESHTELI, M. A bi-objective stochastic closed-loop supply chain network design problem considering downside risk. *Industrial Engineering and Management Systems*, 16: 342-362, 2017.
- FATTAHI, M.; GOVINDAN, K. Integrated forward/reverse logistics network design under uncertainty with pricing for collection of used products. *Annals of Operations Research*, 253: 193-225, 2017.
- FLEISCHMANN, M.; BEULLENS, P.; BLOEMHOF-RUWAARD, J.M.; VAN WASSENHOVE, L.N. The impact of product recovery on logistics network design. *Production and Operation Management*, 10: 156-173, 2001.
- FONTANA, M. E.; CAVALCANTE, C. A. V. ELECTRE TRI method used to storage location assignment into categories. *Pesquisa Operacional (Impresso)*, 33: 283-303, 2013a.
- FONTANA, M. E.; CAVALCANTE, C. A. V. Índices baseados no número de clientes para localização de itens em armazéns. *Produção*, 23: 561-569, 2013b.
- FONTANA, M. E.; CAVALCANTE, C. A. V. Use of PROMETHEE method to determine the best alternative for warehouse storage location assignment. *International Journal Advanced Manufacturing Technology*, 70: 1615-1624, 2014a.
- FONTANA, M. E.; CAVALCANTE, C. A. V. Using the eficiente frontier to obtain the best solution for the storage location assignment problem. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, Article ID 745196, 10 pages, 2014b.
- FONTANA, M. E.; NEPOMUCENO, V. S. Multi-criteria approach for products classification and their storage location assignment. *International Journal Advanced Manufacturing Technology*, 88: 3205-3216, 2017.
- FUMI, A.; SCARABOTTI, L.; SCHRALDI, M. M. Minimizing warehouse space with a dedicated storage policy. *International Journal of Engineering Business Management*, 5, 2013.

- GALO, N. R.; CALACHE, L. D. Del R.; CARPINETTI, L. C. R. A group decision approach for supplier categorization based on hesitant fuzzy and ELECTRE TRI. *International Journal of Production Economics*, 202: 182-196, 2018.
- GAO, W.; LI, T.; PENG, S.-T.; WANG, L.; ZHANG, H.-C. Optimal timing and recycling operation mode for electro-mechanical products active remanufacturing. *Frontiers of Engineering Management*, 3: 115-122, 2016.
- GARCÍA-RODRÍGUEZ, F. J.; CASTILLA-GUTIÉRREZ, C.; BUSTOS-FLORES, C. Implementation of reverse logistics as a sustainable tool for raw material purchasing in developing countries: The case of Venezuela. *International Journal of Production Economics*, 141: 582-592, 2013.
- GARG, K.; KANNAN, D.; DIABAT, A.; JHA, P. C. A multi-criteria optimization approach to manage environmental issues in closed loop supply chain network design. *Journal of Cleaner Production*, 100: 297-314, 2015.
- GAUR, J.; AMINI, M.; RAO, A. K. Closed-loop supply chain configuration for new and reconditioned products: An integrated optimization model. *Omega-International Journal of Management Science*, 66: 212-223, 2017a.
- GAUR, J.; SUBRAMONIAM, R.; GOVINDAN, K.; HUISINGH, D. Closed-loop supply chain management: From conceptual to an action oriented framework on core acquisition. *Journal of Cleaner Production*, 167: 1415-1424, 2017b.
- GEORGIADIS, P.; ATHANASIOU, E. Flexible long-term capacity planning in closed-loop supply chains with remanufacturing. *European Journal of Operational Research*, 225: 44-58, 2013.
- GEYER, R.; BLASS, V. The economics of cell phone recuse and recycling. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47: 515-525, 2010.
- GHADGE, A.; YANG, Q.; CALDWELL, N.; KOENIG, C.; TIWARI, M. K. Facility location for a closed-loop distribution network: a hybrid approach. *International Journal of Retail e Distribution Management*, 44: 884-902, 2016.
- GHAYEBLOO, S.; TAROKH, M. J.; VENKATADRI, U.; DIALLO, C. Developing a bi-objective model of the closed-loop supply chain network with green supplier selection and disassembly of products: The impact of parts reliability and product greenness on the recovery network. *Journal of Manufacturing Systems*, 36: 76-86, 2015.
- GHOMI-AVILI, M.; NANI, S.; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R.; JABBARZADEH, A. A network design model for a resilient closed-loop supply chain with lateral transshipment. *International Journal of Engineering*, 30: 374-383, 2017.
- GHORABAE, M. K.; ZAVADSKAS, E. K.; OLFAT, L.; TURSKIS, Z. Multi-criteria inventory classification using a new method of Evaluation based on Distance from Average Solution (EDAS). *Informatica*, 26: 435-451, 2015.
- GHORABAE, M.K.; AMIRI, M.; OLFAT, L.; FIROUZABADI, S. M. A. K. Designing a multi-product multi-period supply chain network with reverse logistics and multiple objectives under uncertainty. *Technological and Economic Development of Economy*, 23: 520-548, 2017.
- GIANNETTI, B. F.; BONILLA, S. H.; ALMEIDA, C. M. V. B. Na emergy-based evaluation of reverse logistics network for steel recycling. *Journal of Cleaner Production*, 46: 48-57, 2013.

- GILS, T. V.; RAMAEKERS, K.; BRAEKERS, K.; DEPAIRE, B.; CARIS, A. Increasing order picking efficiency by integrating storage, batching, zone picking, and routing policy decisions. *International Journal of Production Economics*, 197: 243–261, 2018a.
- GILS, T. V.; RAMAEKERS, K.; CARIS, A.; DE KOSTER, R. B. M. Designing efficient order picking systems by combining planning problems: State-of-the-art classification and review. *European Journal of Operational Research*, 267: 1–15, 2018b.
- GIRI, B. C.; CHAKRABORTY, A.; MAITI, T. Pricing and return product collection decisions in a closed-loop supply chain with dual-channel in both forward and reverse logistics. *Journal of Manufacturing Systems*, 42: 104-123, 2017.
- GIRI, B. C.; SHARMA, S. Optimal production policy for a closed-loop hybrid system with uncertain demand and return under supply disruption. *Journal of Cleaner Production*, 112: 2015-2028, 2016.
- GIRI, B.; GLOCK, C. A closed-loop supply chain with stochastic product returns and worker experience under learning and forgetting. *International Journal of Production Research*, 55: 6760-6778, 2017.
- GOLROUDBARY, S. R.; ZAHRAEE, S. M. System dynamics model for optimizing the recycling and collection of waste material in a closed-loop supply chain. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 53: 88-102, 2015.
- GONG, G.; DENG, Q.; GONG, X.; ZHANG, L.; WANG, H.; XIE, H. A bee evolutionary algorithm for multiobjective vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/2571380>
- GOVINDA, K.; SOLEIMANI, H. A review of reverse logistics and closed-loop supply chains: a Journal of Cleaner Production focus. *Journal of Cleaner Production*, 142: 371-384, 2017.
- GOVINDAN, K.; DARBARI, J.; AGARWAL, V.; JHA, P. Fuzzy multi-objective approach for optimal selection of suppliers and transportation decisions in an eco-efficient closed loop supply chain network. *Journal of Cleaner Production*, 165: 1598-1619, 2017a.
- GOVINDAN, K.; FATTAHI, M.; KEYVANSHOKOOH, E. Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions. *European Journal of Operational Research*, 263: 108-141, 2017b.
- GOVINDAN, K.; JEPSEN, M. B. ELECTRE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 250: 1-29, 2016.
- GOVINDAN, K.; SOLEIMANI, H. A review of reverse logistics and closed-loop supply chains: a Journal of Cleaner Production focus. *Journal of Cleaner Production*, 142: 371-384, 2017.
- GOVINDAN, K.; SOLEIMANI, H.; KANNAN, D. Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. *European Journal of Operational Research*, 240: 603-626, 2015.
- GU, J.; GOETSCHALCKX, M.; MCGINNIS, L. F. Research on Warehouse Design and Performance Evaluation: A Comprehensive Review. *European Journal of Operational Research*, 203: 539–549, 2010.
- GU, J.; GOETSCHALCKX, M.; MCGINNIS, L. F. Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 177: 1–21, 2007.
- GUARNIERI, P. Decision making regarding information sharing in collaborative relationships under an MCDA perspective. *International Journal Management and Decision Making*, 13: 77-98, 2014.

- GUARNIERI, P.; DUTRA, D. DE J. DA S.; PAGANI, R. N.; HATAKEYAMA, K.; PILATTI, L. A. Obtendo competitividade através da logística reversa: estudo de caso em uma madeireira. *Journal of Technology Management e Innovation*, 1: 121-130, 2006.
- GUERRIERO, F.; MUSMANNO, R.; PISACANE, O.; RENDE, F. A mathematical model for the Multi-Levels Product Allocation Problem in a warehouse with compatibility constraints. *Applied Mathematical Modelling*, 37: 4385–4398, 2013.
- GUIDE, JR. V. D. R.; WASSENHOVE, L. N. V. The evolution of closed-loop supply chain research. *Operations Research*, 57: 10-18, 2009.
- GUO, J.; WANG, X.; FAN, S.; GEN, M. Forward and reverse logistics network and route planning under the environment of low-carbon emissions: A case study of Shanghai fresh food Ecommerce enterprises. *Computers e Industrial Engineering*, 106: 351-360, 2017.
- HAHLER, S.; FLEISCHMANN, M. Strategic grading in the product acquisition process of a reverse supply chain. *Production and Operations Management*, 26: 1498-1511, 2017.
- HANSEN, Z. N. L.; LARSEN, S. B.; NIELSEN, A. P.; GROTH, A.; GREGERSEN, N. G.; GHOSH, A. Combining or separating forward and reverse logistics. *International Journal of Logistics Management*, 29: 216-236, 2018.
- HARRAZ, N. A.; GALAL, N. M. Design of Sustainable End-of-life Vehicle recovery network in Egypt. *Ain Shams Engineering Journal*, 2: 211–219, 2011.
- HASANI, A.; ZEGORDI, S. H.; NIKBAKHS, E. Robust closed-loop supply chain network design for perishable goods in agile manufacturing under uncertainty. *International Journal of Production Research*, 50: 4649-4669, 2012.
- HASHEMI, V.; CHEN, M.; FANG, L. Process planning for closed-loop aerospace manufacturing supply chain and environmental impact reduction. *Computers e Industrial Engineering*, 75: 87-95, 2014.
- HASSAN, M. M. D. A framework for the design of warehouse layout. *Facilities*, 20: 432-440, 2002.
- HATEFI, S. M.; JOLAI, F.; TORABI, S. A.; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R. A credibility-constrained programming for reliable forward-reverse logistics network design under uncertainty and facility disruptions. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 28: 664-678, 2015a.
- HATEFI, S. M.; JOLAI, F.; TORABI, S. A.; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R. Reliable design of an integrated forward-reverse logistics network under uncertainty and facility disruptions: A fuzzy possibilistic programming model. *Ksce Journal of Civil Engineering*, 19: 1117-1128, 2015b.
- HATEFI, S. M.; JOLAI, F.; TORABI, S.A.; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R. Integrated forward-reverse logistics network design under uncertainty and reliability consideration *Scientia Iranica*, 23: 721-735, 2016.
- HATEFI, S.; JOLAI, F. Robust and reliable forward-reverse logistics network design under demand uncertainty and facility disruptions. *Applied Mathematical Modelling*, 38: 2630-2647, 2014.
- HE, Y.; Supply risk sharing in a closed-loop supply chain. *International Journal of Production Economics*, 183: 39-52, 2017.
- HENN, S.; SCHMID, V. Metaheuristics for order batching and sequencing in manual order picking systems. *Computers e Industrial Engineering*, 66: 338–351, 2013.

- HENN, S.; WÄSCHER, G. Tabu search heuristics for the order batching problem in manual order picking systems. *European Journal of Operational Research*, 222: 484-494, 2012.
- HEYDARI, J.; GOVINDAN, K.; JAFARI, A. Reverse and closed loop supply chain coordination by government role. *Transportation Research Part D-Transport and Environment*, 52: 379-398, 2017.
- HOSSEINI, M. R.; RAMEEZDEEN, R.; CHILESHE, N.; LEHMANN, S. Reverse logistics in the construction industry. *Waste Management e Research*, 33: 499-514, 2015.
- HU, Z.-H.; SHEU, J.-B.; ZHAO, L.; LU, C.-C. A dynamic closed-loop vehicle routing problem with uncertainty and incompatible goods. *Transportation Research Part C-Emerging Technologies*, 55: 273-297, 2015.
- HUANG, M.; YI, P.; SHI, T. Triple recycling channel strategies for remanufacturing of construction machinery in a retailer-dominated closed-loop supply chain. *Sustainability*, 9: 1-19, 2017.
- ISEN, E.; BORAN, S. Anovel approach based on combining ANFIS, genetic algorithm and fuzzy c-means methods for multiple criteria inventory classification. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43: 3229-3239, 2018.
- ISHIZAKA, A.; PEARMAN, C.; NEMERY, P. AHPSort: an AHP- based method for sorting problems. *International Journal of Production Research*, 50: 4767-4784, 2012.
- ISLAM, M. T.; HUDA, N. Reverse logistics and closed-loop supply chain of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)/E-waste: A comprehensive literature review. *Resources, Conservation and Recycling*, 137: 48-75, 2018.
- IVANOV, D.; PAVLOV, A.; PAVLOV, D.; SOKOLOV, B. Minimization of disruption-related return flows in the supply chain. *International Journal of Production Economics*, 183: 503-513, 2017.
- JABBARZADEH, A.; HAUGHTON, M.; KHOSROJERDI, A. Closed-loop supply chain network design under disruption risks: a robust approach with real world application. *Computers e Industrial Engineering*, 116: 178-191, 2018.
- JANE, C.-C.; LAIH, Y.-W. A clustering algorithm for the item in a synchronized zone order picking system. *European Journal of Operational Research*, 155:489-496, 2005.
- JAYANT, A.; GUPTA, P.; GARG, S. K. Simulation Modelling and Analysis of Network Design for Closed-Loop Supply Chain: A Case Study of Battery Industry. *Procedia Engineering*, 97: 2213 – 2221, 2014.
- JEIHOONIAN, M.; ZANJANI, M. K.; GENDREAU, M. Accelerating Benders decomposition for closed-loop supply chain network design: Case of used durable products with different quality levels. *European Journal of Operational Research*, 251: 830-845, 2016.
- JEIHOONIAN, M.; ZANJANI, M. K.; GENDREAU, M. Closed-loop supply chain network design under uncertain quality status: Case of durable products. *International Journal of Production Economics*, 183: 470-486, 2017.
- JENA, S. K.; SARMAH, S. P. Future aspect of acquisition management in closed-loop supply chain. *International Journal of Sustainable Engineering*, 9: 266-276, 2016.
- JERBIA, R.; BOUJELBEN, M. K.; SEHLI, M. A.; JEMAI, Z. A stochastic closed-loop supply chain network design problem with multiple recovery options. *Computers e Industrial Engineering*, 118: 23-32, 2018.

- JINDAL, A.; SANGWAN, K. Closed loop supply chain network design and optimisation using fuzzy mixed interger linear programming model. *International Journal of Production Research*, 52: 4156-4173, 2014.
- JINDAL, A.; SANGWAN, K. Multi-objective fuzzy mathematical modelling of closed-loop supply chain considering economical and environmental factors. *Annals of Operations Research*, 257: 95-120, 2017.
- JINDAL, A.; SANGWAN, K. S.; SAXENA, S. Network design and optimization for multi-product, multi-time, multi-echelon closed loop supply chain under uncertainty. *Procedia CIRP*, 29: 656-661, 2015.
- JUNG, K. S.; DAWANDE, M.; GEISMAR, H. N.; GUIDE, V. D. R. JR.; SRISKANDARAJAH, C. Supply planning models for a remanufacturer under just-in-time manufacturing environment with reverse logistics. *Annals of Operations Research*, 240: 533-581, 2016.
- KADAMBALA, D. K.; SUBRAMANIAN, N.; TIWARI, M. K.; ABDULRAHMAN, M.; LIU, C. Closed loop supply chain networks: Designs for energy and time value efficiency. *International Journal of Production Economics*, 183: 382-393, 2017.
- KALAITZIDOU, M. A.; LONGINIDIS, P.; GEORGIADIS, M. C. Optimal design of closed-loop supply chain networks with multifunctional nodes. *Computers e Chemical Engineering*, 80: 73-91, 2015.
- KANNAN, G.; SASIKUMAR, P.; DEVIKA, K. A genetic algorithm approach for solving a closed loop supply chain model: A case of battery recycling. *Applied Mathematical Modelling*, 34: 655-670, 2010.
- KAPUR, P.; SACHDEVA, N.; SINGH, O. Optimal profit for manufacturers in product remanufacturing diffusion dynamics. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 34: 568-579, 2017.
- KASSEM, S.; CHEN, M. Solving reverse logistics vehicle routing problems with time Windows. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 68: 57-68, 2013.
- KAYA, O. Incentive and production decisions for remanufacturing operations. *European Journal of Operational Research*, 201: 442-453, 2010.
- KE, H.; WU, Y.; HUANG, H. Competitive pricing and remanufacturing problem in an uncertain closed-loop supply chain with risk-sensitive retailers. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 35: 1-21, 2018. <http://dx.doi.org/10.1142/S0217595918500033>
- KENNÉ, J. P.; DEJAX, P. GHARBIC, A. Production planning of a hybrid manufacturing-remanufacturing system under uncertainty with in a closed-loop supply chain. *International Journal of Production Economics*, 135: 81-93, 2012.
- KEYVANSHOKOOH, E.; FATTAHI, M.; SEYED-HOSSEINI, S. M.; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R. A dynamic pricing approach for returned products in integrated forward/reverse logistics network design. *Applied Mathematical Modelling*, 37: 10182-10202, 2013.
- KEYVANSHOKOOH, E.; RYAN, S. M.; KABIR, E. Hybrid robust and stochastic optimization for closed-loop supply chain network design using accelerated Benders decomposition. *European Journal of Operational Research*, 249: 76-92, 2016.
- KHATAMI, M.; MAHOOTCHI, M.; FARAHANI, R. Z. Benders' decomposition for concurrent redesign of forward and closed-loop supply chain network with demand and return uncertainties. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 79: 1-21, 2015.



- KHOR, K. S.; HAZEN, B. T. Remanufactured products purchase intentions and behaviour: Evidence from Malaysia. *International Journal of Production Research*, 55: 2149-2162, 2017.
- KIM, J.; DO CHUNG, B.; KANG, Y.; JEONG, B. Robust optimization model for closed-loop supply chain planning under reverse logistics flow and demand uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, 196: 1314-1328, 2018.
- KIM, T.; GLOCK, C.; KWON, Y. A closed-loop supply chain for deteriorating products under stochastic container return times. *Omega-International Journal of Management Science*, 43: 30-40, 2014.
- KIM, T.; GOYAL, S. Determination of the optimal production policy and product recovery policy: The impacts of sales margin of recovered product. *International Journal of Production Research*, 49: 2535-2550, 2011.
- KIM, T.; GOYAL, S. K.; KIM, C.-H. Lot-streaming policy for forward-reverse logistics with recovery capacity investment. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 68: 509-522, 2013.
- KISOMI, M. S.; SOLIMANPUR, M.; DONIAVI, A. An integrated supply chain configuration model and procurement management under uncertainty: A set-based robust optimization methodology. *Applied Mathematical Modelling*, 40: 7928-7947, 2016.
- KIZILBOGA, G.; MANDIL, G.; GENEVOIS, M. E.; ZWOLINSKI, P. Remanufacturing Network Design Modeling: A Case of Diesel Particulate Filter. *Procedia CIRP*, 11: 163 – 168, 2013.
- KLODAWSKI, M.; JACYNA, M.; LEWCZUK, K.; WASIAK, M. The Issues of Selection Warehouse Process Strategies. *Procedia Engineering* 187: 451 – 457, 2017.
- KOUEDEU, A. F.; KENNE, J.-P.; DEJAX, P.; SONGMENE, V.; POLOTSKI, V. Analytical modelling and control of a hybrid manufacturing/remanufacturing system. *IFAC Proceedings*, 46: 401-406, 2013.
- KOVACIC, D.; USENIK, J.; BOGATAJ, M. Optimal decisions on investments in Urban Energy Cogeneration plants - Extended MRP and fuzzy approach to the stochastic systems. *International Journal of Production Economics*, 183: 583-595, 2017.
- KRAPP, M.; NEBEL, J.; SAHAMIE, R. Forecasting product returns in closed-loop supply chains. *International Journal of Physical Distribution e Logistics Management*, 43: 614-637, 2013a.
- KRAPP, M.; NEBEL, J.; SAHAMIE, R. Using forecasts and managerial accounting information to enhance closed-loop supply chain management. *Or Spectrum*, 35: 975-1007, 2013b.
- KRIKKE, H. Impact of closed-loop network configurations on carbon footprints: A case study in copiers. *Resources Conservation and Recycling*, 55: 1196-1205, 2011.
- KRIKKE, H.; HOFENK, D.; WANG, Y. Revealing an invisible giant: A comprehensive survey into return practices within original (closed-loop) supply chains. *Resources Conservation and Recycling*, 73: 239-250, 2013.
- KULAK, O.; SAHIN, Y.; TANER, M. E. Joint order batching and picker routing in single and multiple-cross-aisle warehouses using cluster-based tabu search algorithms. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 24: 52–80, 2012.
- KUMAR, V. N. S. A.; KUMAR, V.; BRADY, M.; GARZA-REYES, J. A.; SIMPSON, M. Resolving forward-reverse logistics multi-period model using evolutionary algorithms. *International Journal of Production Economics*, 183: 458-469, 2017.

- KUMAR, V.; CHAN, F. A superiority search and optimisation algorithm to solve RFID and an environmental factor embedded closed loop logistics mode. *International Journal of Production Research*, 49: 4807-4831, 2011.
- KUO, R. J.; KUO, P. H.; CHEN, Y. R.; ZULVIA, F. E. Application of metaheuristics-based clustering algorithm to item assignment in a synchronized zone order picking system. *Applied Soft Computing*, 46: 143-150, 2016.
- LEE, D.-H.; DONG, M. Dynamic network design for reverse logistics operations under uncertainty. *Transportation Research Part E*, 45: 61-71, 2009.
- LEE, J.-E.; LEE, K.-D. Integrated forward and reverse logistics model: a case study in distilling and sale company in Korea. *International Journal of Innovative Computing Information and Control*, 8: 4483-4495, 2012.
- LEHR, C. B.; THUN, J.-H.; MILLING, P. M. From waste to value - a system dynamics model for strategic decision-making in closed-loop supply chains. *International Journal of Production Research*, 51: 4105-4116, 2013.
- LEITE, P. R. Logística reversa: meio ambiente e competitividade. São Paulo: Prentice Hall, 2003.
- LEME, M. O. Metodologia de manutenção preditiva para motores elétricos baseada em monitoramento de variáveis físicas e análise multicritério. Ponta Grossa, 2017. 185f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2017.
- LI, J.; HUANG, R.; DAI, J. B. Joint optimisation of order batching and picker routing in the online retailers warehouse in China. *International Journal of Production Research*, 55:447-461, 2017.
- LI, Y.; LU, M.; LIU, B. A two-stage algorithm for the closed-loop location-inventory problem model considering returns in e-commerce. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/260869>
- LIAO, B.-F.; LI, B.-Y. A marketing strategy in a closed-loop supply chain with loss-averse consumers. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/2560153>
- LIAO, T.-Y. Reverse Logistics Network Design for Product Recovery and Remanufacturing. *Applied Mathematical Modelling*, 2018.
- LIECKENS, K.; VANDAELE, N. Multi-level reverse logistics network design under uncertainty. *International Journal of Production Research*, 50: 23-40, 2012.
- LIN, C.-H. E LU, I.-Y. The procedure of determining the order picking strategies in distribution center. *International Journal Production Economics*, 60-61: 301-307, 1999.
- LITVINCHEV, I.; RIOS, Y.; OZMEDIR, D.; HERNANDEZ-LANDA, L. Multiperiod and stochastic formulations for a closed loop supply chain with incentives. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 53: 201-211, 2014.
- LOURENÇO, R. P.; COSTA, J. P. Using ELECTRE TRI outranking method to sort MOMILP nondominated solutions. *European Journal of Operational Research*, 153: 271-289, 2004.
- MA, H.; LI, X. Closed-loop supply chain network design for hazardous products with uncertain demands and returns. *Applied Soft Computing*, 68: 889-899, 2018.

- MAIA, J. L.; CERRA, A. L.; ALVES FILHO, A. G. Inter-relações entre estratégia de operações e gestão da cadeia de suprimentos: estudos de caso no segmento de motores para automóveis. *Gestão e Produção*, 12: 377-391, 2005.
- MAITI, T.; GIRI, B. C. A closed loop supply chain under retail price and product quality dependent demand. *Journal of Manufacturing Systems*, 37: 624-637, 2015.
- MAITI, T.; GIRI, B. C. Two-way product recovery in a closed-loop supply chain with variable markup under price and quality dependent demand. *International Journal of Production Economics*, 183: 259-272, 2017.
- MASOUDIPOUR, E.; AMIRIAN, H.; SAHRAEIAN, R. A novel closed-loop supply chain based on the quality of returned products. *Journal of Cleaner Production*, 151: 344-355, 2017.
- MAWANDIYA, B. K.; JHA, J. K.; THAKKAR, J. Two-echelon closed-loop supply chain deterministic inventory models in a batch production environment. *International Journal of Sustainable Engineering*, 9: 315-328, 2016.
- MEHDIZADEH, E.; AFRABANDPEI, F.; MOHASELAFSHAR, S.; AFSHAR-NADJAFI, B. Design of a multi-stage transportation network in a supply chain system: Formulation and efficient solution procedure. *Scientia Iranica*, 20: 2188-2200, 2013.
- MEHRBOD, M.; TU, N.; MIAO, L.; DAI, W. Interactive fuzzy goal programming for a multi-objective closed-loop logistics a network. *Annals of Operations Research*, 201: 367-381, 2012.
- MEHRBOD, M.; XUE, Z.; MIAO, L.; LIN, W.-H. A straight priority-based genetic algorithm for a logistics network. *Rairo-Operations Research*, 49: 243-264, 2015.
- MENÉNDEZ, B.; BUSTILLO, M.; PARDO, E. G.; DUARTE, A. General variable neighborhood search for the order batching and sequencing problem. *European Journal of Operational Research*, 263:82-93, 2017.
- MINGYONG, L.; ERBAO, C. An improved differential evolution algorithm for vehicle routing problem with simultaneous pickups and deliveries and time windows. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23: 188-195, 2010.
- MINNER, S.; KIESMULLER, G. P. Dynamic product acquisition in closed loop supply chains. *International Journal of Production Research*, 50: 2836-2851, 2012.
- MIRAKHORLI, A. Fuzzy multi-objective optimization for closed loop logistics network design in bread-producing industries. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70: 349-362, 2014.
- MITRA, S. Inventory management in a two-echelon closed-loop supply chain with correlated demands and returns. *Computers e Industrial Engineering*, 62: 870-879: 2012.
- MOGHADDAM, K. S. Supplier selection and order allocation in closed-loop supply chain systems using hybrid Monte Carlo simulation and goal programming. *International Journal of Production Research*, 53: 6320-6338, 2015.
- MOHAMMADZADEH, M.; KHAMSEH, A.; MOHAMMADI, M. A multi-objective integrated model for closed-loop supply chain configuration and supplier selection considering uncertain demand and different performance levels. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 13: 1041-1064, 2017.

- MOHAMMED, F.; SELIM, S.; HASSAN, A.; SYED, M. Multi-period planning of closed-loop supply chain with carbon policies under uncertainty. *Transportation Research Part D-Transport and Environment*, 51: 146-172, 2017.
- MONDAGROM, A.; LALWANI, C.; MONDAGROM, C. Measures for auditing performance and integration in closed-loop supply chains. *Supply Chain Management-An International Journal*, 16: 43-56, 2011.
- MOSHTAGH, M.; TALEIZADEH, A. Stochastic integrated manufacturing and remanufacturing model with shortage, rework and quality based return rate in a closed loop supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 141: 1548-1573, 2017.
- MOUSSEAU, V.; SLOWINSKI, R.; ZIELNIEWICZ, P. A user-oriented implementation of the ELECTRE-TRI method integrating preference elicitation support. *Computers e Operations Research*, 27: 757-777, 2000.
- MUPPANI, V. R.; ADIL, G. K. A branch and bound algorithm for class based storage location assignment. *European Journal of Operational Research*, 189: 492-507, 2008a.
- MUPPANI, V. R.; ADIL, G. K. Efficient formation of storage classes for warehouse storage location assignment: A simulated annealing approach. *Omega*, 36: 609-618, 2008b.
- NAHR, J. G.; KIAN, R.; REZAZADEH, H. A modified priority-based encoding for design of a closed-loop supply chain network using a discrete league championship algorithm. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/8163927>
- NALLUSAMY, S.; BALAKANNAN, K.; CHAKRABORTY, P. S.; MAJUMDAR, G. A mixed-integer linear programming model of closed loop supply chain network for manufacturing system. *International Journal of Engineering Research In Africa*, 35:198-207, 2018.
- NDHAIEF, N.; BISTORIN, O.; REZG, N. A modelling approach for city locating logistic platforms based on combined forward and reverse flows. *IFAC-PapersOnLine*, 50: 11701-11706, 2017.
- NOVA, A. R. A. P. V.; FONTANA, M. E. Uso do mapa cognitivo como ferramenta na identificação das prioridades nas operações de separação de pedidos. In: *L SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL (SBPO)*, Rio de Janeiro/RJ, 2018.
- NOVA, A. R. A. P. V.; SANTOS, K. O.; FONTANA, M. E. Estudo de fatores relevantes para o problema de atribuição do local em armazém. In: *VI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (CONBREPRO)*, Ponta Grossa/ PR, 2017.
- NUSS, C.; SAHAMIE, R.; STINDT, D. The Reverse Supply Chain Planning Matrix: A Classification Scheme for Planning Problems in Reverse Logistics. *International Journal of Management Reviews*, 17: 413-436, 2015.
- OH, J.; JEONG, B. Profit analysis and supply chain planning model for closed-loop supply chain in fashion industry. *Sustainability*, 6: 9027-9056, 2014.
- ÖNCAN, T. MILP formulations and an iterated local search algorithm with tabu thresholding for the order batching problem. *European Journal of Operational Research*, 243: 142-155, 2015.
- OZCEYLAN, E.; PAKSOY, T. A mixed integer programming model for a closed-loop supply-chain network. *International Journal of Production Research*, 51: 718-734, 2013.
- OZKIR, V.; BASLIGIL, H. Modelling product-recovery processes in closed-loop supply-chain network design. *International Journal of Production Research*, 50: 2218-2233, 2012.

- ÖZKIR, V.; BASLIGIL, H. Multi-objective optimization of closed-loop supply chains in uncertain environment. *Journal of Cleaner Production*, 41:114-125, 2013.
- ÖZTÜRKOĞLU, Ö.; GUE, K. R.; MELLER, R. D. A constructive aisle design model for unit-load warehouses with multiple pickup and deposit points. *European Journal of Operational Research*, 236: 382–394, 2014.
- PAN, J. C.-H.; SHIH, P.-H.; WU, M.-H. Storage assignment problem with travel distance and blocking considerations for a picker-to-part order picking system. *Computers e Industrial Engineering*, 62: 527–535, 2012.
- PAN, J. C.-H.; WU, M.-H. Throughput analysis for order picking system with multiple pickers and aisle congestion considerations. *Computers e Operations Research*, 39: 1661–1672, 2012.
- PAN, J. C.-H.; WU, M.-H.; CHANG, W.-L. A travel time estimation model for a high-level picker-to-part system with class-based storage policies. *European Journal of Operational Research*, 237: 1054–1066, 2014.
- PANAGIOTIDOU, S.; NENES, G.; ZIKOPOULOS, C.; TAGARAS, G. Joint optimization of manufacturing/remanufacturing lot sizes under imperfect information on returns quality. *European Journal of Operational Research*, 258: 537-551, 2017.
- PARAS, M. K.; PAL, R. Application of Markov chain for LCA: a study on the clothes 'reuse' in Nordic countries. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94: 191-201, 2018.
- PARIKH, P. J.; MELLER, R. D. Selecting between batch and zone order picking strategies in a distribution center. *Transportation Research Part E*, 44: 696–719, 2008.
- PARK, J.; BAE, H.; BAE, J. Cross-evaluation -based weighted linear optimization for multi-criteria ABC inventory classification. *Computers e Industrial Engineering*, 76: 40-48, 2014.
- PAYDAR, M.; BABAVEISE, V.; SAFAEI, A. An engine oil closed-loop supply chain design considering collection risk. *Computers e Chemical Engineering*, 104: 38-55, 2017.
- PEDRAM, A.; BIN YUSOFF, N.; UDONCY, O.; MAHAT, A.; PEDRAM, P.; BABALOLA, A. Integrated forward and reverse supply chain: A tire case study. *Waste Management*, 60: 460-470, 2017.
- PELISSARI, R.; OLIVEIRA, M.C.; BEN AMOR, S. ABACKERLI, A. J. A new FlowSort-based method to deal with information imperfections in sorting decision-making problems. *European Journal of Operational Research*, 276: 235-246, 2019.
- PEREIRA, M. M.; MACHADO, R. L.; PIRES, S. R. I.; DANTAS, M. J. P.; ZALUSKI, P. R.; FRAZZON, E. M. Forecasting scrap tires returns in closed-loop supply chains in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 188: 741-750, 2018.
- PETERSEN, C. G. The impact of routing and storage policies on warehouse efficiency. *International Journal of Operations e Production Management*, 19: 1053-1064, 1999.
- PETERSEN, C. G.; AASE, G. A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking. *International Journal of Production Economics*, 92: 11–19, 2004.
- PETERSEN, C. G.; SCHMENNER, R. W. An evaluation of routing and volume- based storage policies in an order picking operation. *Decision Sciences*, 30: 481–501, 1999.
- PHUC, P.; YU, V.; CHOU, S. Optimizing the fuzzy closed-loop supply chain for electrical electronics equipments. *International Journal of Fuzzy Systems*, 15: 9-21, 2013.

- PISHVAEE, M.; FARAHANI, R.; DULLAERT, W. A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design. *Computers e Operations research*, 37: 1100-1112, 2010.
- PISHVAEE, M.; RABBANI, M.; TORABI, S. A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Applied Mathematical Modelling*, 35: 637-649, 2011.
- PISHVAEE, M.; TORABI, S. A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Fuzzy Sets and Systems*, 161: 2668-2683, 2010.
- POHL, L. M.; MELLER, R. D.; GUE, K. R. An analysis of dual-command operations in common warehouse designs. *Transportation Research Part E*, 45: 367-379, 2009.
- POLOTSKI, V.; KENNE, J.-P.; GHARBI, A. Production and setup policy optimization for hybrid manufacturing-remanufacturing systems. *International Journal of Production Economics*, 183: 322-333, 2017.
- POLOTSKI, V.; KENNE, J.-P.; GHARBI, A. Production and setup policy optimization for hybrid manufacturing-remanufacturing systems. *IFAC-PapersOnLine*, 48: 2021-2026, 2015.
- PONCE-CUETO, E.; MUELAS, M. M. Integrating forward and reverse logistics network for commercial goods management. An integer linear programming model proposal. *International Journal of Production Management and Engineering*, 3: 25-32, 2015.
- PRAJOGO, D.; OLHAGER, J. Supply chain integration and performance: The effects of long-term relationships, information technology and sharing, and logistics integration. *International Journal of Production Economics*, 135: 514-522, 2012.
- QIU, Y.; NI, M.; WANG, L.; LI, Q.; FANG, X.; PARDALOS, P. M. Production routing problems with reverse logistics and remanufacturing. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 111: 87-100, 2018.
- QUADER, S.; CASTILLO-VILLAR, K. K. Design of an enhanced multi-aisle order picking system considering storage assignments and routing heuristics. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 50: 13-29, 2018.
- RAD, R. S.; NAHAVANDI, N.; KASHAN, A. H.; ZEGORDI, S. H. An Integrated Closed-loop Supply Chain Configuration Model and Supplier Selection based on Offered Discount Policies. *International Journal of Engineering*, 31: 440-449, 2018.
- RAHMANI, A. Competitive facility location problem with attractiveness adjustment of the follower on the closed supply chain. *Cogent Mathematics*, 3: 1-19, 2016. <https://doi.org/10.1080/23311835.2016.1189375>
- RAHMANI-AHRANJANI, A.; BOZORGI-AMIRI, A.; SEIFBARGHY, M.; NAJAFI, E. Managing environmentally conscious in designing closed-loop supply chain for the paper industry. *International Journal of Engineering*, 30: 1038-1047, 2017.
- RAI, S.; ETTAM, R. K. Autonomous Cell Based Storage Location Assignment Strategy in Print Production Environments. *International Journal of Performability Engineering*, 12: 45-54, 2016.
- RAJ, T. S.; LAKSHRNINARAYANAN, S.; FORBES, J. F. Divide and conquer optimization for closed loop supply chains. *Industrial e Engineering Chemistry Research*, 52: 16267-16283, 2013.
- RAKESH, V.; ADIL, G. K. Layout optimization of a three dimensional order picking warehouse. *IFAC-PapersOnLine*, 48: 1155-1160, 2015.

- RAMEZANI, M.; BASHIRI, M.; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R. A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level. *Applied Mathematical Modelling*, 37: 328-344, 2013a.
- RAMEZANI, M.; BASHIRI, M.; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R. A robust design for a closed-loop supply chain network under an uncertain environment. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 66: 5-8, 2013b.
- RAMEZANI, M.; KIMIAGARI, A. M. Simultaneous optimization of operational and financial decisions to closed-loop supply chain network under uncertainty. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture*, 230: 1910-1924, 2016.
- RAMEZANI, M.; KIMIAGARI, A. M.; KARIMI, B. Interrelating physical and financial flows in a bi-objective closed-loop supply chain network problem with uncertainty. *Scientia Iranica*, 22: 1278-1293, 2015.
- RAMEZANI, M.; KIMIAGARI, A.; KARIMI, B. Closed-loop supply chain network design: A financial approach. *Applied Mathematical Modelling*, 38: 15-16, 2014a.
- RAMEZANI, M.; KIMIAGARI, A.; KARIMI, B.; HEJAZI, T. Closed-loop supply chain network design under a fuzzy environment. *Knowledge-based Systems*, 59: 108-120, 2014b.
- RAN, W.; CHEN, F.; WU, Q.; LIU, S. A study of the closed-loop supply chain coordination on waste glass bottles recycling. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/1049514>
- REZAPOUR, S.; FARAHAMI, R. Z.; FAHIMNIA, B.; GOVINDAN, K.; MANSOURI, Y. Competitive closed-loop supply chain network design with price-dependent demands. *Journal of Cleaner Production*, 93: 251-272, 2015.
- ROBOTIS, A.; BOYACI, T.; VERTER, VEDAL. Investing in reusability of products of uncertain remanufacturing cost: The role of inspection capabilities. *International Journal of Production Economics*, 140, 385-395, 2012.
- ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBKE, R. S. Going Backwards: Reverse Logistics trends and practices, Reno, NV: Reverse Logistics Executive Council, 1999.
- ROGHANIAN, E.; PAZHONESHFAR, P. An optimization model for reverse logistics network under stochastic environment by using genetic algorithm. *Journal of Manufacturing Systems*, 33: 348-356, 2014.
- ROODBERGEN, K. J.; DE KOSTER, R. Routing methods for warehouses with multiple cross aisles. *International Journal of Production Research*, 39:1865-1883, 2001.
- ROODBERGEN, K. J.; VIS, I. F. A. A survey of literature on automated storage and retrieval systems. *European Journal of Operational Research*, 194: 343-362, 2009.
- ROODBERGEN, K. J.; SHARP, G. P.; VIS, I. F. A. Designing the layout structure of manual order picking areas in warehouse. *IIE Transactions*, 40: 1032-1045, 2008.
- ROODBERGEN, K. J.; VIS, I.; DON TAYLOR JR, G. Simultaneous determination of warehouse layout and control policies. *International Journal of Production Research*, 53: 3306-3326, 2015.
- ROUWENHORST, B.; REUTER, B.; STOCKRAHM, V.; VAN HOUTUM, G. J.; MANTEL, R. J.; ZIJM, W. H. M. Warehouse design and control: Framework and literature review. *European Journal of Operational Research*, 122: 515-533, 2000.

- RUBEN, R. A.; JACOBS, F. R. Batch Construction Heuristics and Storage Assignment Strategies for Walk/Ride and Pick Systems. *Management Science*, 45: 575-596, 1999.
- SAFAEI, A.; ROOZBEH, A.; PAYDAR, M. A robust optimization model for the design of a cardboard closed-loop supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 166: 1154-1168, 2017.
- SAHA, S.; SARMAH, S. P.; MOON, I. Dual channel closed-loop supply chain coordination with a reward-driven remanufacturing policy. *International Journal of Production Research*, 54: 1503-1517, 2016.
- SAINATHUNI, B.; PARIKH, P. J.; ZHANG, X.; KONG, N. The warehouse-inventory-transportation problem for supply chains. *European Journal of Operational Research*, 237:690-700, 2014.
- SANGWAN, K. S. Key activities, decision variables and performance indicators of reverse logistics. *Procedia CIRP*, 61: 257 – 262, 2017.
- SASIKUMAR, A.; NATARAJAN, K.; RAMASUBRAMANIAM, M. S.; DEEPAKNALLASAMY, K. K. Optimal inventory policy in a closed loop supply chain system with multiple periods. *Journal of Industrial Engineering and Management-Jiem*, 10: 237-265, 2017.
- SCHENKEL, M.; CANIELS, M. C. J.; KRIKKE, H.; VAN DER LAAN, E. Understanding value creation in closed loop supply chains - Past findings and future directions. *Journal of Manufacturing Systems*, 37: 729-745, 2015a.
- SCHENKEL, M.; KRIKKE, H.; CANIELS, M. C. J.; VAN DER LAAN, E. Creating integral value for stakeholders in closed loop supply chains. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 21: 155-166, 2015b.
- SCHOLZ, A.; HENN, S.; STUHLMANN, M.; WÄSCHER, G. A new mathematical programming formulation for the single-picker routing problem. *European Journal of Operational Research*, 253: 68–84, 2016.
- SCHULZ, T.; VOIGT, G. A flexibly structured lot sizing heuristic for a static remanufacturing system. *Omega-International Journal of Management Science*, 44: 21-31, 2014.
- SHAH, B.; KHANZODE, V. A Comprehensive Review of Warehouse Operational. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 26: 346-378, 2017a.
- SHAH, B.; KHANZODE, V. Designing a lean storage allocation policy for non-uniform unit loads in a forward-reverse model: an enterprise information management with an e-decision support system. *Journal of Enterprise Information Management*, 31: 112-145, 2018.
- SHAH, B.; KHANZODE, V. Storage allocation framework for designing lean buffers in forward-reserve model: a test case. *International Journal of Retail e Distribution Management*, 45: 90-118, 2017b.
- SHAHARUDIN, M. R.; GOVINDAN, K.; ZAILANI, S.; TAN, K. C.; IRANMANESH, M. Product return management: linking product returns, closed-loop supply chain activities and the effectiveness of the reverse supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 149: 1144-1156, 2017.
- SHAHPARVARI, S.; CHHETRI, P.; CHAN, C.; ASEFI, H. Modular recycling supply chain under uncertainty: a robust optimisation approach. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 96: 915-934, 2018.



- SHANKAR, R.; BHATTACHARYYA, S.; CHOUDHARY, A. A decision model for a strategic closed-loop supply chain to reclaim End-of-Life Vehicles. *International Journal of Production Economics*, 195: 273-286, 2018.
- SHARMA, S.; SHAH, B. A proposed hybrid storage assignment framework: a case study. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 64: 870-892, 2015.
- SHENOY, D.; BHADURY, B. *Maintenance resources management: adapting MRP*. London: Editora Taylor & Francis, 2005.
- SHERIFF, K.; NACHIAPPAN, S.; MIN, H. Combined location and routing problems for designing the quality-dependent and multi-product reverse logistics network. *Journal of The Operational Research Society*, 65: 873-887, 2014.
- SHI, J.; LIU, Z.; TANG, L.; XIONG, J. Multi-objective optimization for a closed-loop network design problem using an improved genetic algorithm. *Applied Mathematical Modelling*, 45: 14-30, 2017.
- SHI, J.; ZHANG, G.; SHA, J. Optimal production and pricing policy for a closed loop system. *Resources Conservation and Recycling*, 55: 639-647, 2011a.
- SHI, J.; ZHANG, G.; SHA, J. Optimal production planning for a multi-product closed loop system with uncertain demand and return. *Computers e Operations Research*, 38: 641-650, 2011b.
- SHI, J.; ZHANG, G.; SHA, J.; AMIN, S. Coordinating production and recycling decisions with stochastic demand and return. *Journal of systems science and systems engineering*, 19: 385-407, 2010.
- SHI, X.-Q.; LI, Y.-Y.; LONG, W. The integration model of closed-loop supply chain resource allocation considering remanufacturing. *Frontiers of Engineering Management*, 3: 132-135, 2016.
- SHQAIR, M.; ALTARAZI, S.; AL-SHIHABI, S. A statistical study employing agent-based modeling to estimate the effects of different warehouse parameters on the distance traveled in warehouses. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 49: 122-135, 2014.
- SILVA FILHO, O. S. Suboptimal production planning policies for closed-loop system with uncertain levels of demand and return. *IFAC Proceedings*, 44: 10428-10435, 2011.
- SILVA, D. A. L.; RENÓ, G. W. S.; SEVEGNANI, G.; SEVEGNANI, T. B.; TRUZZI, O. M. S. Comparison of disposable and returnable packaging: a case study of reverse logistics in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 47: 377-387, 2013.
- SINGH, S. R.; SAXENA, N. A Closed Loop Supply Chain System with Flexible Manufacturing and Reverse Logistics Operation under Shortages for Deteriorating Items. *Procedia Technology*, 10: 330-339, 2013.
- SITORUS, F.; CILLIERS, J. J.; BRITO-PARADA, P. R. Multi-criteria decision making for the choice problem in mining and mineral processing: applications and trends. *Expert Systems with Applications*, 121: 393-417, 2019.
- SOLEIMANI, H.; KANNAN, G. A hybrid particle swarm optimization and genetic algorithm for closed-loop supply chain network design in large-scale networks. *Applied Mathematical Modelling*, 39: 3990-4012, 2015.
- SOLEIMANI, H.; SEYYED-ESFAHANI, M.; SHIRAZI, M. A. A new multi-criteria scenario-based solution approach for stochastic forward/reverse supply chain network design. *Annals of Operations Research*, 242: 399-421, 2016.

- SOUZA, G. Closed-loop supply chains: A critical review, and future research. *Decision Sciences*, 44: 7-38, 2013.
- SOYSAL, M. Closed-loop Inventory Routing Problem for returnable transport items. *Transportation Research Part D-Transport and Environment*, 48: 31-45, 2016.
- SPROCK, T.; MURRENHOF, A.; MCGINNIS, L. F. A hierarchical approach to warehouse design, *International Journal of Production Research*, 55: 6331-6343, 2017.
- SRINIVASAN, S.; KHAN, S. H. Multi-stage manufacturing/re-manufacturing facility location and allocation model under uncertain demand and return. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94: 2847-2860, 2018.
- STINDT, D.; NETO, J.; NUSS, C.; DIRR, M.; JAKOWCZYK, M.; GIBSON, A.; TUMA, A. On the attractiveness of product recovery. *Journal of Industrial Ecology*, 21: 980-994, 2017.
- STINDT, D.; SAHAMIE, R. Review of research on closed loop supply chain management in the process industry. *Flexibe Services and Manufacturing Journal*, 26: 268-293, 2014.
- SUBRAMANIAM, P.; RAMKUMAR, N.; NARENDRAN, T.T.; GANESH, K. PRIM: Priority based simulated annealing for a closed loop supply chain network design problem. *Applied Mathematical Modelling*, 13: 1121-1135, 2013.
- SUBULAN, K.; BAYKASOGLU, A.; OZSOYDAM, F. B.; TASAN, A. S.; SELIM, H. A case-oriented approach to a lead/acid battery closed-loop supply chain network design under risk and uncertainty. *Journal of Manufacturing Systems*, 37: 340-361, 2015.
- SUBULAN, K.; TASAN, A. S.; BAYKASOGLU, A. Designing an environmentally conscious tire closed-loop supply chain network with multiple recovery options using interactive fuzzy goal programming. *Applied Mathematical Modelling*, 39: 2661-2702, 2015a.
- SUBULAN, K.; TASAN, A. S.; BAYKASOGLU, A. Fuzzy mixed integer programming model for medium-term planning in a closed-loop supply chain with remanufacturing option. *Journal of Intelligent e Fuzzy Systems*, 23: 345-368, 2012.
- SUBULAN, K.; TASAN, A. S.; BAYKASOGLU, A.: A fuzzy goal programming model to strategic planning problem of a lead/acid battery closed-loop supply chain. *Journal of Manufacturing Systems*, 37: 243-264, 2015b.
- SUBULAN, K.; TASAN, A. Taguchi method for analyzing the tactical planning model in a closed-loop supply chain considering remanufacturing option. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 66: 251-269, 2013.
- SZAJUBOK, N. K.; MOTA, C. M. de M.; DE ALMEIDA, A. T. Uso do método multicritério ELECTRE TRI para classificação de estoques na construção civil. *Pesquisa Operacional*, 26: 625-648, 2006.
- TAHIROV, N.; HASANOV, P.; JABER, M. Y. Optimization of closed-loop supply chain of multi-items with returned subassemblies. *International Journal of Production Economics*, 174: 1-10, 2016.
- TALAMINI, E.; PEDROZO, E. A.; DA SILVA, A. L. Gestão da cadeia de suprimentos e a segurança do alimento: uma pesquisa exploratória na cadeia exportadora de carne suína. *Gestão e Produção*, 12: 107-120, 2005.
- TAO, Z. G.; GUANG, Z. Y.; HAO, S.; SONG, H. J.; XIN, D. G. Multi-period closed-loop supply chain network equilibrium with carbon emission constraints. *Resources Conservation and Recycling*, 104: 354-365, 2015.

- TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R.; SADRI, S.; POURMOHAMMAD-ZIA, N.; MOHAMMADI, M. A hybrid fuzzy approach for the closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Journal of Intelligent e Fuzzy Systems*, 28: 2811-2826, 2015.
- THEYS, C.; BRÄYSY, O.; DULLAERT, W.; RAA, B. Using a TSP heuristic for routing order pickers in warehouses. *European Journal of Operational Research*, 200: 755–763, 2010.
- TOKHMEHCHI, N.; MAKUI, A.; SADI-NEZHAD, S. A Hybrid Approach to Solve a Model of Closed-Loop Supply Chain. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/179102>
- TOKTAY, L.; WEI, D. Cost allocation in manufacturing-remanufacturing operations. *Production and Operations Management*, 20: 841-847, 2011.
- TORABI, S. A.; HATEFI, S. M.; PAY, B. S. ABC inventory classification in the presence of both quantitative and qualitative criteria. *Computers e Industrial Engineering*, 63: 530-537, 2012.
- TORABI, S. A.; NAMDAR, J.; HATEFI, S. M.; JOLAI, F. An enhanced possibilistic programming approach for reliable closed-loop supply chain network design. *International Journal of Production Research*, 54: 1358-1387, 2016.
- TORNESE, F.; PAZOUR, J. A.; THORN, B. K.; ROY, D.; CARRANO, A. L. Investigating the environmental and economic impact of loading conditions and repositioning strategies for pallet pooling providers. *Journal of Cleaner Production*, 172: 155-168, 2018.
- TRAPPEY, A. J. C.; TRAPPEY, C. V.; WU, C.-R. Genetic algorithm dynamic performance evaluation for RFID reverse logistic management. *Expert Systems with Applications*, 37: 7329–7335, 2010.
- TURKI, S.; DIDUKH, S.; SAUVEY, C.; REZG, N. Optimization and analysis of a manufacturing-remanufacturing-transport-warehousing system within a closed-loop supply chain. *Sustainability*, 9: 1-20, 2017.
- TURRISI, M.; BRUCCOLERI, M.; CANNELLA, S. Impacto f reverse logistics on supply chain performance. *International Journal of Physical Distribution e Logistics Management*, 43: 564-585, 2013.
- VAHDANI, B. An optimization model for multi-objective closed-loop supply chain network under uncertainty: a hybrid fuzzy-stochastic programming method. *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, 12: 33-57, 2015.
- VAHDANI, B.; MOHAMMADI, M. A bi-objective interval-stochastic robust optimization model for designing closed loop supply chain network with multi-priority queuing system. *International Journal of Production Economics*, 170: 67-87, 2015.
- VAHDANI, B.; RAZMI, J.; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R. Fuzzy possibilistic modeling for closed loop recycling collection networks. *Environmental Modeling e Assessment*, 17: 623-637, 2012a.
- VAHDANI, B.; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R.; JOLAI, F.; BABOLI, A. Reliable design of a closed loop supply chain network under uncertain: Na interval fuzzy possibilistic chance-constrained model. *Engineering Optimization*, 45: 745-765, 2013.
- VAHDANI, B.; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R.; MODARRES, M. BABOLI, A. Reliable design of a forward/reverse logistics network under uncertainty: a robust-M/M/c queuing model. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 48: 1152-1168, 2012b.
- VALLE, R.; SOUZA, R. G. *Logística Reversa: processo a processo*. São Paulo: Atlas, 2014.

- VAN DEN BERG, J. P.; ZIJM, W. H. M.; Models for warehouse management: Classification and examples. *International Journal of Production Economics*, 59: 519-528, 1999.
- VARMA, S.; WADHWA, S.; DESHMUKH, S. G. Implementing supply chain management a firm: issues and remedies. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, 18: 223-243, 2006.
- VIANA, V. F. C.; ALENCAR, L. H. Modelo de classificação de projetos de acordo com a complexidade gerencial para uma empresa de médio porte m Pernambuco. In: *XLVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL (SBPO)*, Porto de Galinhas/PE, 2015.
- VIEIRA, P. F.; VIEIRA, S. M.; GOMES, M. I.; BARBOSA-POVOA, A. P.; SOUSA, J. M. C. Designing closed-loop supply chains with nonlinear dimensioning factors using ant colony optimization. *Soft Computing*, 19: 2245-2264, 2015.
- WANG, H.; HUANG, Y. A two-stage robust programming approach to demand-driven disassembly planning for a closed-loop supply chain system. *International Journal of Production Research*, 51: 2414-2432, 2013.
- WANG, H.-F.; HSU, H.-W. A closed-loop logistic model with a spanning-tree based genetic algorithm. *Computers e Operations Research*, 37: 376-389, 2010.
- WANG, J.; ZHAO, J.; WANG, X. Optimum policy in hybrid manufacturing/remanufacturing system. *Computers e Industrial Engineering*, 60: 411-419, 2011.
- WANG, Y.; HAZEN, B. T. Consumer product knowledge and intention to purchase remanufactured products. *International Journal of Production Economics*, 181: 460-469, 2016.
- WANG, Y.; HAZEN, B. T.; MOLLENKOPF, D. A. Consumer value considerations and adoption of remanufactured products in closed-loop supply chains. *Industrial Management e Data Systems*, 118: 480-498, 2018.
- WANG, Y.; WIEGERINCK, V.; KRIKKE, H.; ZHANG, H. Understanding the purchase intention towards remanufactured product in closed-loop supply chains an empirical study in China. *International Journal of Physical Distribution e Logistics Management*, 43: 866-888, 2013.
- WANG, Z.; SOLEIMANI, H.; KANNAN, D.; XU, L. Advanced cross-entropy in closed-loop supply chain planning. *Journal of Cleaner Production*, 135: 201-213, 2016.
- WEEKS, K.; GUIFFRIDA, A.; SAFA, M. The efficacy of routing and flexibility on financial performance within an international manufacturing setting. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 67: 341-365, 2018.
- WEI, C.; LI, Y.; CAI, X. Robust optimal policies of production and inventory with uncertain returns and demand. *International Journal of Production Economics*, 134: 357-367, 2011.
- YADEGARI, E.; NAJIMI, H.; GHOMI-AVILI, M.; ZANDIEH, M. A Flexible Integrated Forward/Reverse Logistics Model with Random Path-based Memetic Algorithm. *Iranian Journal of Management Studies*, 8: 287-313, 2015.
- YANG, Y.; HUANG, Z.; QIANG, Q.; ZHOU, G. A Mathematical Programming Model with Equilibrium Constraints for Competitive Closed-Loop Supply Chain Network Design. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 34: 1-31, 2017.
- YANG, Y.-X.; NIU, L.; HUANG, Z.; ZHOU, G. Closed-loop supply chain network redesigning model post the horizontal merger based on environmental responsibility. *International Journal of Services Technology and Management*, 22: 179-202, 2016.

- YI, P.; HUANG, M.; GUO, L.; SHI, T. A retailer oriented closed-loop supply chain network design for end of life construction machinery remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 124: 191-203, 2016.
- YOO, S. H.; KIM, D. S.; PARK, M.-S. Inventory models for imperfect production and inspection processes with various inspection options under one-time and continuous improvement investment. *Computers e Operations Research*, 39: 2001-2015, 2012.
- YOU, P.; HSIEH, Y.; CHEN, H. A hybrid genetic algorithm for a dynamic logistics network with multi-commodities and components. *Rairo-Operations Research*, 45: 153-178, 2011.
- YOUSEFI-BABADI, A.; TAVAKKOLI-MONGHADDAM, R.; BOZORGI-AMIRI, A.; SEIFI, S. Designing a Reliable Multi-Objective Queuing Model of a Petrochemical Supply Chain Network under Uncertainty: A Case Study. *Computers e Chemical Engineering*, 100: 177-197, 2017.
- YUCHI, Q.; HE, Z.; YANG, Z.; WANG, N. A location-inventory-routing problem in forward and reverse logistics network design. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2018. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/3475369>
- ZARANDI, M.; SISAKHT, A.; DAVARI, S. Design of a close-loop supply chain (CLSC) model using an interactive fuzzy goal programming. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 56: 809-821, 2011.
- ZARBAKHSNIA, N.; SOLEIMANI, H.; GHADERI, H. Sustainable third-party reverse logistics provider evaluation and selection using fuzzy SWARA and developed fuzzy COPRAS in the presence of risk criteria. *Applied Soft Computing*, 65: 307-319, 2018.
- ZAREI, M.; MANSOUR, S.; KASHAN, A.; KARIMI, B. Designing a reverse logistics network for end-of-life vehicles recovery. *Mathematical Problems in Engineering*, 2010: 1-16, 2010.
- ZEBALLOS, L. J.; MENDEZ, C. A.; BARBOSA-POVOA, A. P. Design and planning of closed-loop supply chains: a risk-averse multistage stochastic approach. *Industrial e Engineering Chemistry Research*, 55: 6236-6249, 2016.
- ZEBALLOS, L. J.; MENDEZ, C. A.; BARBOSA-POVOA, A. P. Integrating decisions of product and closed-loop supply chain design under uncertain return flows. *Computers e Chemical Engineering*, 112: 211-238, 2018.
- ZEBALLOS, L. J.; MÉNDEZA, C. A.; BARBOSA-POVOA, A. P.; NOVAIS, A. Q. Multi-period design and planning of closed-loop supply chains with uncertain supply and demand. *Computers e Chemical Engineering*, 66: 151-164, 2014.
- ZEBALLOS, L.; GOMES, M.; BARBOSA-POVOA, A.; NOVAIS, A. Addressing the uncertain quality and quantity of returns in closed-loop supply chains. *Computers e Chemical Engineering*, 47: 237-247, 2012.
- ZHANG, J.; WANG, X.; CHAN, F. T. S.; RUAN, J. On-line order batching and sequencing problem with multiple pickers: A hybrid rule-based algorithm. *Applied Mathematical Modelling*, 45: 271-284, 2017.
- ZHANG, P.; XIONG, Y.; XIONG, Y.; XIONG, Z.; YAN, W. Designing contracts for a closed-loop supply chain under information asymmetry. *Operations Research LETTERS*, 42: 150-155, 2014.
- ZHANG, Z.; VAN HUI, Y.; CHEN, H. A forward and reverse logistics shipment planning model. *Journal of The Operational Research Society*, 64: 1485-1502, 2013.

ZHOU, L.; NAIM, M. M.; DISNEY, S. M. The impact of product returns and remanufacturing uncertainties on the dynamic performance of a multi-echelon closed-loop supply chain. *International Journal of Production Economics*, 183: 487-502, 2017.

ZHOU, X.-C.; ZHAO, Z.-X.; ZHOU, K.-J; HE, C.-H. Remanufacturing closed-loop supply chain network design based on genetic particle swarm optimization algorithm. *Journal of Central South University of Technology*, 19: 482-487, 2012.

ZHOU, Y.; CHAN, C. K.; KAR, K. H.; LEE, Y. C. E. Intelligent Optimization Algorithms: A Stochastic Closed-Loop Supply Chain Network Problem Involving Oligopolistic Competition for Multiproducts and Their Product Flow Routings. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/91870>

**APÊNDICE A- REVISÃO DA LITERATURA SOBRE FLUXOS  
BIDIRECIONAIS DE SUPRIMENTOS**

Aspectos Gerais					Classificação Metodológica				
Autor (Ano)	Escopo	Indústria/ Produto/ Setor	País	Objetivo	Abordagem	Tipo	Modelo	FO	Método de Solução
<i>Aitken e Murray (2010)</i>	Reutilização	Automotivo	Reino Unido	Analisar porque o sistema de LR para as peças recuperadas não foi bem-sucedida no Reino Unido.	Qualitativa	Estudo de Caso	NA	NA	NA
<i>Geyer e Blass (2010)</i>	Reciclagem e reutilização	Celular	EUA e Reino Unido	Investigar e quantificar o desempenho econômico das operações de LR.	Quantitativa	Experimental	ES	NA	Análise descritiva
<i>Kannan, Sasikumar e Devika (2010)</i>	Design de rede	Baterias	Índia	Minimizar os custos totais da CS.	Quantitativa	Estudo de Caso	PL	U	GA
<i>Kaya (2010)</i>	Planejamento da produção	-	-	Determinar as quantidades ótimas da produção na manufatura/remanufatura.	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA
<i>Mingyong e Erbao (2010)</i>	Roteamento de veículos	-	-	Minimizar a distância total.	Quantitativa	Experimental	PL	U	IDE
<i>Pishvaei e Torabi (2010)</i>	Design de rede	-	-	Minimizar os custos e os atrasos nas entregas.	Quantitativa	Simulação	PL	MO	NA
<i>Pishvaei, Farahani e Dullaert (2010)</i>	Design de rede	-	-	Minimizar os custos totais e maximizar a capacidade de resposta.	Quantitativa	Simulação	PL	MO	MOMA
<i>Shi et al. (2010)</i>	Planejamento da Produção e reciclagem	-	-	Através da otimização simultânea das decisões de produção e reciclagem, maximizar o lucro global.	Quantitativa	Simulação	PNL	U	Lagrangian Relaxation

<i>Aspectos Gerais</i>						<i>Classificação Metodológica</i>					
<i>Autor (Ano)</i>	<i>Escopo</i>	<i>Indústria/ Produto/ Setor</i>	<i>País</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Abordagem</i>	<i>Tipo</i>	<i>Modelo</i>	<i>FO</i>	<i>Método de Solução</i>		
<i>Zarei et al. (2010)</i>	Design de rede	Veículos	-	Minimizar os custos para recolher os veículos End-of-Life e do fluxo entre as instalações.	Quantitativa	Simulação	PL	U	GA		
<i>Akçali e Çetinkaya (2011)</i>	Planejamento da produção e do inventário	-	-	Fornecer um estado da arte para modelos quantitativos para o planejamento da produção e do estoque.	Qualitativa	Bibliográfica	CO	NA	NA		
<i>Demirel et al. (2011)</i>	Design de rede	-	-	Desenvolver um projeto de redes logísticas integradas.	Quantitativa	Simulação	PL	U	GA		
<i>Kim e Goyal (2011)</i>	Planejamento da produção	-	-	Identificar a taxa ideal de recuperação de produtos usados e o tamanho do lote.	Quantitativa	Experimental	EC	NA	-		
<i>Krikke (2011)</i>	Disposição, localização e	Copiadora	Holanda	Minimizar a emissão de carbono.	Quantitativa	Estudo de Caso	PL	U	NA		
<i>Kumar e Chan (2011)</i>	Planejamento da capacidade	-	-	Minimizar o custo total.	Quantitativa	Simulação	PL	U	SSOA		
<i>Lambert, Riopel e Abdul-Kader (2011)</i>	Gestão	-	-	Propor um framework.	Qualitativa	Estudo de Caso	CO	NA	NA		
<i>Mondragon, Labwani e Mondragon (2011)</i>	Avaliação de desempenho	Telefonia móvel	Europa	Medidas de desempenho para diagnóstico da cadeia e identificar a integração.	Qualitativa	Estudo de Caso	NA	NA	NA		



<i>Aspectos Gerais</i>				<i>Classificação Metodológica</i>					
<i>Autor (Ano)</i>	<i>Escopo</i>	<i>Indústria/ Produto/ Setor</i>	<i>País</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Abordagem</i>	<i>Tipo</i>	<i>Modelo</i>	<i>FO</i>	<i>Método de Solução</i>
<i>Pishvae, Rabbani e Torabi(2011)</i>	Design de rede	-	-	Minimizar os custos totais.	Quantitativa	Experimental	PL	U	NA
<i>Shi, Zhang e Sha (2011a)</i>	Planejamento da produção e precificação	-	-	Maximizar o lucro global, determinando o preço de venda, a quantidade de produção e o preço de aquisição.	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA
<i>Shi, Zhang e Sha (2011b)</i>	Planejamento da produção	-	-	Maximizar o lucro, determinando o preço de venda, a quantidade de produção e o preço de aquisição de usados.	Quantitativa	Simulação	PNL	U	Lagrangian relaxation, Bisection e Feasibility algorithm
<i>Silva Filho (2011)</i>	Planejamento da produção	-	-	Minimizar o custo e maximizar o desempenho.	Quantitativa	Simulação	ME	U	OLFG
<i>Toktay e Wei (2011)</i>	Alocação de custos	-	-	Investigar as propriedades de repassar os preços.	Quantitativa	Simulação	EC	NA	-
<i>Wang, Zhao e Wang (2011)</i>	Planejamento da produção	Telefonia móvel	-	Minimizar o custo total do sistema simultâneo de fabricação e remanufatura.	Quantitativa	Experimental	EC	NA	-
<i>Wei, Li e Cai (2011)</i>	Planejamento da produção e gestão de inventário	-	-	Minimizar o custo e maximizar o lucro.	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA

Aspectos Gerais					Classificação Metodológica				
Autor (Ano)	Escopo	Indústria/ Produto/ Setor	País	Objetivo	Abordagem	Tipo	Modelo	FO	Método de Solução
Wen-hui, Dian-Yan e Yu-Ying (2011)	Remanufatura	-	-	Descrever o processo de remanufatura, baseado no gerenciamento da CLSC.	Qualitativa	Bibliográfica	NA	NA	NA
You, Hsieh e Chen (2011)	Planejamento da produção e gestão de inventário	-	-	Minimizar os custos totais, estabelecendo um cronograma da produção e um framework de LR	Quantitativa	Simulação	PL	U	GA
Zarandi, Sisakht e Davari (2011)	Design de rede	-	-	Selecionar os locais, quantidade e níveis de capacidade de plantas e armazéns.	Quantitativa	Simulação	PL	MO	FGP
Adenso-Díaz et al. (2012)	Efeito chicote	-	-	Analisar os fatores que exercem influência no efeito chicote.	Quantitativa	Experimental	ES	NA	Inferência estatística
Amin e Zhang (2012a)	Remanufatura	-	-	Maximizar o lucro.	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA
Amin e Zhang (2012b)	Seleção de fornecedores, alocação de pedidos e design de rede	-	-	Maximizar o lucro e os pesos dos fornecedores e minimizar os defeitos.	Quantitativa	Simulação	Híbrido: FAHP + PL	MO	Método compromise programming
Carrasco-Gallego, Ponce-Cueto e Dekker (2012)	Reutilização	-	-	Entender o conceito de reutilização nas CLSC, construir uma metodologia.	Qualitativa	Bibliográfica	CO	NA	NA

Aspectos Gerais					Classificação Metodológica				
Autor (Ano)	Escopo	Indústria/ Produto/ Setor	País	Objetivo	Abordagem	Tipo	Modelo	FO	Método de Solução
<i>Chen e Chang (2012)</i>	Remanufatura	-	-	Investigar sob quais condições um fabricante pode adotar uma abordagem cooperativa participando da remanufatura.	Quantitativa	Simulação	Problema de otimização newsvendor.	NA	-
<i>Dowlatshahi (2012)</i>	Desempenho operacional	Componentes automotivos e instrumentos	-	Identificar os subfatores associados a armazenagem.	Qualitativa	Estudo de Caso	CO	NA	NA
<i>Hasani, Zegordi e Nikbakhsh (2012)</i>	Design de rede	Alimentos e alta tecnologia	-	Minimizar o custo total ou maximizar o lucro total.	Quantitativa	Experimental	PL	U	NA
<i>Kenné, Dejax e Gharbic (2012)</i>	Planejamento e controle da produção	-	-	Minimizar a soma dos custos.	Quantitativa	Simulação	ME	U	Utiliza um algoritmo
<i>Lee e Lee (2012)</i>	Design de rede	Garrafas	Coreia	Minimizar os custos.	Quantitativa	Estudo de caso	PL	U	ptGA e hGA por FLC
<i>Lieckens e Vandaela (2012)</i>	Design de rede	-	-	Desenvolver um modelo de planejamento estratégico para o design de uma CLSC.	Quantitativa	Simulação	PNL	U	DE
<i>Mehrbod et al. (2012)</i>	Balaceamento de custos e satisfação do	-	-	Minimizar o custo total, o tempo de entrega e o tempo de coleta de produtos usados.	Quantitativa	Simulação	PNL	MO	IFGP
<i>Mimmer e Kiesmueller (2012)</i>	Planejamento de produção	-	-	Encontrar as políticas de fabricação e remanufatura de minimização de custos, bem como estratégias de recompra.	Quantitativa	Simulação	PNL	U	Utiliza um algoritmo

Aspectos Gerais					Classificação Metodológica				
Autor (Ano)	Escopo	Indústria/ Produto/ Setor	País	Objetivo	Abordagem	Tipo	Modelo	FO	Método de Solução
Mitra (2012)	Gestão de inventário	-	-	Minimizar o custo total.	Quantitativa	Simulação	ME	U	-
Özker e Basligil (2012)	Design de rede	-	-	Determinar a quantidade e a localização das instalações para maximizar o lucro.	Quantitativa	Simulação	PL	U	Simulação de Monte Carlo
Robotis, Boyaci, Verter (2012)	Remanufatura	-	-	Estudar o impacto da incerteza da condição de qualidade nos investimentos na reutilização dos produtos e na coleta de produtos.	Quantitativa	Simulação	PL	U	-
Subulan, Tasan e Baykasoglu (2012)	Remanufatura	-	-	Minimizar o custo total.	Quantitativa	Simulação	PL	U	B&B
Vahdani, Razmi e Tavakkoli-Moghaddam (2012a)	Alocação e localização	-	-	Propor uma modelagem fuzzy para projetar a CLSC em situações de incerteza.	Quantitativa	Simulação	PNL	U	NA
Vahdani et al. (2012b)	Design de rede	-	-	Minimizar os custos totais e os custos de transporte após falhas nas instalações de uma rede logística.	Quantitativa	Simulação	PL	MO	Híbrido: teoria das filas+RO+ Programação Fuzzy MO
Yoo, Kim e Park (2012)	Gestão de inventário	-	-	Determinar o tamanho do lote que maximiza o lucro, a frequência de retrabalho e as proporções de defeitos.	Quantitativa	Simulação	PNL	U	Desenvolve um algoritmo

Aspectos Gerais						Classificação Metodológica				
Autor (Ano)	Escopo	Indústria/ Produto/ Setor	País	Objetivo	Abordagem	Tipo	Modelo	FO	Método de Solução	
<i>Zeballos et al. (2012)</i>	Design de rede	Vidro	Portugal	Maximizar o lucro, incorporando a incerteza na qualidade e na quantidade do fluxo de produtos.	Quantitativa	Simulação	ME	U	NA	
<i>Zhou et al. (2012)</i>	Design de rede	-	-	Minimizar o custo total, determinando a quantidade e a localização das instalações e as redes para transporte de produtos.	Quantitativa	Simulação	PL	U	PSO	
<i>Alfonso-Lizarazo, Montoya-Torres e Gutierrez-Franco (2013)</i>	Gerenciamento de fluxo	Agroindustrial	Colômbia	Mostrar como o gerenciamento de fluxos de LR pode ser implementado no setor agroindustrial.	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA	
<i>Amin e Zhang (2013a)</i>	Localização de instalações	-	-	Determinar quantas e quais plantas e centros de coleta devem ser abertos, quais produtos e quais as quantidades armazenadas, para minimizar o custo total.	Quantitativa	Simulação	PL	MO	Método de soma ponderada e o método $\epsilon$ -constraint	
<i>Amin e Zhang (2013b)</i>	Design de rede	-	-	Maximizar o lucro.	Quantitativa	Simulação	Framework envolve: Fuzzy QFD, ME e PL	MO	NA	

Aspectos Gerais						Classificação Metodológica				
<i>Autor (Ano)</i>	<i>Escopo</i>	<i>Indústria/ Produto/ Setor</i>	<i>País</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Abordagem</i>	<i>Tipo</i>	<i>Modelo</i>	<i>FO</i>	<i>Método de Solução</i>	
<i>Atamer, Bakali e Bayindir (2013)</i>	Planejamento da produção e precificação	Contêineres	-	Investigar as decisões de precificação e produção para maximizar o lucro do fabricante.	Quantitativa	Simulação	PL	U	-	
<i>Bell, Mollenkopf e Stolze (2013)</i>	Gestão de recursos	-	-	Fornecer um framework para explorar como as empresas podem responder as crescentes ameaças de escassez de recursos.	Qualitativa	Bibliográfica	CO	NA	NA	
<i>Cardoso, Barbosa-Póvoa e Relvas (2013)</i>	Design de rede	-	-	Maximizar o valor presente líquido esperado, levando em consideração a incerteza na demanda dos produtos.	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA	
<i>Choi, Li e Xu (2013)</i>	Liderança	-	-	Visa responder os questionamentos sobre liderança na CLSC.	Quantitativa	Bibliográfica	CO	NA	-	
<i>Das e Dutta (2013)</i>	Efeito chicote	-	-	Desenvolver um framework para analisar os movimentos de fluxo direto e reverso do produto através de diferentes estágios da rede.	Quantitativa	Simulação	EC	NA	SD	
<i>Diabat et al. (2013)</i>	Localização das instalações	-	-	Minimizar a soma dos custos do local fixo da instalação, transporte e custos de emissão de carbono.	Quantitativa	Simulação	PL	U	--	

Aspectos Gerais				Classificação Metodológica					
<i>Autor (Ano)</i>	<b>Escopo</b>	<b>Indústria/ Produto/ Setor</b>	<b>País</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Abordagem</b>	<b>Tipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>FO</b>	<b>Método de Solução</b>
<i>Dobos et al. (2013)</i>	Remanufatura e dimensionamento de lote	-	-	Minimizar o custo total.	Qualitativa	Simulação	EC	NA	-
<i>Georgiadis e Athanasiou (2013)</i>	Planejamento de capacidade	-	-	Minimizar a perda de lucro.	Quantitativa	Simulação	-	NA	Abordagem de otimização dinâmica
<i>Kassem e Chen (2013)</i>	Roteamento de veículos	-	-	Minimizar o custo total de transporte.	Quantitativa	Simulação	PL	U	NS e SA
<i>Keyvanshokoh et al. (2013)</i>	Design de rede	-	-	Minimizar os custos logísticos.	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA
<i>Kim, Goyal e Kim (2013)</i>	Planejamento da produção	-	-	Determinar a política de streaming de lote entre a logística direta e a reversa.	Quantitativa	Simulação	EC	NA	-
<i>Kouedeu et al. (2013)</i>	Planejamento da produção	-	-	Encontrar as políticas de manufatura e remanufatura que minimizem os custos de manutenção e de backlog.	Quantitativa	Simulação	ME	NA	-
<i>Krapp, Nebel e Sahamie (2013a)</i>	Previsão de retorno	-	-	Fornecer uma abordagem genérica para prever o retorno dos produtos.	Quantitativa	Simulação	ES	NA	Estatísticas bayesianas
<i>Krapp, Nebel e Sahamie (2013b)</i>	Previsão de retorno	-	-	Desenvolver um framework para prever retornos de produtos	Quantitativa	Simulação	ES	NA	Estatísticas bayesianas e kalman filtering

Aspectos Gerais					Classificação Metodológica				
Autor (Ano)	Escopo	Indústria/ Produto/ Setor	País	Objetivo	Abordagem	Tipo	Modelo	FO	Método de Solução
<i>Krikke, Hofenk e Wang (2013)</i>	Práticas de retorno	-	-	Contribuir com a literatura, apresentando estatísticas descritivas e análises das práticas de retorno.	Quantitativa	Levantamento (Survey)	ES	NA	Inferência estatística
<i>Lehr, Thun e Milling (2013)</i>	Recuperação de valor	WEEE	-	Desenvolver um modelo que pode ser usado por uma OEM para testar políticas de recuperação de valor.	Quantitativa	Simulação	-	NA	SD
<i>Mehdizadeh et al. (2013)</i>	Design da rede de transporte	-	-	Minimizar os custos de compra e transporte.	Quantitativa	Simulação	PNL	U	pb-GA, SA e RSM
<i>Ozceylan e Paksoy (2013)</i>	Design de rede	-	-	Minimizar o transporte, custos de acondicionamento e os custos fixos.	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA
<i>Phuc, Yu e Chou (2013)</i>	Gestão de resíduos	WEEE	-	Minimizar o custo total.	Quantitativa	Simulação	PL	U	-
<i>Raj, Lakshminarayanan e Forbes (2013)</i>	Avaliação de Desempenho	-	-	Reduzir o custo total.	Quantitativa	Simulação	PNL	U	NSGA-II
<i>Ramezani, Bashiri e Tavakkoli-Moghaddam (2013a)</i>	Design de rede	-	-	Maximizar o lucro, o nível de serviço, aumentar o nível de qualidade, melhorar as operações e minimizar os defeitos.	Quantitativa	Simulação	ME	MO	-



Aspectos Gerais						Classificação Metodológica				
Autor (Ano)	Escopo	Indústria/ Produto/ Setor	País	Objetivo	Abordagem	Tipo	Modelo	FO	Método de Solução	
<i>Ramezani, Bashiri e Tavakkoli-Moghaddam (2013b)</i>	Design de rede	-	-	Maximizar o lucro total.	Quantitativa	Simulação	PL	U	Scenario Relaxation algorithm	
<i>Singh e Saxena (2013)</i>	Design de rede	-	-	Discutir o projeto da rede de LD/LR, considerando o modelo de inventário.	Quantitativa	Simulação	EC	NA	-	
<i>Souza (2013)</i>	-	-	-	Apresentar uma revisão da literatura e um tutorial sobre CLSC.	Qualitativa	Bibliográfica	NA	NA	NA	
<i>Subramanian et al. (2013)</i>	Design de rede	WEEE	-	Otimizar o projeto de uma rede de CLSC e a distribuição dos produtos, para minimizar o custo total.	Quantitativa	Simulação	PL	U	PBSA e PRISM	
<i>Subulan e Tasan (2013)</i>	Remanufatura	-	-	Formular um modelo de programação para a integração da remanufatura.	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA	
<i>Turrisi, Bruccoleri e Cannella (2013)</i>	Efeito chicote	-	-	Analisar o impacto da LR na variância da ordem e estoque e propor uma política de estoque.	Quantitativa	Experimental	ES	NA	Inferência estatística	
<i>Vahdani et al. (2013)</i>	Design de rede	Ferro e Aço	-	Minimizar o custo total e propor uma metodologia para lidar com incerteza.	Quantitativa	Experimental	PL	MO	Híbrido	

<i>Aspectos Gerais</i>				<i>Classificação Metodológica</i>					
<i>Autor (Ano)</i>	<i>Escopo</i>	<i>Indústria/ Produto/ Setor</i>	<i>País</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Abordagem</i>	<i>Tipo</i>	<i>Modelo</i>	<i>FO</i>	<i>Método de Solução</i>
<i>Wang e Huang (2013)</i>	Reciclagem	-	-	Determinar uma decisão para o volume de reciclagem e de temporização de cada tipo de produto em fim-de-vida e estratégias de recuperação.	Quantitativa	Simulação	PL	U	-
<i>Wang et al. (2013)</i>	Remanufatura	Autopeças	China	Analisar a percepção e o comportamento dos consumidores em relação aos produtos remanufaturados.	Quantitativa	Estudo de Caso	ES	NA	Inferência estatística
<i>Zhang, Van Hui e Chen (2013)</i>	Planejamento de expedição	-	-	Obter economias de custos a partir da compatibilidade e integração dos processos de logística direta e reversa.	Quantitativa	Simulação	PL	U	TS
<i>Ashtari et al. (2014)</i>	Localização das instalações	Automóveis	-	Minimizar os custos e maximizar a satisfação do cliente.	Quantitativa	Estudo de Caso	PL	U	SMOGA
<i>Demirel et al. (2014)</i>	Design de rede	-	-	Maximizar o preço total de venda dos produtos de primeira e segunda mão e minimizar os custos.	Quantitativa	Simulação	PL	U	Abordagem meta-heurística baseada em GA.
<i>Efendigitl (2014)</i>	Gestão de inventário	-	-	Selecionar a estratégia de inventário que minimize o custo total.	Quantitativa	Simulação	-	NA	Abordagem neuro-fuzzy
<i>Eskandarpour et al. (2014)</i>	Design de rede	-	-	Minimizar o custo total.	Quantitativa	Simulação	PL	U	TS

Aspectos Gerais					Classificação Metodológica				
<i>Autor (Ano)</i>	<b>Escopo</b>	<b>Indústria/ Produto/ Setor</b>	<b>País</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Abordagem</b>	<b>Tipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>FO</b>	<b>Método de Solução</b>
<i>Fallah-tafji et al. (2014)</i>	Design de rede	-	-	Minimizar os custos totais e o tempo total de entrega de produtos, além da maximização da ordenação total dos fornecedores.	Quantitativa	Simulação	PL	MO	Possibilistic-STEM algorithm
<i>Hashemi, Chen e Fang (2014)</i>	Remanufatura	Indústria aeroespacial	-	Maximizar o lucro.	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA
<i>Hatefi e Jolai (2014)</i>	Design de rede	-	-	Minimizar o custo e simultaneamente reduzir o risco de interrupção.	Quantitativa	Simulação	PL	U	-
<i>Jayant, Gupta e Garg (2014)</i>	Coleta	Baterias	Índia	Fornecer um modelo flexível.	Quantitativa	Simulação	ES	NA	NA
<i>Jindal e Sangwan (2014)</i>	Design de rede	-	-	Definir a localização e alocação de peças em cada instalação e o número de peças a serem adquiridas de fornecedores para maximizar o lucro.	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA
<i>Kim, Glock e Kwon (2014)</i>	Transporte de itens retornáveis	Alimentos	Coreia	Desenvolver diretrizes que auxiliem o decisor a minimizar o custo.	Quantitativa	Estudo de Caso	ME	NA	-
<i>Li, Lu e Liu (2014)</i>	Gestão de inventário e localização das instalações	E-commerce	China	Minimizar o custo total.	Quantitativa	Simulação	PNL	U	Híbrido: Lagrangian Relaxation + AC

Aspectos Gerais				Classificação Metodológica					
Autor (Ano)	Escopo	Indústria/ Produto/ Setor	País	Objetivo	Abordagem	Tipo	Modelo	FO	Método de Solução
<i>Litvinchev et al. (2014)</i>	Localização das instalações	-	-	Determinar as estratégias de coleta de produtos usados.	Quantitativa	Experimental	PNL	U	Metodologia baseada em Golden Section Search
<i>Mirakhorli (2014)</i>	Design de rede	Alimentos	Irã	Minimizar o custo total e tempo total de entrega.	Quantitativa	Estudo de Caso	PL	MO	GA
<i>Oh e Jeong (2014)</i>	Recuperação	Moda	-	Maximizar o lucro e minimizar as emissões para a sustentabilidade ambiental.	Quantitativa	Simulação	PL	MO	NA
<i>Ramezani, Kimiagari e Karimi (2014a)</i>	Design de rede	-	-	Determinar a localização e o fluxo entre as instalações, bem como as decisões para maximizar a equidade.	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA
<i>Ramezani et al. (2014b)</i>	Design de rede	-	-	Maximizar o lucro, minimizar o tempo de entrega e maximizar a qualidade.	Quantitativa	Simulação	PL	MO	Método de ranking de números fuzzy
<i>Schulz e Voigt (2014)</i>	Dimensionamento de lote	-	-	Minimizar o custo total por unidade de tempo.	Quantitativa	Experimental	EC	U	Baseado no algoritmo SAIL
<i>Sheriff, Nachiappan e Min (2014)</i>	Localização das instalações e roteamento de veículos	Plástico	Índia	Minimizar o custo total.	Quantitativa	Estudo de Caso	Modelo CRAB-MP	U	NA

<i>Aspectos Gerais</i>						<i>Classificação Metodológica</i>				
<i>Autor (Ano)</i>	<i>Escopo</i>	<i>Indústria/ Produto/ Setor</i>	<i>País</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Abordagem</i>	<i>Tipo</i>	<i>Modelo</i>	<i>FO</i>	<i>Método de Solução</i>	
<i>Stindt e Sahamie (2014)</i>	-	-	-	Descrever e analisar as principais características do planejamento da CLSC na indústria.	Qualitativa	Bibliográfica	NA	NA	NA	
<i>Zhang et al. (2014)</i>	Coleta e Remanufatura	-	-	Maximizar o lucro total.	Quantitativa	Simulação	PNL	U	-	
<i>Almoradi et al. (2015)</i>	Localização das instalações	-	-	Minimizar os custos totais.	Quantitativa	Simulação	PL	U	GA	
<i>Bhakhavatchalam et al. (2015)</i>	Remanufatura	-	-	Analisar a literatura sobre qualidade, confiabilidade, manutenção.	Qualitativa	Bibliográfica	NA	NA	NA	
<i>Bhattacharya e Kaur (2015)</i>	Remanufatura	-	-	Identificar decisões ótimas, maximizando a lucratividade.	Quantitativa	Simulação	PNL	U	-	
<i>Chen et al. (2015)</i>	Remanufatura	WEEE	Alemanha	Desenvolver uma ferramenta, para a formação de uma estratégia de recuperação de produtos sob a variedade de incerteza que visa maximizar o lucro.	Quantitativa	Estudo de Caso	ME	U	Híbrido: integer L-shaped + SAA	
<i>Choudhary et al. (2015)</i>	Emissão de carbono	-	-	Minimizar o custo e a emissão de carbono total da rede.	Quantitativa	Experimental	PL	U	-	

<i>Aspectos Gerais</i>						<i>Classificação Metodológica</i>				
<i>Autor (Ano)</i>	<i>Escopo</i>	<i>Indústria/ Produto/ Setor</i>	<i>País</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Abordagem</i>	<i>Tipo</i>	<i>Modelo</i>	<i>FO</i>	<i>Método de Solução</i>	
<i>Das e Dutta (2015)</i>	Recuperação de produtos	-	-	Um framework é proposto e o mesmo é integrado a um modelo de otimização para maximizar o lucro total.	Quantitativa	Simulação	PNL	U	NA	
<i>Diabat, Abadallah e Henschel (2015)</i>	Localização das instalações e Gestão de Inventário	-	-	Determinar simultaneamente a localização dos centros, a atribuição das ordens dos varejistas e a atribuição dos retornos dos varejistas.	Quantitativa	Simulação	PNL	U	Lagrangian Relaxation	
<i>Djikanovic, Joksimovic e Vujosevic</i>	Roteamento de veículos	-	-	Minimizar as distâncias totais entre os locais com fluxo direto e reverso.	Quantitativa	Simulação	PL	U	VNS	
<i>Elia e Gnoni (2015)</i>	Gestão de paletes	Paletes	Itália	Delinear os fatores críticos no projeto de sistemas de gerenciamento de paletes de circuito fechado.	Quantitativa	Estudo de Caso	-	NA	Desenvolve uma ferramenta	
<i>Garg et al. (2015)</i>	Design de rede	Fabricante de Gêiseres	Índia	Determinar o fluxo ideal de peças e produtos na CLSC e o número ideal de caminhões contratados pelas instalações na rede de transporte.	Quantitativa	Estudo de Caso	PNL	MO	Interactive multi-objective programming approach algorithm	
<i>Golroudbary e Zahraee (2015)</i>	Reciclagem e coleta	WEEE	Malásia	Investigar os fatores de satisfação do cliente e o fator de imagem verde.	Quantitativa	Estudo de Caso	EC	NA	NA	

Aspectos Gerais					Classificação Metodológica				
Autor (Ano)	Escopo	Indústria/ Produto/ Setor	País	Objetivo	Abordagem	Tipo	Modelo	FO	Método de Solução
<i>Govindan, Soleimani e Kannan (2015)</i>	-	-	-	Revisar os artigos publicados sobre LR e CLSC em periódicos científicos.	Qualitativa	Bibliográfica	NA	NA	NA
<i>Hatefi et al. (2015a)</i>	Design de rede	-	-	Encontrar o número ideal de instalações e suas localizações, bem como a melhor quantidade de material que flui entre eles para minimizar os custos.	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA
<i>Hatefi et al. (2015b)</i>	Design de rede	-	-	Projetar uma rede de LR, com instalações híbridas na presença de incertezas e interrupções aleatórias nas instalações, para minimizar os custos.	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA
<i>Hosseini et al. (2015)</i>	-	Indústria da Construção	-	Integrar o conhecimento em LR na construção, para promover o conceito entre os stakeholders e a comunidade.	Qualitativa	Bibliográfica	NA	NA	NA
<i>Hu et al. (2015)</i>	Roteamento de veículos	Catering industry	China	Minimizar os custos de transporte.	Quantitativa	Simulação	ME	U	VNS
<i>Jindal, Sangwan e Saxena (2015)</i>	Design de rede	-	-	Decidir a localização, alocação de produtos, o número de produtos remanufaturados, peças a serem compradas e o nível de estoque.	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA

Aspectos Gerais						Classificação Metodológica				
Autor (Ano)	Escopo	Indústria/ Produto/ Setor	País	Objetivo	Abordagem	Tipo	Modelo	FO	Método de Solução	
<i>Kalaitzidou, Longinidis e Georgiadis (2015)</i>	Design de rede	-	-	Minimizar o custo total e determinar a estrutura ideal da rede, apresentando um framework matemático.	Quantitativa	Estudo de Caso	PL	U	B&B	
<i>Khatami, Mahootechi e Farahani (2015)</i>	Design de rede	WEEE	-	Minimizar o valor presente dos custos totais.	Quantitativa	Estudo de Caso	PL	U	BD	
<i>Maiti e Giri (2015)</i>	Remanufatura	-	-	Investigar o efeito sobre o lucro da variação da estrutura sobre a qualidade dos produtos.	Quantitativa	Simulação	ME	NA	Teoria dos Jogos	
<i>Mehrbod et al. (2015)</i>	Localização das instalações	-	-	Minimizar o custo total, o tempo de entrega e o tempo de coleta dos produtos usados.	Quantitativa	Simulação	PNL	MO	SPGA	
<i>Moghaddam (2015)</i>	Seleção de fornecedores e alocação de pedidos	-	-	Maximizar o lucro, minimizar o número total de peças defeituosas, minimizar o número total de peças entregues tardiamente e minimizar os fatores de risco econômicos.	Quantitativa	Simulação	PL	MO	AHP e Híbrido: Simulação de Monte Carlo + GP	
<i>Nuss, Sahamie e Stindt (2015)</i>	Recuperação	-	-	Identificar os problemas de planejamento e etapas distintas do processo de recuperação do produto.	Qualitativa	Bibliográfica	CO	NA	NA	



<i>Aspectos Gerais</i>						<i>Classificação Metodológica</i>				
<i>Autor (Ano)</i>	<i>Escopo</i>	<i>Indústria/ Produto/ Setor</i>	<i>País</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Abordagem</i>	<i>Tipo</i>	<i>Modelo</i>	<i>FO</i>	<i>Método de Solução</i>	
<i>Polotski, Kenne e Gharbi (2015)</i>	Remanufatura	-	-	Determinar a política ótima de produção e setup.	Quantitativa	Simulação	ME	NA	-	
<i>Ponce-Cueto e Muelas (2015)</i>	Design de rede	Alimentos e Bebidas	Espanha	Minimizar os custos totais desenvolvendo um modelo para projetar uma rede integrada.	Quantitativa	Estudo de Caso	PL	U	NA	
<i>Ramezani, Kimiagari e Karimi (2015)</i>	Design de rede	-	-	Avaliar o sistema considerando a mudança no patrimônio junto com o lucro.	Quantitativa	Simulação	PL	MO	Scenario relaxation algorithm	
<i>Rezapour et al. (2015)</i>	Design de rede	-	-	Maximizar o lucro na satisfação de demandas compartilhadas de mercado dependentes de preço (concorrência externa).	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA	
<i>Schenkel et al. (2015a)</i>	Criação de valor	-	-	Desenvolver um framework para a criação de valor em uma CLSC.	Qualitativo	Bibliográfico	NA	NA	NA	
<i>Schenkel et al. (2015b)</i>	Criação de valor	-	-	Investiga o processo de criação de valor integral pelas atividades da CLSC.	Qualitativa	Estudo de Caso	NA	NA	NA	

<i>Aspectos Gerais</i>				<i>Classificação Metodológica</i>					
<i>Autor (Ano)</i>	<i>Escopo</i>	<i>Indústria/ Produto/ Setor</i>	<i>País</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Abordagem</i>	<i>Tipo</i>	<i>Modelo</i>	<i>FO</i>	<i>Método de Solução</i>
<i>Soleimani e Kannan (2015)</i>	Design de rede	Móveis hospitalares	Irã	Projetar e planejar a CLSC por meio de uma abordagem determinística.	Quantitativa	Estudo de Caso	PL	U	GA e PSO
<i>Subulan et al. (2015)</i>	Design de rede	Baterias	Turquia	Minimizar o custo total e maximizar a quantidade de baterias coletadas.	Quantitativa	Estudo de Caso	PL	MO	NA
<i>Subulan, Tasan e Baykasoglu (2015a)</i>	Design de rede	Pneus	Turquia	Maximizar o lucro total e minimizar o método baseado em avaliação do ciclo de vida e orientado a danos.	Quantitativa	Simulação	PL	MO	NA
<i>Subulan, Tasan e Baykasoglu (2015b)</i>	Design de rede	Baterias	Turquia	Minimizar o custo total, maximizar a coleta de baterias e maximizar a flexibilidade de volume total.	Quantitativa	Estudo de Caso	PL	MO	NA
<i>Tao et al. (2015)</i>	Emissão de carbono	-	-	Introduzir dois tipos de políticas obrigatórias de emissão de carbono e investigar o impacto sobre o comportamento e o desempenho da CLSC no longo prazo.	Quantitativa	Simulação	PL	U	Modified projection and contraction algorithms
<i>Tavakkoli-Moghaddam et al. (2015)</i>	Design de rede	-	Irã	Minimizar os custos totais, a taxa total de defeito, de descarte e a de poluição.	Quantitativa	Simulação	PL	MO	NA

<i>Aspectos Gerais</i>					<i>Classificação Metodológica</i>				
<i>Autor (Ano)</i>	<i>Escopo</i>	<i>Indústria/ Produto/ Setor</i>	<i>País</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Abordagem</i>	<i>Tipo</i>	<i>Modelo</i>	<i>FO</i>	<i>Método de Solução</i>
<i>Tokhmehchi, Makui e Sadi- Nezhad (2015)</i>	Localização das instalações	-	Turquia	Qual o número e onde as instalações serão construídas? Quanto produtos vão fluir em cada segmento da cadeia, afim de minimizar o custo total?	Quantitativa	Simulação	PL	U	Híbrido: GA+FF
<i>Vahdani e Mohammadi (2015)</i>	Design de rede	Ferro e Aço	Turquia	Projetar uma CLSC sob incerteza na qual os custos totais e os tempos máximos de espera na fila de produtos devem ser minimizados.	Quantitativa	Simulação	PNL	MO	SAICA e Híbrido: queuing theory+interval programming+ stochastic programming+ RO+ fuzzy multi- objective programming
<i>Vahdani (2015)</i>	Design de rede	Ferro e Aço	Turquia	Maximizar o lucro, minimizar o tempo de entrega, coleta e descarte e maximizar a flexibilidade.	Quantitativa	Simulação	PL	MO	Híbrido: fuzzy stochastic programming + fuzzy multi- objective approach
<i>Vieira et al. (2015)</i>	Design de rede	-	-	Projetar uma CLSC.	Quantitativa	Estudo de Caso	PL	U	ACO e o algoritmo SCAnt- NLDesign
<i>Yadegari et al. (2015)</i>	Design de rede	-	-	Minimizar o custo total de abertura de instalação e transporte.	Quantitativa	Simulação	PL	U	MA

<i>Aspectos Gerais</i>					<i>Classificação Metodológica</i>				
<i>Autor (Ano)</i>	<i>Escopo</i>	<i>Indústria/ Produto/ Setor</i>	<i>País</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Abordagem</i>	<i>Tipo</i>	<i>Modelo</i>	<i>FO</i>	<i>Método de Solução</i>
<i>Zhou et al. (2015)</i>	Design de rede	-	-	Desenvolver um modelo de uma rede CLSC sob concorrência oligopolística.	Quantitativa	Simulação	Modificou o framework de Cournot-Nash	NA	PSO e GA
<i>Al-Salem et al. (2016)</i>	Localização das instalações e gestão de inventário	-	-	Minimizar os custos totais.	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA
<i>Azadeh, Zarrin e Salehi (2016)</i>	Seleção de fornecedores	-	-	Selecionar os fornecedores para minimizar os custos e maximizar o número de produtos de alta qualidade.	Quantitativa	Experimental	PL	U	Simulação, método Taguchi e DEA
<i>Cannella, Bruccoleri e Framinan (2016)</i>	Gestão de inventário	-	-	Analisar a dinâmica de inventário e o fluxo de pedidos em uma CLSC.	Quantitativa	Experimental	O modelo baseado em equações diferenciais	NA	Simulação baseada em SD e análise estatística
<i>Cardoso, Barbosa-Povoa e Rebelas (2016)</i>	Design de rede	-	-	Maximizar o valor presente da CS e minimizar o risco.	Quantitativa	Estudo de Caso	PL	U	Scenario Tree Approach
<i>Chen, Weng e Lo (2016)</i>	Reabastecimento	Varejista	-	Minimizar os custos.	Quantitativa	Simulação	PNL	U	Algoritmo de busca
<i>Chen e Chang (2016)</i>	Precificação	-	-	Investigar o preço ou a quantidade produzida.	Quantitativa	Simulação	PL	U	GA e Lagrangian Relaxation

Aspectos Gerais						Classificação Metodológica					
<i>Autor (Ano)</i>	<b>Escopo</b>	<b>Indústria/ Produto/ Setor</b>	<b>País</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Abordagem</b>	<b>Tipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>FO</b>	<b>Método de Solução</b>		
<i>Daaboul et al. (2016)</i>	Design de rede	Peça de alumínio reciclado	-	Auxiliar no processo de decisão a partir do desenvolvimento do framework.	Quantitativa	Estudo de Caso	CO	NA	AHP		
<i>Deng et al. (2016)</i>	Localização, inventário e roteamento	E-commerce	-	Decidir a quantidade e a localização dos centros e organizar as rotas do veículo e determinar os tempos de pedido em cada rota.	Quantitativa	Simulação	PNL	U	HACO		
<i>Difrancesco e Huchzermeier (2016)</i>	Design de rede	-	-	Orientar o leitor através dos principais aspectos da teoria e prática em CLSC e define as orientações para os gestores.	Qualitativa	Bibliográfico	NA	NA	NA		
<i>Djikanovic e Vujosevic (2016)</i>	Design de rede	Eletrodoméstico	Sérvia	Minimizar o custo total.	Quantitativa	Estudo de Caso	PL	U	VNS		
<i>Dutta et al. (2016)</i>	Design de rede	Varejistas	-	Minimizar o custo total na presença de oferta de recompra e <i>Three Way Recovery (TWR)</i> .	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA		
<i>Fang et al. (2016)</i>	Planejamento de produção	-	-	Planejar a produção e determinar como otimizar produtos e adquirir componentes para satisfazer a demanda de pedidos e serviços de manutenção.	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA		

<i>Aspectos Gerais</i>						<i>Classificação Metodológica</i>				
<i>Autor (Ano)</i>	<i>Escopo</i>	<i>Indústria/ Produto/ Setor</i>	<i>País</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Abordagem</i>	<i>Tipo</i>	<i>Modelo</i>	<i>FO</i>	<i>Método de Solução</i>	
<i>Gao et al. (2016)</i>	Remanufatura	Produtos eletromecânicos	-	Desenvolver um modelo de temporização ideal para produtos eletromecânicos com base na avaliação do e no custo de ciclo de vida.	Quantitativa	Simulação	EC	NA	Simulação de Monte Carlo e estatística descritiva	
<i>Ghadge et al. (2016)</i>	Localização das instalações	-	Reino Unido	Encontrar uma solução de localização sustentável.	Quantitativa	Estudo de Caso	Híbrido: COG+ PL	MO	Desenvolveu modelo de simulação	
<i>Giri e Sharma (2016)</i>	Planejamento da produção	-	-	Determinar a quantidade ideal de produto acabado que será fabricado a partir de matérias-primas, de modo a maximizar o lucro.	Quantitativa	Simulação	EC	NA	-	
<i>Hatefi et al. (2016)</i>	Design de rede	-	-	Minimizar os custos totais.	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA	
<i>Jeihoonian, Zanjani e Gendreau (2016)</i>	Design de rede	-	-	Formular o projeto de rede da CLSC para o caso de produtos duráveis e a localização das instalações.	Quantitativa	Simulação	PL	U	BDLB	
<i>Jena e Sarmah (2016)</i>	Remanufatura	-	-	Incentivar os pesquisadores e fornecer informações sobre a gestão de aquisição.	Qualitativa	Bibliográfica	NA	NA	NA	
<i>Jung et al. (2016)</i>	Planejamento de fornecimento	-	-	Desenvolver planos ideais de produção.	Quantitativa	Simulação	PL	U	Shortest Path Algorithm	

<i>Aspectos Gerais</i>						<i>Classificação Metodológica</i>				
<i>Autor (Ano)</i>	<i>Escopo</i>	<i>Indústria/ Produto/ Setor</i>	<i>País</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Abordagem</i>	<i>Tipo</i>	<i>Modelo</i>	<i>FO</i>	<i>Método de Solução</i>	
<i>Keyvanshokoo, Ryan e Kabir (2016)</i>	Design de rede	-	-	Maximizar o lucro esperado.	Quantitativa	Simulação	PL	U	BD	
<i>Kisomi, Solimanpur e Doniavi (2016)</i>	Design de rede e seleção de fornecedores	-	-	Minimizar o custo total da rede da CS, determinando os melhores fornecedores, a alocação de pedidos, a localização de instalações.	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA	
<i>Mawandiya, Jhan e Thakkar (2016)</i>	Planejamento da Produção e Gestão de	-	-	Determinar a política ótima de estoque e produção para minimizar o custo total.	Quantitativa	Simulação	EC	NA	-	
<i>Rahmani (2016)</i>	Localização das instalações	-	-	Determinar a localização ideal e a atratividade da nova instalação a ser aberta para maximizar o lucro.	Quantitativa	Simulação	PNL	U	GMIN-abb	
<i>Ramezani e Kimiagari (2016)</i>	Design de rede	-	-	Maximizar a mudança na equidade.	Quantitativa	Simulação	PL	MO	Scenario relaxation algorithm e BD	
<i>Ran et al. (2016)</i>	Reciclagem	Garrafas de vidro	-	Obter o melhor lucro.	Quantitativa	Simulação	ME	NA	Teoria dos Jogos	
<i>Saha, Sarmah e Moon (2016)</i>	Remanufatura	-	-	Investigar a política orientada por recompensas para aquisição de produtos .	Quantitativa	Simulação	ME	NA	Teoria dos Jogos	

Aspectos Gerais						Classificação Metodológica				
Autor (Ano)	Escopo	Indústria/ Produto/ Setor	País	Objetivo	Abordagem	Tipo	Modelo	FO	Método de Solução	
<i>Shi, Li e Long (2016)</i>	Gestão de recursos	-	-	Apresentar um modelo de planejamento de hierárquico de agendamento considerando a produção, circulação e remanufatura.	Qualitativa	-	CO	NA	NA	
<i>Soleimani, Seyed-Esfahani e Shirazi (2016)</i>	Design de rede	Plástico	Índia	Maximizar o lucro total.	Quantitativa	Estudo de Caso	PL	U	Desenvolve uma solução multicritério	
<i>Soysal (2016)</i>	Roteamento e inventário	Refrigerante	Turquia	Minimizar os custos totais de distribuição e estoque.	Quantitativa	Estudo de Caso	PL	U	Modelo de simulação	
<i>Tahirov, Hasanov e Jaber (2016)</i>	Remanufatura	-	-	Desenvolver um modelo onde o produto e suas peças de reposição são desmontadas para recuperação.	Quantitativa	Simulação	PNL	U	NA	
<i>Torabi et al. (2016)</i>	Design de rede	-	-	Minimizar os custos totais.	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA	
<i>Wang e Hazen (2016)</i>	Remanufatura	-	China	Examinar o efeito da percepção dos consumidores.	Quantitativa	Experimental	ES	NA	Inferência estatística	



<i>Aspectos Gerais</i>						<i>Classificação Metodológica</i>				
<i>Autor (Ano)</i>	<i>Escopo</i>	<i>Indústria/ Produto/ Setor</i>	<i>País</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Abordagem</i>	<i>Tipo</i>	<i>Modelo</i>	<i>FO</i>	<i>Método de Solução</i>	
<i>Wang et al. (2016)</i>	Design de rede	-	-	A fim de melhorar as abordagens atuais de solução para o design e o planejamento da CLSC, uma nova metodologia de solução é desenvolvida.	Quantitativa	Simulação	PL	U	ACE	
<i>Yang et al. (2016)</i>	Design de rede	-	-	Maximizar o lucro e minimizar o total de emissões geradas.	Quantitativa	Simulação	PNL	MO	Desenvolve um algoritmo	
<i>Yi et al. (2016)</i>	Remanufatura	-	China	Maximizar a recuperação de materiais de construção em fim de vida, minimizar o uso de energia e os efeitos nocivos ao meio ambiente.	Quantitativa	Estudo de Caso	PL	U	GA	
<i>Yuchi et al. (2016)</i>	Localização, inventário e roteamento	-	-	Minimizar os custos.	Quantitativa	Simulação	PNL	U	NTS	
<i>Zeballos, Mendez e Barbosa-Povoa (2016)</i>	Design de rede	Vidro	Portugal	Determinar o design e o planejamento da rede para cada período, enquanto o lucro é maximizado.	Quantitativa	Simulação	ME	U	NA	
<i>Amin e Baki (2017)</i>	Localização das instalações	-	Canadá	Maximizar a entrega no prazo do fornecedor e o lucro total da rede.	Quantitativa	Estudo de Caso	PL	MO	Híbrido: Corley + progra-mação Fuzzy	

Aspectos Gerais						Classificação Metodológica				
<i>Autor (Ano)</i>	<i>Escopo</i>	<i>Indústria/ Produto/ Setor</i>	<i>País</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Abordagem</i>	<i>Tipo</i>	<i>Modelo</i>	<i>FO</i>	<i>Método de Solução</i>	
<i>Amin, Zhang e Akhtar (2017)</i>	Remanufatura	Pneus	Canadá	Maximizar o lucro total.	Quantitativa	Estudo de Caso	PL	U	Baseado na árvore de decisão e no conceito de fluxo de caixa descontado	
<i>Banasik et al. (2017)</i>	Planejamento da produção e distribuição	Alimentos	-	Demonstrar como o modelo de suporte a decisão pode ser usado para explorar os efeitos da aplicação de princípios de malha fechada sobre o desempenho econômico e ambiental.	Quantitativa	Simulação	PL	MO	NA	
<i>Battini, Bogataj e Choudhary (2017)</i>	-	-	-	Resumir os trabalhos publicados na edição especial intitulada CLSC (CLSC): Economia, modelagem, gestão e controle .	Qualitativa	Bibliográfica	NA	NA	NA	
<i>Calmon e Graves (2017)</i>	Gestão de inventário	Eletrônicos	-	Descrver, modelar e otimizar os estoques em um sistema de LR.	Quantitativa	Simulação	ME	U	Simulação de Monte Carlo	
<i>Chen et al. (2017)</i>	Design de rede	Energia solar	-	Examina o problema do projeto da rede da CS direta e reversa integrada.	Quantitativa	Simulação	PL	MO	MOPSO	

<i>Aspectos Gerais</i>				<i>Classificação Metodológica</i>					
<i>Autor (Ano)</i>	<i>Escopo</i>	<i>Indústria/ Produto/ Setor</i>	<i>País</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Abordagem</i>	<i>Tipo</i>	<i>Modelo</i>	<i>FO</i>	<i>Método de Solução</i>
<i>Cui, Wu e Tseng (2017)</i>	Remanufatura	-	China	Desenvolver um modelo abrangente que forneça diretrizes precisas para os remanufaturadores na seleção de uma estratégia de qualidade de remanufatura ótima baseada nas preferências do consumidor.	Quantitativa	Estudo de Caso	EC	NA	-
<i>Cui et al. (2017)</i>	Localização de instalações	-	-	Determinar uma rede ótima de CLSC para minimizar o custo total.	Quantitativa	Simulação	PL	U	GABC e método Taguchi
<i>De Campos et al. (2017)</i>	-	Produtos farmacêuticos	-	Identificar os conceitos e práticas da LR aplicados ao fim de vida e ao fim de uso de produtos farmacêuticos.	Qualitativa	Bibliográfica	NA	NA	NA
<i>Desport et al. (2017)</i>	Gestão de inventário	Equipamentos	-	Propõem um modelo para solucionar problemas de estoques.	Quantitativa	Experimental	PL	MO	Metaheurística
<i>Diallo et al. (2017)</i>	-	-	-	Realizar uma revisão bibliográfica sobre questões de qualidade, confiabilidade e manutenção em CLSCs.	Qualitativa	Bibliográfica	NA	NA	NA

<i>Aspectos Gerais</i>					<i>Classificação Metodológica</i>				
<i>Autor (Ano)</i>	<i>Escopo</i>	<i>Indústria/ Produto/ Setor</i>	<i>País</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Abordagem</i>	<i>Tipo</i>	<i>Modelo</i>	<i>FO</i>	<i>Método de Solução</i>
<i>Fang, Du e Qiu (2017)</i>	Roteamento da produção	-	-	Visa incorporar a LR nos problemas de roteamento da produção e investigar a redução das emissões de carbono e o comércio de carbono.	Quantitativa	Simulação	PL	U	B&C
<i>Fard et al. (2017)</i>	Design de rede	-	-	Minimizar o custo total esperado e o risco.	Quantitativa	Simulação	ME	MO	ICA, PSO, GA e $\epsilon$ -constraint
<i>Fattahi e Govindan (2017)</i>	Design de rede	-	-	Maximizar o lucro líquido da integração dos fluxos direto e reverso.	Quantitativa	Simulação	PL	U	SA
<i>Gaur, Amin e Rao (2017a)</i>	Design de rede	Baterias	Índia	Maximizar o VPL do lucro líquido total ao longo de todo o ciclo de vida de produtos novos e reconicionados, enquanto satisfaz as restrições para a CLSC.	Quantitativa	Simulação	PNL	U	Algoritmos: AO, ER e AP.
<i>Gaur et al. (2017b)</i>	Remanufatura	-	-	Propor um framework conceitual para melhorar a aquisição dos retornos de maior qualidade.	Quantitativa	Levantamento (survey)	CO	NA	AHP

Aspectos Gerais						Classificação Metodológica				
<i>Autor (Ano)</i>	Escopo	Indústria/ Produto/ Setor	País	Objetivo	Abordagem	Tipo	Modelo	FO	Método de Solução	
<i>Ghomi-Avili et al. (2017)</i>	Localização das instalações	-	-	Determinar a localização ótima dos centros de produção e coleta, para minimizar o custo total de localização, estoque e transporte.	Quantitativa	Simulação	PNL	U	NA	
<i>Ghorabae et al. (2017)</i>	Design de rede	-	-	Minimizar o custo total da rede e maximizar o score total do fornecedor verdes das matérias-primas adquiridos.	Quantitativa	Simulação	PNL	MO	F-MCDM	
<i>Giri e Glock (2017)</i>	Efeitos de aprendizagem e esquecimento	-	-	Investigar as tarefas de inspeção manual e montagem/desmontagem em CLSC.	Quantitativa	Simulação	EC	NA	Desenvolve um algoritmo	
<i>Giri, Chakraborty e Maiti (2017)</i>	Design de rede	-	-	Busca responder os seguintes questionamentos envolvendo preço de venda, liderança e processo de reciclagem.	Quantitativa	Simulação	ME	NA	Teoria dos jogos	
<i>Govindan e Soleimani (2017)</i>	-	-	-	Revisar, categorizar e avaliar os artigos relacionados, a fim de fornecer uma revisão sistemática e uma visão para estudos futuros.	Qualitativa	Bibliográfica	NA	NA	NA	

<i>Aspectos Gerais</i>						<i>Classificação Metodológica</i>				
<i>Autor (Ano)</i>	<i>Escopo</i>	<i>Indústria/ Produto/ Setor</i>	<i>País</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Abordagem</i>	<i>Tipo</i>	<i>Modelo</i>	<i>FO</i>	<i>Método de Solução</i>	
<i>Govindan et al. (2017a)</i>	Design de rede	Impressoras	Índia	Minimizar o custo total da CLSC, maximizar o desempenho dos fornecedores selecionados e minimizar a footprint carbon da logística de transporte.	Quantitativa	Estudo de Caso	PL	MO	FA, AHP e abordagem ponderada max-min	
<i>Govindan, Fattahi e Keyvanshokoh (2017b)</i>	Design de rede	-	-	Revisar os estudos e as abordagens de otimização desenvolvidas para projetar redes de CS, CLSC e LR sob incerteza.	Qualitativa	Bibliográfica	NA	NA	NA	
<i>Guo et al. (2017)</i>	Roteamento de veículos	Alimentos	China	Minimizar os custos totais do sistema e minimizar os custos de transporte da rota dos veículos de distribuição.	Quantitativa	Estudo de Caso	PL	U	PSO e GA	
<i>Hahler e Fleischmann (2017)</i>	Estratégia	Provedor de E-commerce	-	Analisar o processo de avaliação do produto de um provedor de E-commerce.	Quantitativa	Simulação	ME	NA	Teoria dos jogos	
<i>He (2017)</i>	Design de rede	-	-	Investigar os contratos que os remanufaturados podem usar para melhorar o processo de fornecimento da CLSC.	Quantitativa	Simulação	ME	NA	Teoria dos jogos	

<i>Aspectos Gerais</i>					<i>Classificação Metodológica</i>				
<i>Autor (Ano)</i>	<i>Escopo</i>	<i>Indústria/ Produto/ Setor</i>	<i>País</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Abordagem</i>	<i>Tipo</i>	<i>Modelo</i>	<i>FO</i>	<i>Método de Solução</i>
<i>Heydari, Govindan e Jafari (2017)</i>	Subsídio / isenção fiscal	-	-	Implementar um mecanismo prático de coordenação na forma de descontos por quantidade e aumentar os contratos de taxas para coordenar as cadeias de fornecimento de malha reversa e fechada.	Quantitativa	Simulação	EC	NA	-
<i>Huang, Yi e Shi (2017)</i>	Remanufatura	Varejo	-	Explorar as estratégias ótimas para uma CLSC dominada pelo varejista.	Quantitativa	Simulação	ME	NA	Teoria dos jogos
<i>Ivanov et al. (2017)</i>	Planejamento da CS	-	-	Desenvolver uma abordagem de planejamento e recuperação com a consideração de fluxos de retorno de material relacionados à ruptura como um componente da análise multiobjetiva.	Quantitativa	Simulação	PL	MO	Simplex
<i>Jeihoonian, Zanjani e Gendreau (2017)</i>	Design de rede	-	-	Propor uma abordagem para modelar o status de qualidade incerta, onde a disponibilidade de cada componente é modelada como um cenário discreto.	Quantitativa	Simulação	ME	U	Algoritmos: L-shape e fast forward selection

Aspectos Gerais						Classificação Metodológica				
Autor (Ano)	Escopo	Indústria/ Produto/ Setor	País	Objetivo	Abordagem	Tipo	Modelo	FO	Método de Solução	
<i>Jindal e Sangwan (2017)</i>	Design de rede	-	-	Maximizar o lucro da organização e minimizar o impacto ambiental do transporte.	Quantitativa	Simulação	PL	MO	NA	
<i>Kadambala et al. (2017)</i>	Design de rede	-	-	Formular um problema de CLSC multi-objetivo baseado em um modelo de fluxo de rede que mede o valor do tempo para recuperar o máximo de ativos perdidos devido ao atraso em diferentes estágios do processo de reciclagem.	Quantitativa	Simulação	PL	MO	MOPSO e NSGA-II	
<i>Kapur, Sachdeva e Singh (2017)</i>	Remanufatura	-	-	Desenvolver um framework para maximizar o lucro na presença da remanufatura e desenvolver uma abordagem para quantificar a reutilização efetiva na remanufatura	Quantitativa	Simulação	PNL	NA	Técnica de otimização não-linear	
<i>Khor e Hazen (2017)</i>	Remanufatura	-	Malásia	Examinar a atitude do consumidor, normas subjetivas e controle comportamental percebido em relação à compra de produtos remanufaturados.	Quantitativa	Levantamento (survey)	NA	NA	Inferência estatística	



Aspectos Gerais					Classificação Metodológica				
<i>Autor (Ano)</i>	<b>Escopo</b>	<b>Indústria/ Produto/ Setor</b>	<b>País</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Abordagem</b>	<b>Tipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>FO</b>	<b>Método de Solução</b>
<i>Kovacic', Usenik e Bogataj (2017)</i>	Recuperação de recursos	MSW	-	Apresentar um método analítico para avaliar os investimentos na planta.	Quantitativa	Simulação	ME	NA	Abordagem neuro-fuzzy.
<i>Kumar et al. (2017)</i>	Roteamento de veículos	-	-	Maximizar o lucro total e obter uma rota eficiente para o veículo correspondente a uma solução ótima ou quase ótima.	Quantitativa	Simulação	PL	U	AIS e PSO
<i>Mohammadzadeh, Khamseh e Mohammadi (2017)</i>	Seleção de fornecedores	-	-	Minimizar a poluição total, maximizar o lucro e o score total dos fornecedores.	Quantitativa	Simulação	PNL	MO	F-MCDM
<i>Mohammed et al. (2017)</i>	Design de rede	-	-	Minimizar o custo total da CS e as emissões totais de carbono.	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA
<i>Moshtagh e Taleizadeh (2017)</i>	Remanufatura	-	-	Maximizar o lucro.	Quantitativa	Simulação	ME	U	Propõe um algoritmo
<i>Ndhaief, Bistorin e Rezg (2017)</i>	Localização das instalações	-	-	Maximizar o lucro considerando o custo ambiental e social.	Quantitativa	Simulação	PL	U	B&B
<i>Panagiotidou et al. (2017)</i>	Dimensionamento de lote	-	-	Examinar as decisões de aquisições e produção em um sistema híbrido.	Quantitativa	Simulação	PNL	NA	Desenvolve programa de simulação

Aspectos Gerais					Classificação Metodológica				
<i>Autor (Ano)</i>	Escopo	Indústria/ Produto/ Setor	País	Objetivo	Abordagem	Tipo	Modelo	FO	Método de Solução
<i>Paydar, Babaveisi e Safaei (2017)</i>	Design de rede	Óleo de motor	Irã	Maximizar o lucro total e minimizar o risco de <i>collection</i> na rede.	Quantitativa	Estudo de Caso	PL	MO	Método augmented $\varepsilon$ -constraint
<i>Pedram et al. (2017)</i>	Design de rede	Pneus	Irã	Maximizar o lucro e fornecer suporte à decisão de gestão de resíduos, a fim de minimizar a poluição.	Quantitativa	Estudo de Caso	PL	U	NA
<i>Polotski, Kenne e Gharbi (2017)</i>	Planejamento da produção	-	-	Determinar as políticas ótimas de produção e configuração é essencial para planejar com eficiência o processo de produção e reduzir os custos.	Quantitativa	Simulação	ME	NA	-
<i>Rahmani-Ahranjani et al. (2017)</i>	Design de rede	Papel	Irã	Minimizar o custo total e o impacto ambiental total.	Quantitativa	Estudo de Caso	PL	MO	FGP
<i>Safaei, Roozbeh e Paydar (2017)</i>	Reciclagem	Papelão	Irã	Maximizar o lucro.	Quantitativa	Estudo de Caso	PL	U	NA
<i>Sasikumar et al. (2017)</i>	Gestão de inventário	-	-	Modelar e otimizar a CLSC para maximizar o lucro.	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA
<i>Shi et al. (2017)</i>	Localização das instalações	-	China	Minimizar o custo total, as emissões de carbono e maximizar a capacidade de resposta.	Quantitativa	Simulação	PL	U	Algoritmo baseado no NSGA II

Aspectos Gerais						Classificação Metodológica				
<i>Autor (Ano)</i>	Escopo	Indústria/ Produto/ Setor	País	Objetivo	Abordagem	Tipo	Modelo	FO	Método de Solução	
<i>Stindt et al. (2017)</i>	Gestão de Negócios	Fabricantes de equipamentos originais	Reino Unido e Alemanha	Identificar, analisar e integrar sistematicamente, as forças que moldam a atratividade dos mercados reversos.	Qualitativa	Estudo de Caso	NA	NA	NA	
<i>Turki et al. (2017)</i>	Inventário, remanufatura e transporte	-	-	Minimizar o custo total.	Quantitativa	Simulação	ME	U	GA	
<i>Yang, Huang e Qiang (2017)</i>	Design de rede	-	-	Maximizar o lucro e minimizar as emissões geradas.	Quantitativa	Simulação	PNL	MO	Híbrido: GA + LQP-ALM	
<i>Yousefi-Babadi et al. (2017)</i>	Localização das instalações	Petroquímica	Irã	Minimizar o atraso médio para entregar os produtos, o custo total e o custo de transporte.	Quantitativa	Estudo de Caso	Híbrido: PNL + Teoria das Filas	MO	Jackson network, Lp- metric e Lagrangian Relaxation	
<i>Zhou, Naim e Disney (2017)</i>	Efeito chicote e gestão de inventário	-	-	Explorar a dinâmica de uma CLSC de três escalões.	Quantitativa	Simulação	Híbrido: Transformada de Laplace + modelagem dinâmica	NA	-	

Aspectos Gerais					Classificação Metodológica				
Autor (Ano)	Escopo	Indústria/ Produto/ Setor	País	Objetivo	Abordagem	Tipo	Modelo	FO	Método de Solução
<i>Behmanesh e Pannek (2018)</i>	Design de rede	-	-	Minimizar o custo total da rede de LD/LR integrada.	Quantitativa	Experimental	PL	U	MA
<i>Bhattacharya, Kaur e Amit (2018)</i>	Remanufatura	-	-	Determinar os retornos ideais em cada estágio da CLSC e o preço de venda dos produtos híbridos.	Quantitativa	Simulação	PNL	U	Método de otimização
<i>Çalik et al. (2018)</i>	Design de rede	-	-	Projetar uma rede CLSC descentralizada com fontes comuns em um ambiente colaborativo e propor uma nova abordagem do <i>Interactive Fuzzy Programming (IFP)</i> .	Quantitativa	Simulação	PL	U	F-MCDM
<i>Cheraghalipou, Paydar e Hajiaghaei-Keshтели (2018)</i>	Design de rede	Alimentos	Irã	Minimizar os custos e maximizar a capacidade de resposta a demanda dos clientes (direto e reverso).	Quantitativa	Estudo de Caso	PL	MO	Híbrido: AHP + VIKOR para escolher o melhor algoritmo: MOKA, NSGA-II, NPGA e MOSA
<i>Fard e Hajiaghaei-Keshтели (2018)</i>	Localização-alocação	Vidro	Irã	Desenvolver um modelo para o projeto de alocação-localização.	Quantitativa	Estudo de Caso	ME	NA	VNS, TS, PSO, KA e WWO

<i>Aspectos Gerais</i>					<i>Classificação Metodológica</i>				
<i>Autor (Ano)</i>	<i>Escopo</i>	<i>Indústria/Produto/Sector</i>	<i>País</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Abordagem</i>	<i>Tipo</i>	<i>Modelo</i>	<i>FO</i>	<i>Método de Solução</i>
<i>Gong et al. (2018)</i>	Roteamento de veículos	-	-	Minimizar o tempo mínimo de espera, o consumo de combustível e a distância de entrega.	Quantitativa	Simulação	PL	MO	BEG-NSGA-II
<i>Hansen et al. (2018)</i>	Estratégia	-	Europa	Identificar os fatores contextuais que determinam a posição mais vantajosa entre a LD e LR de uma empresa e propõe um framework para tomada de decisão.	Qualitativa e Quantitativa	Estudo de Caso	CO	NA	NA
<i>Islam e Huda (2018)</i>	-	WEEE	-	Fornecer um quadro completo, categorizando o conteúdo da literatura e revisando quatro tipos distintos de pesquisa.	Qualitativa	Bibliográfica	NA	NA	NA
<i>Jabbarzadeh, Houghton e Khosrojerdi (2018)</i>	Localização das instalações	Vidro	Irã	Determinar as decisões de localização das instalações e as quantidades de transbordo lateral que minimizam o custo total da CS.	Quantitativa	Estudo de Caso	ME	U	Lagrangian Relaxation
<i>Jerbia et al. (2018)</i>	Localização das instalações	-	-	Determinar os melhores locais para os centros de coleta/distribuição, de forma a maximizar o lucro total	Quantitativa	Experimental	ME	U	NA

Aspectos Gerais					Classificação Metodológica				
<i>Autor (Ano)</i>	Escopo	Indústria/ Produto/ Setor	País	Objetivo	Abordagem	Tipo	Modelo	FO	Método de Solução
<i>Ke, Wu e Huang (2018)</i>	Decisão de precificação	-	-	Tem o foco sobre o problema de precificação em CLSC com dois varejistas competitivos e suscetíveis a riscos em um ambiente incerto.	Quantitativa	Experimental	PNL	U	-
<i>Kim et al. (2018)</i>	Planejamento da Produção	Moda	-	Desenvolver um modelo para planejar a CLSC considerando a incerteza do fluxo da LR dos materiais coletados e a incerteza na demanda para tratar da questão ambiental na indústria da moda.	Quantitativa	Experimental	PL	U	NA
<i>Liao e Li (2018)</i>	Estratégia	-	-	Identificar o preço atual e a estratégia do canal para maximizar o lucro do fabricante.	Quantitativa	Simulação	ME	NA	Teoria dos jogos
<i>Ma e Li (2018)</i>	Design de rede	Baterias	China	Maximizar os lucros sob restrição de risco.	Quantitativa	Experimental	ME	U	GA e PEM
<i>Nahr, Kian e Rezaadeh (2018)</i>	Design de rede	-	-	Garantir um fluxo suave de materiais e atingir o valor máximo de devolução para minimizar os custos totais.	Quantitativa	Experimental	PL	U	LCA
<i>Nallusamy et al. (2018)</i>	Gestão de inventário	-	-	Maximizar o lucro, determinando a política de estoque ideal.	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA

<i>Aspectos Gerais</i>						<i>Classificação Metodológica</i>				
<i>Autor (Ano)</i>	<i>Escopo</i>	<i>Indústria/ Produto/ Setor</i>	<i>País</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Abordagem</i>	<i>Tipo</i>	<i>Modelo</i>	<i>FO</i>	<i>Método de Solução</i>	
<i>Paras e Pal (2018)</i>	Reutilização	Vestuário	Dinamarca, Finlândia, Islândia, Noruega e Suécia	Desenvolver um modelo para contar o número de ciclos ou viagens que um produto de vestuário pode fazer em uma CLSC baseado em reutilização.	Quantitativa	Experimental	ME	U	Cadeia de Markove	
<i>Pereira et al. (2018)</i>	Previsão dos retornos	Pneus	Brasil	Propor um modelo de previsão para uma CLSC de pneus destacando a relação entre o número de pneus inseridos no mercado e o número de pneus para o destino.	Quantitativa	Experimental	ES	NA	Inferência estatística	
<i>Qiu et al. (2018)</i>	Roteamento da produção com LR e remanufatura	-	-	Desenvolver um modelo e um algoritmo para um problema de roteamento da produção em uma CLSC com remanufatura, coletas e entregas simultâneas.	Quantitativa	Simulação	PL	U	BCGS e GVND	
<i>Rad et al. (2018)</i>	Seleção de fornecedores	-	-	Minimizar o custo total determinando a localização das instalações, plano de produção, níveis de estoque, fluxos entre instalações, tipo de transporte, quantidade de compra e selecionando o fornecedor.	Quantitativa	Experimental	PL	U	NA	

<i>Aspectos Gerais</i>					<i>Classificação Metodológica</i>				
<i>Autor (Ano)</i>	<i>Escopo</i>	<i>Indústria/ Produto/ Setor</i>	<i>País</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Abordagem</i>	<i>Tipo</i>	<i>Modelo</i>	<i>FO</i>	<i>Método de Solução</i>
<i>Shahparvari et al. (2018)</i>	Reciclagem	-	-	Maximizar o lucro considerando a coleta de produtos devolvidos, a recuperação e a proporção do mix de produtos em diferentes níveis de qualidade.	Quantitativa	Experimental	PL	U	NA
<i>Shankar, Bhattacharyya e Choudhary (2018)</i>	Design de rede	Veículos	Índia	Otimizar o planejamento de produção e distribuição de uma rede CLSC, para maximizar o lucro.	Quantitativa	Experimental	PL	U	Teoria dos jogos
<i>Srinivasan e Khan (2018)</i>	Localização das instalações	Cartuchos	Índia	Minimizar o custo total pelo trade-off entre as peças recuperadas e as peças compradas.	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA
<i>Tornese et al. (2018)</i>	Design de rede e seleção de clientes	Paletes	-	Investigar as decisões operacionais e de projeto a partir da perspectiva de provedor de pooling.	Quantitativa	Simulação	EC	NA	-
<i>Wang, Hazen e Mollenkopf (2018)</i>	Percepção de valor	-	China	Fornecer uma base teórica para entender a percepção de valor dos consumidores em relação a produtos remanufaturados.	Quantitativa	Levantamento (survey)	EC	NA	Inferência estatística



Aspectos Gerais				Classificação Metodológica					
Autor (Ano)	Escopo	Indústria/ Produto/ Setor	País	Objetivo	Abordagem	Tipo	Modelo	FO	Método de Solução
<i>Weeks, Guifrida e Safa (2018)</i>	Desempenho	Siderúrgicas	EUA e Canadá	Abordar o impacto do comprometimento dos recursos, a eficiência da rota e a flexibilidade da manufatura no desempenho financeiro.	Quantitativa	Levantamento (survey)	EC	NA	Inferência estatística
<i>Zeballos, Mendez e Barbosa-Povoa (2018)</i>	Design de rede	-	Europa	Maximizar o lucro global da rede.	Quantitativa	Simulação	PL	U	NA

\*Modelo: CO= Modelo Conceitual; EC= Modelo Econômico; ES= Modelo Estatístico; ME= Modelo Estocástico; PL=Programação Linear; e PNL=Programação Não-Linear;

\*\* Função Objetivo: U= apenas um objetivo e MO= multi-objetivos;

\*\*\* Métodos de Solução: AC= Ant Colony algorithm; ACE= Algorithm advanced cross-entropy ; B&B= Branch-and-Bound; BeC= Branch-and-Cut; BCGS= Branch-and-Cut Guided Search; BD= Benders decomposition ; BDLB= Benders Decomposition with Local Branching; BEG-NSGA-II= Bee evolutionary algorithm guiding nondominated sorting genetic algorithm II; COG= Centre of Gravity; CRAB-MP= Capacitated Routing and Allocation with Balancing-Multiple Products; DE= Differential Evolution Algorithm; DEA= Data Envelopment Analysis ; FA= Factor Analysis; FAHP= Fuzzy AHP; FGP= Fuzzy goal programming ; FLC= Fuzzy Logic Control; GA=Genetic Algorithm; GABC= Genetic Artificial Bee Colony Algorithm ; GMIN-aBB= General Structure Mixed-Integer Nonlinear a BB algorithm; GVND= Guided Variable Neighborhood Descente; HACO= Hybrid ant colony optimization; hGA= Hybrid Genetic Algorithm; ICA= Imperialist competitive Algorithm; IDE= Improved Differential Evolution Algorithm; IFGP= Interactive Fuzzy Goal Programming; KA= Keshel Algorithm; LCA=League Championship Algorithm ; LQP-ALM= Logarithmic-quadratic proximal augmented Lagrangian method; MA= Memetic Algorithm; MOPSO= Multi-objective Particle Swarm Optimization; NS= Neighborhood Search; NSGA-II= Nondominated Sorting Genetic Algorithm II; NTS= New Tabu Search; OLF= Open-Loop Feedback Procedure; OLN-AT= Open-Loop no updating with adjust term; PB-SA= ; Priority-based Simulated Annealing Algorithm; PEM= Parallel Enumeration Method; priGA= Priority-based Genetic Algorithm; PRISM= Priority based Simulated Annealing; PSO= Particle Swarm Optimization; QFD= Quality Function Deployment Method; RO= Robust Optimization; RSM= Response Surface Methodology; SA= Simulated Annealing; SAA= Sample Average Approximation; SAICA= Self-adaptive Imperialist Competitive Algorithm; SD= System Dynamics; SMOGA= Stochastic Multi-objective Genetic Algorithm; SSOA= Search and Optimisation Algorithm; SPGA= Straight priority-based Genetic Algorithm; TS= Tabu Search ; VNS= Variable Neighborhood Search; WWO= Water Wave Optimization;

\*\*\*\*NA= Não se aplica