

MODELOS DE OTIMIZAÇÃO DE LOCALIZAÇÃO E INVENTÁRIO EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS: UMA REVISÃO DE LITERATURA

Angélica Alebrant Mendes
Maria Clara Rodrigues Pinheiro
Hugo Tsugunobu Yoshida Yoshizaki
Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção

RESUMO

A análise da localização mais adequada das instalações da cadeia de suprimentos juntamente com a análise do inventário possibilita a determinação de uma rede de instalações com menores custos totais envolvendo custos de instalação, custos de estoque e custos de transporte. Este trabalho tem por objetivo fazer uma revisão da literatura relacionada a modelos de otimização conjunta de localização de instalações e inventário em cadeias de suprimentos. Para tanto, trabalhos publicados abordando o tema foram pesquisados em bases científicas e classificados segundo taxonomia definida para problemas de localização de instalações e gerenciamento de inventário. Como resultado, é apresentada uma tabela comparativa de características entre os estudos já realizados, bem como uma análise de possíveis problemas ainda não abordados ou parcialmente cobertos pela literatura. Esta análise pode identificar o direcionamento para futuras pesquisas na área.

ABSTRACT

The analysis of the best facility location of a supply chain jointly with the analysis of the required inventory allows for a network design that have lower total costs. These costs are comprised of costs of installation, costs of inventory, and costs of transportation. This paper aims to develop a literature review related to jointly optimization models of facility location and inventory management in supply chain networks. To reach this objective, we have researched papers that approach the topic in scientific bases and have classified them according to a determined taxonomy of facility location and inventory problems. As a result, we present a table comparing the characteristics of the studied models and analyze possible problems that have not been approached or have just been partially covered by the literature. This analysis gives directions for future researches in the area of study.

1. INTRODUÇÃO

O gerenciamento da cadeia de suprimentos é de grande importância para a redução de custos e melhoria da competitividade das organizações. O projeto da rede de suprimentos é crucial, pois tem grande impacto no planejamento e na performance da cadeia de suprimentos (Tancrez *et al.*, 2012). Tratando-se de projeto da rede de suprimentos, dois fatores se destacam: *i*) a localização mais adequada das instalações da cadeia de suprimentos e *ii*) o gerenciamento do inventário entre essas instalações.

Problemas de localização de instalações são tipicamente utilizados no projeto de redes de distribuição, determinando, além da localização das instalações, a alocação de consumidores em potencial. Exemplos são a localização de instalações fabris, a alocação de centros de distribuição a essas instalações e, finalmente, a alocação de varejistas aos centros de distribuição. Tipicamente, essa família de problemas assume função de custo linear e demanda determinística (Miranda e Garrido, 2004).

Por sua vez, o gerenciamento do inventário na cadeia de suprimentos integra o planejamento e o controle de inventário ao longo de toda a rede de instalações. Esse gerenciamento de inventário tem por objetivo melhorar o serviço ao cliente, aumentar a variedade de produtos e reduzir custos (Gumus *et al.*, 2010). Ele envolve a determinação das quantidades de produtos a serem estocadas em cada instalação, a frequência de envios e o tamanho dos lotes visando o atendimento da demanda.

Tradicionalmente, o projeto da cadeia de suprimentos era considerado uma decisão estratégica

que envolvia somente a localização e a alocação de instalações (Diabat *et al.*, 2017), sendo decisões relacionadas a inventário determinadas posteriormente (Shahabi *et al.*, 2014). Contudo, ignorar os custos relacionados ao inventário ao determinar a localização de instalações pode gerar soluções sub-ótimas, visto que decisões de localização tem impacto nos custos de inventário (Tancrez *et al.*, 2012; Diabat *et al.*, 2017). Conseqüentemente, nos últimos anos têm ocorrido um movimento na integração de decisões estratégicas e táticas através do desenvolvimento de modelos conjuntos de localização e inventário.

Desta forma, este trabalho tem por objetivo fazer uma revisão da literatura relacionada a modelos de otimização conjunta de localização de instalações e inventário em cadeias de suprimentos. O estudo busca levantar e classificar estudos que já foram realizados abordando o tema e identificar o direcionamento para futuras pesquisas na área.

A análise da localização mais adequada das instalações da cadeia de suprimentos juntamente com a análise do inventário possibilita a determinação de uma rede de instalações com menores custos totais que envolvem custos de instalação, custos de estoque e custos de transporte. Além disso, o nível de serviço ao cliente pode ser melhorado, o que significa menores custos de falta de estoque ou de não atendimento da demanda. Essa análise conjunta é fundamental, principalmente, em cenários onde os custos dos produtos e, conseqüentemente, os custos dos estoques, são elevados e onde a demanda tem alta variabilidade (Miranda e Garrido, 2004).

Este trabalho está organizado em 5 seções. Nesta seção, é apresentada uma breve introdução ao trabalho. Na seção 2 é realizada uma revisão de literatura sobre modelos de localização, modelos de gerenciamento de inventário e modelos conjuntos de localização e inventário. Na seção 3 é apresentada a metodologia utilizada no desenvolvimento do estudo. Na seção 4 são apresentados os resultados da revisão de literatura e, finalmente, na seção 5 são apresentadas as conclusões deste trabalho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A adição de decisões sobre inventário em modelos de tomada de decisão sobre localização de instalações permite que ganhos econômicos significativos sejam alcançados. Neste sentido, é importante que se conheça os modelos clássicos explorados e abordados na literatura sobre localização de instalações e gestão de estoques. Esta sessão divide-se em três tópicos cujos objetivos são oferecer uma visão geral sobre estes problemas. Os dois primeiros tópicos dão enfoque a modelos de cada classe individualmente, enquanto no último são apresentados alguns exemplos de integração entre as duas classes de modelos, isto é, modelos de localização que consideram questões sobre os estoques na cadeia de suprimentos.

2.1. Modelos de Localização de Instalações

Existem diversas taxonomias utilizadas para classificar modelos de localização. Daskin (2008) apresenta que os problemas são divididos conforme o espaço utilizado para modelar o problema em modelos analíticos, contínuos, em rede e discretos. Modelos analíticos podem ser resolvidos através de cálculo ou técnicas simples, em geral assume que as demandas são distribuídas continuamente ao longo da região de serviço. Modelos contínuos assumem tipicamente que as demandas surgem apenas em pontos discretos, e procura-se um local (X,Y) em qualquer lugar do plano. Os problemas de localização em redes consideram uma representação em forma de árvore, em que as demandas surgem apenas em nós da rede. Por fim, tem-se os problemas discretos, que podem ou não utilizar distâncias, as quais podem ser arbitrárias, assim como os

custos. Geralmente as demandas surgem em nós e as instalações se restringem a um número finito de conjuntos de locais candidatos.

Encontram-se na literatura alguns problemas clássicos de modelagem discreta em problemas de localização. Daskin (2008) propõe três subclassificações para estes problemas: modelos de cobertura, modelos baseados em medianas e outros modelos. Pode-se ainda encontrar outros subtipos mais específicos nestas classificações. Os modelos de cobertura, por sua vez, se dividem em: *i*) modelos de cobertura de conjuntos, em que se deseja minimizar o número de locais necessários para o atendimento da demanda; *ii*) modelos de máxima cobertura, cujo objeto é maximizar o número de coberturas dado um número fixo de instalações; e *iii*) modelos de *p*-centro, que minimizam a distância de cobertura necessária para cobrir toda a demanda com *p* instalações. Os modelos baseados em medianas se subdividem em problemas de *p*-medianas e taxa fixa, em que se deseja minimizar a distância média entre demandas e os *p* locais mais próximos e minimizar custos fixos de transporte, respectivamente. Laporte, Nickel e Gama (2015) tratam também sobre problemas de “anti-cobertura”, além de abordarem tópicos mais avançados de localização sob incerteza, problemas envolvendo múltiplos critérios e multiperíodos por exemplo.

Diversos trabalhos indicam possíveis classificações para problemas de localização (Daskin, 2011; Ballou, 2009; Klose e Drexler, 2005; Hall, 2003), pois existem inúmeras variações de modelos que podem ser utilizados em determinados contextos. Estes autores adotam taxonomias próprias para as classificações, entretanto muitos compartilham elementos semelhantes de caracterização, como quantidade de instalações que devem ser localizadas, tipo de demandas, quantidade de produtos, etc.

Klose e Drexler (2005) trazem uma classificação não encontrada em Daskin (2011), Ballou (2009) e Hall (2003), a qual considera sistemas de distribuição com diversos níveis hierárquicos, chamados modelos de múltiplos estágios. Este estudo dá ênfase a modelos com esta característica.

2.2. Modelos de Gerenciamento de Inventário

Segundo Ballou (2009), tem-se inúmeros motivos que justificam a presença de estoques em cadeias de suprimento, entretanto estes podem ser onerosos quando mal geridos. As razões a favor são ligadas a melhoria do serviço ao cliente, ao proporcionarem um nível de disponibilidade de produtos ou serviços aos clientes, que pode acabar resultando em aumento de nível de vendas. Além disso, embora os estoques impliquem em custos de manutenção, estes também proporcionam ganhos de escala ao proporcionarem operações mais prolongadas e equilibradas. Os estoques podem absorver eventuais variações de demanda e trazer economias na aquisição de suprimentos. Em contrapartida, o autor argumenta que manter estoques é desperdício e não agrega valor diretamente ao produto, pois estes absorveram capital que poderia ter tido um destino mais rentável. O excesso de estoque também impede que potenciais melhorias no processo sejam identificadas.

Assim como nos modelos de localização, os problemas de gestão de estoques possuem inúmeras classificações. Ballou (2009) os classifica quanto a natureza da demanda, grau de agregação dos produtos, presença de múltiplos estágios e a filosofia de gerenciamento (estoque empurrado ou puxado). Chopra e Meindl (2011) não destacam classificações de modelos de controle de estoques, entretanto para os modelos com demanda constante, introduz o conceito de lote

econômico. O EOQ (*economic order quantity*) corresponde ao tamanho de lote em que os custos totais são mínimos. O EOQ é dado pela Equação 1:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{hc}} \quad (1)$$

Onde: D é a demanda anual; S é o custo fixo da ordem e C é custo por unidade.

Em estoques, duas decisões são importantes: quando e quanto pedir. O conjunto dessas decisões é chamado de política de reposição de estoques. Chopra e Meindl (2011) destacam duas políticas: *i*) revisão contínua e *ii*) revisão periódica. Na política de revisões contínuas o estoque é revisado continuamente e uma ordem do tamanho do lote econômico de compra é colocada sempre que o estoque atingir um nível determinado de reposição. Na política de revisão periódica, por sua vez, o estoque é revisado em períodos regulares e uma ordem é colocada após cada revisão elevando o estoque a um nível predeterminado.

2.3. Modelos Conjuntos de Localização e Gerenciamento de Inventário

Visto que é mais difícil alterar a localização de uma instalação do que ajustar seu ponto de reposição, decisões de localização (nível estratégico) tem um impacto maior na cadeia de suprimentos do que decisões de gerenciamento de estoques (nível tático). Contudo, decisões de localização podem afetar o gerenciamento de estoque e vice-versa. Dessa forma, a integração de localização e estoques em um único modelo pode conduzir a melhores resultados do que a abordagem independente (Diabat e Deskoors, 2016).

Recentemente, muitos autores têm abordado a otimização conjunta de localização e estoques, como, por exemplo, os estudos de Tancrez *et al.* (2012), Gzara *et al.* (2014) e Diabat *et al.* (2017). Em geral, estes trabalhos buscam determinar quantas instalações estabelecer, onde localizar essas instalações, qual instalação deverá servir qual ponto de demanda, com que frequência deve-se realizar o reabastecimento e qual o tamanho do pedido. Esses modelos costumam ser complexos e não lineares, sendo resolvidos através de métodos que envolvem Relaxamento Lagrangiano, Algoritmos de Aproximação ou Heurísticas. Este trabalho trata da revisão de literatura desses estudos, de forma que mais detalhes serão apresentados na seção de Resultados.

3. METODOLOGIA

Foram consultadas as plataformas científicas Science Direct e IEEE Explore em abril de 2019 e realizadas buscas com as palavras-chaves “*facility location*” e “*inventory*”.

A busca resultou em 59 artigos que foram analisados e classificados de acordo com uma classificação adaptada baseada na taxonomia de modelos e problemas de localização proposta por Daskin (2011). A adaptação à taxonomia proposta por Daskin (2011) ocorreu devido ao fato de algumas das classificações propostas pelo autor não serem relevantes para os artigos encontrados, bem como a necessidade de inclusão de classificações referentes à inventário e outras classificações consideradas relevantes frente aos artigos encontrados. As classificações referentes ao inventário foram adaptadas de Kok *et al.* (2018). Os estudos encontrados foram classificados da seguinte forma:

- a) **Quanto ao Tipo de Problema:** estático (quando as entradas do modelo independem do tempo) ou dinâmico (quando as entradas e, conseqüentemente, as saídas do modelo

- dependem do tempo);
- b) **Quanto ao Número Instalações a Serem Localizadas:** número de instalações pré-definido (exógeno ao modelo) ou determinado pelo modelo (endógeno ao modelo);
 - c) **Quanto à Demanda:** determinística (conhecida) ou probabilística (sujeita à incerteza, desconhecida);
 - d) **Quanto ao Tempo de Entrega:** não considerado no problema, determinístico (conhecido) ou probabilístico (sujeito à incerteza, desconhecido)
 - e) **Quanto ao Número de Tipos de Produtos:** produto único ou múltiplos tipos de produtos;
 - f) **Quanto ao Setor de Aplicação:**
 - a. público ou privado;
 - b. produtos ou serviços;
 - g) **Quanto aos Objetivos do Modelo:** objetivo único ou múltiplos objetivos;
 - h) **Quanto à Capacidade do Armazém:** problema capacitado (com capacidade limitada e definida) ou problema não capacitado (com capacidade ilimitada). Vale ressaltar que somente o nível de armazém ou centro de distribuição foi considerado nesta classificação. A capacidade em outros níveis da cadeia não foi analisada;
 - i) **Quanto à Alocação da Demanda:** demanda de um ponto atendida por uma única instalação ou demanda de um ponto atendida por mais de uma instalação;
 - j) **Quanto à Ruptura:** considera probabilidade de ruptura das instalações (indisponibilidade total ou parcial da instalação) ou dos caminhos de acesso ou não considera probabilidade de ruptura das instalações ou dos caminhos de acesso. Vale ressaltar que o não atendimento da demanda devido a sua característica de estocasticidade não foi considerada como ruptura nesta classificação;
 - k) **Quanto ao Horizonte de Planejamento:** considera período de tempo único ou considera múltiplos períodos de tempo;
 - l) **Quanto aos Custos Considerados no Modelo:** custos fixos de localização, custos de transporte, custos de inventário (inventário de ciclo e de segurança), custos de colocação de pedido e custos de falta de inventário (penalidade por não atendimento ou atraso);
 - m) **Quanto às Restrições Operacionais de Estoque:**
 - a. política de estoque determinada (reposição contínua, reposição periódica, etc..) ou não determinada;
 - b. tamanho do lote determinado ou não determinado.

Após a análise e classificação dos artigos encontrados, os resultados foram analisados buscando-se entender a evolução das pesquisas sobre o assunto e questões que ainda não foram abordadas ou que foram apenas parcialmente cobertas na literatura.

4. RESULTADOS

A Figura 1 apresenta os resultados desta revisão de literatura em termos das classificações previamente definidas. Os periódicos que mais apresentam publicações no tema são: *Computers & Industrial Engineering* com 9 artigos, *Transportation Research Part E* com 7 artigos e *European Journal of Operational Research* também com 7 artigos. Observa-se também um aumento das publicações abordando o tema a partir do ano de 2009.

Os modelos encontrados na literatura consideram, principalmente, cadeias de suprimento empresariais, isto é, possuem classificação do tipo “privado” e setor “produtos”. Desta forma, obteve-se que dos 59 artigos, 50 são ligados ao setor privado e 54 tem produtos como foco no

problema. Entre os casos categorizados no setor público, temos estudos sobre logística humanitária (Tavana *et al.*, 2018; Hasani e Mokhtari, 2019; Cotes e Cantillo, 2019), localização de postos móveis de coleta de sangue (Hamdan e Diabat, 2019) e configuração da cadeia de suprimentos para reparo e manutenção de aeronaves (Rappold e Roo, 2009).

Observa-se que 36 trabalhos abordaram a demanda de forma estocástica, enquanto os outros 23 a consideraram como parâmetro determinístico. Nos estudos com demanda estocástica existe uma maior frequência de distribuições de dados seguindo a distribuição normal. Em modelos de peças de reposição e manutenção, como em Rappold e Roo (2009), a demanda segue a distribuição de Poisson, visto que a demanda está ligada a probabilidade de falha dos equipamentos.

Quanto ao tempo de entrega, é possível observar que a maioria o aborda como parâmetro determinístico (36 artigos). Vale ressaltar que, para alguns destes estudos, o tempo é tratado como uma variável de decisão (Hammami e Frein, 2013; Camona *et al.*, 2014).

Existem modelos que consideram diferentes alocações de demanda (*singlesourcing* e *multisourcing*) em diferentes níveis da cadeia de suprimentos, como Ghorbani e Jokar (2016), por exemplo. Nesta revisão bibliográfica utilizou-se esta classificação para identificar como é feita, especificamente, a alocação da demanda aos centros de distribuição (em geral foco dos problemas de localização dos artigos selecionados), não sendo considerados outros níveis da cadeia de suprimentos.

Quanto aos estoques, alguns artigos decidem de antemão as políticas de estoques, e posteriormente utilizam o modelo de localização para localizar as instalações. Contudo, outros trabalhos, como Ghorbani e Jokar (2016), decidem sobre suas políticas de estoques em conjunto com a decisões de localização.

Dos 59 modelos estudados, apenas dois (Shu *et al.*, 2012; Fahmy *et al.*, 2014) não utilizam os custos como função objetivo única ou em um dos objetivos nos casos com múltiplos objetivos. Os custos adotados para a classificação representam grandes classes de custos tradicionalmente usadas em problemas de localização e estoques. Assim, observa-se que alguns autores (Nasiri *et al.*, 2014; Gebennini *et al.* 2009, Melo *et al.*, 2012; Rappold e Roo, 2009) utilizam estes custos de forma mais específica e desagregada. Apenas 2 trabalhos não utilizaram os custos fixos de localização, 4 não incluíram custos de transporte e outros 4 não incluíram o inventário nos custos analisados. Apenas 21 trabalhos abordaram os custos de colocação de pedido em seus modelos e, por fim, 22 incluíram custos de falha do inventário ou de atraso na entrega.

No que se refere ao horizonte de planejamento, tem-se uma predominância dos casos com um único período, sendo que 44 artigos foram encontrados com esta classificação. É válido ressaltar, que muitos consideram cenários para lidar com incertezas, e os modelos de Jabbarzadeh *et al.* (2018) e Hasani e Mokhtari (2019), além de considerarem múltiplos períodos, também utilizam cenários. Neste sentido, observa-se que, dos 15 estudos com múltiplos períodos, 9 se classificam como modelos dinâmicos, quanto ao tipo de modelo. Nestes casos, é permitido que a configuração da rede se modifique ao longo do horizonte considerado.

Nº	Autor	Tipo de Problema		Nº de Instalações		Tipo de demanda		Tempo de entrega			Número de produtos		Setor de Aplicação				Objetivos		Capacidade do armazém		Alocação da Demanda		Considera Ruptura		Horizonte de Planejamento		Custos envolvidos				Restrições de Estoque			
		Estático	Dinâmico	Exógeno	Endógeno	Determinística	Probabilística	Não considerado	Determinístico	Probabilístico	Produto Único	Múltiplos Produtos	Tipo		Setor	Único	Múltiplos	Capacitado	Não Capacitado	Instalação Única	Múltiplas Instalações	Sim	Não	Período Único	Múltiplos períodos	Fixo de Localização	Transporte	Inventário	Pedido	Falta de inventário/Atraso de entrega	Política de estoque		Tamanho de lote	
													Público	Privado																	Produtos	Serviços	Determinada	Não Determinada
		Apenas o custo de estoque é abordado																																
1	Al Dhaheri e Diabat (2010)	x			x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x	x	x		x		x			
2	Afshari <i>et al.</i> (2014)		x		x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x	x		x		x		x		
3	Ashfari <i>et al.</i> (2014)	x			x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x	x		x		x		x		
4	Asl-Najafi <i>et al.</i> (2015)		x		x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x	x	x	x		x		x		
5	Benítez <i>et al.</i> (2014)	x		x			x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x	x		x		x		x		
6	Bo <i>et al.</i> (2008)	x			x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x	x	x	x		x		x		
7	Campbell e Jones (2011)	x			x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x	x		x		x		x		
8	Chen <i>et al.</i> (2011)	x			x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x	x		x		x		x		
9	Cotes e Cantillo (2019)	x		x			x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x	x		x		x		x		
10	Diabat e Deskoores (2016)	x			x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x	x	x		x		x		x	
11	Diabat <i>et al.</i> (2017)	x			x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x	x		x		x		x		
12	Fahmy <i>et al.</i> (2014)		x		x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x	x		x		x		x		
13	Gebennini <i>et al.</i> (2009)		x		x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x	x		x		x		x		
14	Ghezavati <i>et al.</i> (2009)	x			x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x	x		x		x		x		
15	Ghorbani e Jokar (2016)	x			x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x	x	x		x		x		x	
16	Gülpınar <i>et al.</i> (2013)	x			x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x	x		x		x		x		
17	Gzara <i>et al.</i> (2014)	x			x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x	x		x		x		x		
18	Hamdan e Diabat (2019)		x		x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x	x		x		x		x		
19	Hammami e Frein (2013)	x			x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x	x	x		x		x		x	
20	Hasani e Mokhtari (2019)		x		x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x	x		x		x		x		
21	Hinojosaa <i>et al.</i> (2008)		x		x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x	x		x		x		x		
22	Hsieh (2011)	x		x			x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x	x		x		x		x		
23	Hu e Dong (2019)	x			x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x	x		x		x		x		
24	Jabbarzadeh <i>et al.</i> (2018)	x			x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x		x		x		x		x	
25	Javid e Azad (2010)	x			x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x	x		x		x		x		
26	Jeet e Kutanoğlu (2018)	x			x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x	x		x		x		x		
27	Liao <i>et al.</i> (2011)	x			x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x	x		x		x		x		
28	Liu <i>et al.</i> (2016)	x			x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x									
29	Liu <i>et al.</i> (2010)	x			x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x		x		x		x		x	
30	Loree e Aros-Vera (2018)	x			x		x			x		x	x		x		x		x		x	x		x	x		x		x		x		x	

Continua na próxima página.

Diferentes métodos foram utilizados para a resolução dos problemas. Foram utilizadas diversas classes de algoritmos, desde algoritmos gulosos (Puga *et al.*, 2019), a heurísticas ou meta-heurísticas híbridas e mistas (Najafi *et al.*, 2015; Ghorbani e Jokar, 2016). Os métodos de soluções exatos variam desde a utilização de *solvers* como CPLEX e Lingo 8 (Sadjadi *et al.*, 2016; Hamdan e Diabat, 2019; Cotes e Cantillo, 2019; Afshari *et al.*, 2014), até a utilização de métodos mais avançados como geração de colunas para problemas de grande porte (Shu *et al.*, 2012). Observa-se também uma alta frequência de artigos baseados no método de Relaxamento Lagrangeano (Tang *et al.*, 2007; Wang *et al.* 2005; Sourirajan *et al.* (2009); Zang *et al.* 2016; Liu *et al.*, 2010; Chen *et al.*, 2011; Xie e Ouang, 2009), em que uma restrição é retirada do problema e uma penalização é adicionada na função objetivo.

Apenas 12 estudos abordam probabilidade de ruptura de instalações ou pontos de acesso. Desses, quatro (Yin (2013); Asl-Najafi *et al.* (2015); Hasania e Mokhtarib (2019); Tanonkou *et al.* (2006)) alocam uma sequência de instalações que servem de *backup* para o cliente, caso haja ruptura da instalação principal. Jabbarzadeh *et al.* (2018) contornam as rupturas com envios laterais de produtos e Xie e Ouyang (2019) consideram ruptura nos caminhos de acesso, desconsiderando, no entanto, questões relativas a estoques por se tratar de uma aplicação em serviços.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo realizar uma revisão de literatura relacionada a modelos de otimização conjunta de localização de instalações e inventário em cadeias de suprimento a fim de identificar o direcionamento para futuras pesquisas na área. Foram consultadas as bases científicas Science Direct e IEEE Explore e foram encontradas 59 publicações. Essas publicações foram analisadas e classificadas segundo taxonomia adaptada da literatura. Como resultados, observa-se a tendência de agregar decisões de gerenciamento de estoques em modelos de localização, visando a redução de custos totais de localização, estoques e transportes. Muitos desses estudos consideram demanda estocástica/probabilística, o que torna o modelo mais complexo e requer a utilização de heurísticas para sua solução. A grande maioria desses trabalhos assume que as instalações irão estar disponíveis indefinidamente, não abordando probabilidade de ruptura de instalações ou de pontos de acesso. Contudo, muitas instalações estão sujeitas a rupturas em suas operações devido a fatores operacionais ou a desastres naturais, de forma que abordar essas probabilidades de ruptura nos modelos é uma orientação para trabalhos futuros. Além disso, a inclusão de custos que penalizem a falta de estoques ou o não atendimento da demanda ainda é pouco abordado e pode incrementar o modelo. Por fim, vale destacar ainda o crescimento de modelos aplicados em casos de logística humanitária nos últimos anos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afshari, H., Sharafi, M., ElMekkawy, T., & Peng, Q. (2014). Optimizing multi-objective dynamic facility location decisions within green distribution network design. *Procedia CIRP*, 17, 675–679.
- Ahmadi Javid, A., & Azad, N. (2010). Incorporating location, routing and inventory decisions in supply chain network design. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(5), 582–597.
- Al Dhaheri, N. A., & Diabat, A. (2010). A multi-product capacitated inventory-location model with risk pooling. *IEEM2010 - IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*.
- Ashfari, H., Sharifi, M., ElMekkawy, T. Y., & Peng, Q. (2014). Facility location decisions within integrated forward/reverse logistics under uncertainty. *Procedia CIRP*, 17, 606–610.
- Asl-Najafi, J., Zahiri, B., Bozorgi-Amiri, A., & Taheri-Moghaddam, A. (2015). A dynamic closed-loop location-inventory problem under disruption risk. *Computers and Industrial Engineering*, 90, 414–428.
- Ballou, R. H. (2009). *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos-: Logística Empresarial*. Bookman Editora.

- Berman, O., Krass, D., & Menezes, M. B. C. (2007). Inventory-location models for remote and direct retailing with time-sensitive demand. *IEEM 2007: 2007 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 347–351.
- Bo, Z., Zujun, M., & Sai, J. (2008). Location-Routing-Inventory Problem with Stochastic Demand in Logistics Distribution Systems. *2008 International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing WiCOM 2008*, 2008–2011.
- Campbell, A. M., & Jones, P. C. (2011). Prepositioning supplies in preparation for disasters. *European Journal of Operational Research*, 209(2), 156–165.
- Carmona Benitez, R. B., Segura, E., & Lozano, A. (2014). Inventory service-level optimization in a distribution network design problem using heterogeneous fleet. 2342–2347.
- Chen, Q., Li, X., & Ouyang, Y. (2011). Joint inventory-location problem under the risk of probabilistic facility disruptions. *Transportation Research Part B: Methodological*, 45(7), 991–1003.
- Chopra, S., Meindl, P. (2011). *Gestão da Cadeia de Suprimentos - Estratégia, Planejamento e Operações*. - 4ª Ed. Pearson Universidades, São Paulo, SP, Brasil.
- Cotes, N., & Cantillo, V. (2019). Including deprivation costs in facility location models for humanitarian relief logistics. *Socio-Economic Planning Sciences*, 65(October 2016), 89–100.
- Daskin, Mark S. (2008). "What you should know about location modeling." *Naval Research Logistics (NRL)* 55, no. 4: 283-294.
- Daskin, S. D. (2011) *Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications*. John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, NJ, United States.
- Diabat, A., & Deskoeres, R. (2016). A hybrid genetic algorithm based heuristic for an integrated supply chain problem. *Journal of Manufacturing Systems*, 38, 172–180.
- Diabat, A., Dehghani, E., & Jabbarzadeh, A. (2017). Incorporating location and inventory decisions into a supply chain design problem with uncertain demands and lead times. *Journal of Manufacturing Systems*, 43, 139–149.
- Fahmy, S. A., Mohamed, M. M., & Abdelmaguid, T. F. (2015). Multi-layer dynamic facility location-allocation in supply chain network design with inventory, and CODP positioning decisions. *2014 9th International Conference on Informatics and Systems, INFOS 2014, ORDS14–ORDS23*.
- Gebennini, E., Gamberini, R., & Manzini, R. (2009). An integrated production-distribution model for the dynamic location and allocation problem with safety stock optimization. *International Journal of Production Economics*, 122(1), 286–304.
- Ghezavati, V. R., Jabal-Ameli, M. S., & Makui, A. (2009). A new heuristic method for distribution networks considering service level constraint and coverage radius. *Expert Systems with Applications*, 36(3 PART 1), 5620–5629.
- Ghorbani, A., & Akbari Jokar, M. R. (2016). A hybrid imperialist competitive-simulated annealing algorithm for a multisource multi-product location-routing-inventory problem. *Computers and Industrial Engineering*, 101, 116–127.
- Gülpinar, N., Pachamanoğlu, D., & Çanakoglu, E. (2013). Robust strategies for facility location under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 225(1), 21–35.
- Gumus, A. T.; Guneri, A. F. e Ulengin, F. (2010) A new methodology for multi-echelon inventory management in stochastic and neuro-fuzzy environments. *Int. J. Production Economics*, v. 128, p. 248–260.
- Gzara, F., Nematollahi, E., & Dasci, A. (2014). Linear location-inventory models for service parts logistics network design. *Computers and Industrial Engineering*, 69(1), 53–63.
- Hall, R. (Ed.). *Handbook of transportation science*. Springer Science & Business Media, 2012.
- Hamdan, B., & Diabat, A. (2019). A two-stage multi-echelon stochastic blood supply chain problem. *Computers and Operations Research*, 101, 130–143.
- Hammami, R., & Frein, Y. (2013). Integration of delivery lead time constraints and inventory replenishment conditions in supply chain design models. *2013 International Conference on Control, Decision and Information Technologies, CoDIT 2013*, 677–683. <https://doi.org/10.1109/CoDIT.2013.6689624>
- Hao, F. F., & Liu, Y. K. (2007). Fuzzy random portfolio selection problem. *Proceedings - 2007 International Conference on Computational Intelligence and Security, CIS 2007*, 515–519.
- Hasani, A., & Mokhtari, H. (2019). An integrated relief network design model under uncertainty: A case of Iran. *Safety Science*, 111(July 2018), 22–36.
- Hinojosa, Y., Kalcsics, J., Nickel, S., Puerto, J., & Velten, S. (2008). Dynamic supply chain design with inventory. *Computers and Operations Research*, 35(2), 373–391.
- Hsieh, C. L. (2011). A multiobjective evolutionary approach for integration of location-inventory and vendor selection decisions. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 284–288.

- Hsieh, C. L., & Chou, W. M. (2010). An integrated location-inventory model for vendor-managed inventory in the retail supply chain. *Proceedings - 2010 IEEE 17th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, IE and EM2010*, 1258–1262.
- Hu, S., & Dong, Z. S. (2019). Supplier selection and pre-positioning strategy in humanitarian relief. *Omega (United Kingdom)*, 83, 287–298. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.10.011>
- Jabbarzadeh, A., Haughton, M., & Khosrojerdi, A. (2018). Closed-loop supply chain network design under disruption risks: A robust approach with real world application. *Computers and Industrial Engineering*, 116(August 2017), 178–191.
- Jeet, V., & Kutanoglu, E. (2018). Part commonality effects on integrated network design and inventory models for low-demand service parts logistics systems. *International Journal of Production Economics*, 206(April 2017), 46–58
- Klose, A.; Drexel, A. Facility location models for distribution system design. *European journal of operational research*, v. 162, n. 1, p. 4-29, 2005.
- Kok, T.; Grob, C.; Laumanns, M.; Minner, S.; Rambau, J. e Schade, K. (2018) A typology and literature review on stochastic multi-echelon inventory models. *European Journal of Operational Research*, v. 269, p. 955–983.
- Laporte, G.; Nickel, S.; Da Gama, F. S. Location science. Berlin: Springer, 2015.
- Latha Shankar, B., Basavarajappa, S., Kadadevaramath, R. S., & Chen, J. C. H. (2013). A bi-objective optimization of supply chain design and distribution operations using non-dominated sorting algorithm: A case study. *Expert Systems with Applications*, 40(14), 5730–5739.
- Liao, S. H., Hsieh, C. L., & Lai, P. J. (2011). An evolutionary approach for multi-objective optimization of the integrated location-inventory distribution network problem in vendor-managed inventory. *Expert Systems with Applications*, 38(6), 6768–6776.
- Liu, K., Zhou, Y., & Zhang, Z. (2010). Capacitated location model with online demand pooling in a multi-channel supply chain. *European Journal of Operational Research*, 207(1), 218–231.
- Loree, N., & Aros-Vera, F. (2018). Points of distribution location and inventory management model for Post-Disaster Humanitarian Logistics. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 116(December 2017), 1–24.
- Melo, M. T., Nickel, S., & Saldanha-Da-Gama, F. (2012). A tabu search heuristic for redesigning a multi-echelon supply chain network over a planning horizon. *International Journal of Production Economics*, 136(1), 218–230.
- Miranda, P. A., & Garrido, R. A. (2004). Incorporating inventory control decisions into a strategic distribution network design model with stochastic demand. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 40(3), 183–207.
- Miranda, P. A., & Garrido, R. A. (2008). Valid inequalities for Lagrangian relaxation in an inventory location problem with stochastic capacity. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44(1), 47–65.
- Miranda, P. A., & Garrido, R. A. (2009). Inventory service-level optimization within distribution network design problem. *International Journal of Production Economics*, 122(1), 276–285.
- Nasiri, G. R., Zolfaghari, R., & Davoudpour, H. (2014). An integrated supply chain production-distribution planning with stochastic demands. *Computers and Industrial Engineering*, 77, 35–45.
- Nekooghadrli, N., Tavakkoli-Moghaddam, R., Ghezavati, V. R., & Javanmard, S. (2014). Solving a new bi-objective location-routing-inventory problem in a distribution network by meta-heuristics. *Computers and Industrial Engineering*, 76(1), 204–221.
- Qin, J.; Shi, F.; Miao, L. & TAN, G. (2010). Optimal Model and Algorithm for Multi-Commodity Logistics Network Design Considering Stochastic Demand and Inventory Control. *Systems Engineering - Theory & Practice*, 29(4), 176–183.
- Rappold, J. A., & Van Roo, B. D. (2009). Designing multi-echelon service parts networks with finite repair capacity. *European Journal of Operational Research*, 199(3), 781–792.
- Romeijn, H. E., Shu, J., & Teo, C. P. (2007). Designing two-echelon supply networks. *European Journal of Operational Research*, 178(2), 449–462.
- Sadjadi, S. J., Makui, A., Dehghani, E., & Pourmohammad, M. (2016). Applying queuing approach for a stochastic location-inventory problem with two different mean inventory considerations. *Applied Mathematical Modelling*, 40(1), 578–596.
- Sadjady, H., & Davoudpour, H. (2012). Two-echelon, multi-commodity supply chain network design with mode selection, lead-times and inventory costs. *Computers and Operations Research*, 39(7), 1345–1354.
- Schuster Puga, M., Minner, S., & Tancrez, J. S. (2019). Two-stage supply chain design with safety stock placement decisions. *International Journal of Production Economics*, 209(October 2016), 183–193.

- Sever, D., Dellaert, N., Van Woensel, T., & De Kok, T. (2013). Dynamic shortest path problems: Hybrid routing policies considering network disruptions. *Computers and Operations Research*, 40(12), 2852–2863.
- Shahabi, M.; Unnikrishnan, A.; Jafari-Shirazi, E. e Boyles S. D. (2014) A three level location-inventory problem with correlated demand. *Transportation Research Part B: Methodology*, v. 69, p. 1–18.
- Shu, J., Li, Z., Shen, H., Wu, T., & Zhong, W. (2012). A logistics network design model with vendor managed inventory. *International Journal of Production Economics*, 135(2), 754–761.
- Sourirajan, K., Ozsen, L., & Uzsoy, R. (2009). A genetic algorithm for a single product network design model with lead time and safety stock considerations. *European Journal of Operational Research*, 197(2), 599–608.
- Sui, Y., & Zhou, J. (2018). Inventory-Location Problem with Considering Lateral Transshipment under Route-Like Demands. 2018 15th International Conference on Service Systems and Service Management, ICSSSM 2018.
- Tancrez, J. S., Lange, J. C., & Semal, P. (2012). A location-inventory model for large three-level supply chains. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(2), 485–502.
- Tanonkou, G. a, Benyoucef, L., Bisdorff, R., & Xie, X. (2005). Solving a stochastic inventory-location problem using Lagrangian relaxation approach. *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*, 279–284.
- Tanonkou, G. A., Benyoucef, L., & Xie, X. (2006). Integrated facility location and supplier selection decisions in a distribution network design. In *Service Operations and Logistics, and Informatics, 2006. SOLI'06. IEEE International Conference on*. 399–404.
- Tanonkou, G. A., Benyoucef, L., & Xie, X. (2007). Distribution network design with random demand and unreliable suppliers. *2006 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, CASE*, 15–20.
- Tavana, M., Abtahi, A. R., Di Caprio, D., Hashemi, R., & Yousefi-Zenouz, R. (2018). An integrated location-inventory-routing humanitarian supply chain network with pre- and post-disaster management considerations. *Socio-Economic Planning Sciences*, 64(October 2017), 21–37.
- Wang, X., Sun, X., & Yang, F. (2005). A two-level distribution network design based on inventory cost optimization. *2005 International Conference on Services Systems and Services Management, Proceedings of ICSSSM'05*, 1, 291–296.
- Wang, X.-F. B. (2009). Integrated inventory-routing problem for the logistics distribution planning of chain enterprise. *Shanghai Jiaotong Daxue Xuebao/Journal of Shanghai Jiaotong University*, 43(6), 953–956.
- Wang, Y. M., & Yin, H. L. (2013). Integrated optimization for supply chain with facility disruption. *2013 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, IEEE ICMA 2013*, 1625–1629.
- Wenbing, S. (2013). A location-inventory model with echelon stock policy for four-echelon supply chain network design. *Proceedings of the 2013 3rd International Conference on Intelligent System Design and Engineering Applications, ISDEA 2013*, 86–90. <https://doi.org/10.1109/ISDEA.2012.28>
- Xie, S., & Ouyang, Y. (2019). Reliable service systems design under the risk of network access failures. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 122(March 2018), 1–13.
- Yan, L. W., Sun, Z. Y., & Mao, K. Y. (2013). Robust Optimization Based on an Improved Genetic Algorithm. *Advanced Materials Research*, 655–657, 955–958.
- Yao, Z., Lee, L. H., Jaruphongsa, W., Tan, V., & Hui, C. F. (2010). Multi-source facility location-allocation and inventory problem. *European Journal of Operational Research*, 207(2), 750–762.
- Yin, H. L. (2013). A new method for supply chain optimization with facility fail risks. *Proceedings - 9th International Conference on Computational Intelligence and Security, CIS 2013*, 353–357.
- Zhang, Y., Snyder, L. V., Qi, M., & Miao, L. (2016). A heterogeneous reliable location model with risk pooling under supply disruptions. *Transportation Research Part B: Methodological*, 83, 151–178.
- Zheng, J. B., & Liang, Y. (2009). A two-phase dynamic model for the facility location in supply chain network. *Proceedings - 2009 International Symposium on Information Engineering and Electronic Commerce, IEEC 2009*, 659–663.
- Tancrez, J-S.; Lange, J-C. e Semal, P. (2012) A location-inventory model for large three-level supply chains. *Transportation Research Part E*, v. 48, p. 485–502.

Angélica Alebrant Mendes (angelica.mendes@usp.br)

Maria Clara Rodrigues Pinheiro (mariaclarapinheiro@usp.br)

Hugo Tsugunobu Yoshida Yoshizaki (hugo@usp.br)

Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1380 - Butantã, São Paulo – SP, Brasil.