



LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS COM RUPTURAS: UMA REVISÃO DA LITERATURA

SUPPLY CHAIN FACILITY LOCATION WITH DISRUPTION: A LITERATURE REVIEW

Natalie Gabriele Dembonski Silva* E-mail: natalie.dembowski@ufabc.edu.br

Angélica Alebrant Mendes* E-mail: angelica.alebrant@ufabc.edu.br

Hugo Tsugunôbu Yoshida Yoshizaki ** E-mail: hugo@usp.br

Irineu de Brito Junior*** E-mail: irineu.brito@unesp.br

*Universidade Federal do ABC, Santo André, SP

**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP

***Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José dos Campos, SP

Resumo: **Contexto** - Devido aos elevados custos e a necessidade de planejamento das operações, a localização de instalações deve garantir que elas sejam eficientes e acessíveis no horizonte de tempo. Em função da possibilidade de ocorrência de diferentes eventos que podem afetar o desempenho dessas instalações, como, por exemplo, desastres naturais e bloqueio de estradas, incorporar essas probabilidades de ruptura nos modelos de otimização de localização resultam em melhores soluções. **Objetivo** – Dessa forma, o objetivo deste estudo foi realizar uma revisão de literatura com o intuito de selecionar e analisar pesquisas publicadas referentes ao tema abordado, examinando o estado atual, as lacunas e as tendências, a fim de direcionar trabalhos futuros. **Metodologia** - A metodologia utilizada foi dividida em etapas e fases envolvendo: i) Planejamento, onde foi definida a pergunta de pesquisa; ii) Pesquisa, com a definição das palavras-chaves e das bases de dados; iii) Triagem, onde foram selecionados os trabalhos que atenderam os requisitos de qualidade pré-definidos e iv) Extração, onde foi realizada uma análise bibliométrica e uma revisão de literatura mais ampla. **Resultados** - Foi possível observar que o tema é relativamente novo, com o aumento de publicações relacionadas nos últimos cinco anos. Ressalta-se que a maioria da literatura aborda rupturas nas instalações, mas estudos que consideram rupturas nos *links* de conexão entre as instalações cresceram nos últimos anos. Uma tendência observada é relacionada à maior aplicação em logística humanitária, principalmente no que se refere aos desastres naturais. **Conclusão** - A inclusão da possibilidade da ocorrência de rupturas nos modelos de localização traz uma perspectiva existente na realidade de muitas operações de logística, mas que ainda é pouco considerada. Trabalhos nesse sentido podem auxiliar as organizações a planejar e gerenciar cadeias de suprimentos mais resilientes, dado a escassez de recursos financeiros e humanos e a necessidade de manter os níveis de serviço.

Palavras-Chave: Localização de Instalações. Ruptura. Revisão da Literatura. Otimização. Logística.

Abstract: **Context** - Due to high costs and the necessity of operations planning, the facilities location should ensure they are efficient and available during the time horizon. Since there is a possibility of occurrence of events that might affect the facilities performance, such as, natural disasters and roadblocks, embedding this disruption probabilities into the location optimization model results in better solutions. **Objective** – The objective of this study is to develop a literature review aiming to select and analyze relevant research about this topic. We search for gaps and trends to direct future studies. **Methodology** - The methodology was divided in steps and phases: i) Planning, when we

Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v. 21, n. 4, p. 1165-1190, 2021

have defined the research question; *ii*) Research, when we have determined the keywords and the data bases; *iii*) Screening, when we have selected the studies that meet quality requirements; and *iv*) Extraction, when we have performed a bibliometric analysis and a literature review. **Results** - It was possible to observe that the topic is relatively new, and it has gained more attention in the last five years. It stands out that most of the studies focuses on facility disruptions, however, papers dealing with disruptions in the connection links between facilities are increasing lately. Another trend regards the application of those models in humanitarian logistics, especially referring to natural disasters. **Conclusion** - Including these possibilities of disruptions in facility location models brings a perspective that exist in many organizations' reality, but that is still little addressed in the literature. Given the scarcity of resources and the necessity to keep the service levels, studies addressing this topic can help organizations to plan and manage more resilient supply chains.

Keywords: Facility Location. Disruption. Literature Review. Optimization. Logistics.

1 INTRODUÇÃO

Uma das principais questões a ser estudada ao se projetar uma rede de cadeia de suprimentos é a localização de instalações, como fábricas, depósitos ou lojas de varejo. Devido aos elevados custos envolvidos e a necessidade de planejamento das operações, a seleção de um local deve garantir que a instalação seja eficiente e acessível no horizonte de tempo (OWEN; DASKIN, 1998).

Historicamente, a teoria da localização sob a ótica econômica foi iniciada em 1909, quando Alfred Weber analisou o problema de como posicionar um único armazém e de que forma seria possível minimizar a distância entre este e seus clientes (OWEN; DASKIN, 1998). Contudo, a maioria dos estudos não consideram que a instalação pode sofrer algum tipo de interrupção, o que resulta em soluções sub ótimas, visto que as instalações estão sujeitas a falhas. Assim, é preciso considerar que estas redes logísticas são passíveis de sofrer rupturas. Segundo Fattahi *et al.* (2020) e Liu *et al.* (2020), a possibilidade de ruptura está associada à vulnerabilidade das instalações em sofrer interrupções parciais ou completas, levando a um desempenho não confiável das instalações e perdas.

Em qualquer cadeia de suprimentos podem ocorrer rupturas (JABBARZADEH *et al.*, 2018). Elas podem ser causadas por: *i*) fatores naturais, como terremotos, furacões ou enchentes que atingem instalações e rotas de acesso; *ii*) por problemas operacionais em fornecedores ou nas próprias instalações, causando falta de estoques ou interrupção da produção ou *iii*) por fatores externos, como bloqueio de rodovias e roubos de carga.

O problema de localização de instalações em cadeias de suprimentos considerando rupturas é um tema relativamente recente. Snyder e Daskin (2005), os primeiros autores a publicar um modelo para otimização de instalações considerando rupturas, consideraram situações em que as instalações "falham" utilizando diferentes cenários de ruptura.

Uma vez que não foram encontrados trabalhos de revisão de literatura sobre a localização de instalações considerando rupturas, é possível fazer as seguintes perguntas de pesquisa: Qual o estado da arte para esse tipo de pesquisa? Como as probabilidades de ruptura são incluídas nos modelos de otimização? O que indicam os trabalhos como as tendências para as próximas pesquisas? Quais são as lacunas encontradas nas pesquisas relacionadas?

Assim, o objetivo deste estudo é realizar uma revisão da literatura, incluindo uma breve revisão bibliométrica, a fim de descrever, analisar e discutir conhecimentos científicos referentes à localização otimizada de instalações considerando rupturas na cadeia de suprimentos. Para atingir este objetivo, foram comparados os trabalhos publicados e discutida a incorporação de fatores relacionados à ruptura nos modelos de localização.

Dado que a maioria dos trabalhos que envolvem localização de instalações assume que elas estarão disponíveis indefinidamente, a principal contribuição deste trabalho é a compilação e apresentação de modelos de localização já desenvolvidos que abordem probabilidade de ruptura nas instalações ou em pontos de acesso. A análise da localização mais adequada das instalações considerando possibilidades de ruptura resulta na determinação de uma rede de instalações com menores custos totais, conforme Jabbarzadeh e Fahimnia (2015). Esses autores demonstram que o custo da cadeia de suprimentos pode aumentar dramaticamente em situações de rupturas, caso não exista uma análise mais apropriada na determinação da rede. Além disso, o nível de serviço ao cliente pode ser melhorado (SABOUHI *et al.* 2020), com menores custos de não atendimento da demanda.

Este artigo está organizado em cinco seções. Nesta seção é apresentada a introdução ao tema, bem como o objetivo do trabalho e sua justificativa. Na seção 2, é apresentada uma revisão de literatura sobre localização de instalações com ruptura. Na seção 3 é introduzida a metodologia de pesquisa. Na seção 4 são

apresentados os resultados das análises junto das discussões, e finalmente, na seção 5 são apresentadas as conclusões deste trabalho.

2 REVISÃO DA LITERATURA

O problema de localização de instalações emprega o uso de diversos tipos de modelos matemáticos determinados pelas restrições de cada problema e pela forma de implementação destas restrições. A seguir é apresentada uma breve revisão de literatura sobre modelos de localização de instalações e modelos que consideram algum tipo de ruptura.

2.1 Localização de instalações

Ao projetar estudos sobre localização de instalações, diversas taxonomias podem ser adotadas para classificar esses modelos. A maioria dos modelos clássicos emprega técnicas de otimização discretas para determinar a localização das instalações e as decisões de atribuição do cliente que minimizam os custos totais da rede ou maximizam a utilidade dessas instalações (DREZNER, 1995; DASKIN, 2013). Os modelos tentam representar a realidade das empresas considerando fatores como capacidade limitada (BILIR *et al.* 2017), modelos com demanda estocástica (JABBARZADEH *et al.* 2018), com valores determinísticos (ARDAKANI *et al.* 2020), entre outros tipos de parâmetros. Inicialmente, as pesquisas presumiam que as instalações estabelecidas estavam sempre disponíveis e que nunca seriam interrompidas, porém, na prática, as instalações podem ficar indisponíveis em decorrência de diferentes tipos de eventos (LIU *et al.*, 2020).

2.2 Localização de instalações com rupturas

A consideração de possíveis interrupções dentro dos modelos de otimização foi introduzida por Snyder e Daskin (2005), que apresentaram um modelo que escolhe locais de instalação com o objetivo de minimizar os custos diários de construção e transporte, ao mesmo tempo em que tenta se prevenir contra falhas

dentro da cadeia. Alguns estudos consideram a ruptura na instalação como fator de influência na construção do modelo. O artigo de Ratnayake e Starita (2020) apresenta um modelo que considera um conjunto de cenários de ruptura representando falhas na instalação ocasionadas por inundações. Madadi *et al.* (2014) projetam uma rede de abastecimento para evitar o risco de envio de material farmacêutico contaminado ao cliente. Wang e Yin (2013) apresentam um modelo de otimização de instalação, alocações de clientes e decisões de gerenciamento de estoque, considerando possíveis interrupções, como desastres naturais, greves, quebras de máquinas e quedas de energia.

Outros estudos abordam a possibilidade de ruptura nos *links* de conexão entre os nós da rede. Afify *et al.* (2019) apresentam o problema de localização de instalação não capacitada considerando probabilidades de falha de instalação heterogênea, uma camada de backup e orçamento limitado de fortificação de instalação. Segundo os autores, essas falhas de instalação são causadas por interrupções nos *links* entre os nós, afetando a capacidade de cada um atender a demanda de clientes a que são responsáveis. Guo *et al.*, (2019) apresentam um problema de decisão sobre a seleção de fornecedores de vegetais e a localização das instalações para os Jogos Olímpicos de Inverno de 2022, em Pequim. Os autores incorporam a ruptura de nós da rede causada por chuvas e congestionamentos através de um risco de não abastecimento.

Devido à alta instabilidade ligada às operações humanitárias, observa-se uma tendência de pesquisas ligadas a esse tema. Esses estudos abordam a otimização de instalações com rupturas provenientes, principalmente, de desastres naturais (DIABAT *et al.*, 2019; RATNAYAKE; STARITA, 2020). Segundo o Banco de Dados Internacional de Desastres (OFDA/CRED, 2021), foram registrados 4.157 desastres naturais no mundo entre os anos de 2010 e 2020, ocasionando 518.538 mortes e um total de danos de, aproximadamente, US\$1,8 trilhão.

Mohammadi *et al.* (2020) afirmam que a distribuição de socorro e a evacuação de vítimas são cruciais após desastres de início súbito para aliviar as consequências das catástrofes nas áreas em questão. Eles apresentam um modelo multiobjetivo com as funções de minimizar custos e minimizar o tempo total das operações de emergência, confirmando a importância de um planejamento de

otimização de localização de instalações em situações anteriores a ocorrência de desastres. Diabat *et al.* (2019) apresentam uma perspectiva de projeto de cadeia de abastecimento de sangue examinando os impactos da interrupção na entrega oportuna e econômica de produtos perecíveis durante desastres.

Outro tipo de exemplo de situação que aborda ruptura proveniente de desastres são aqueles causados por ações do homem como conflitos armados que causam crises de refugiados. Segundo a Agência da ONU para Refugiados (ACNUR, 2021), 79,5 milhões de pessoas foram forçadamente deslocadas no mundo inteiro, até final de 2019, como resultado de conflito, perseguição, violação dos direitos humanos, violência ou eventos que perturbem seriamente a ordem pública. Contudo, não foram encontrados estudos que abordem esse tipo de problema.

3 METODOLOGIA

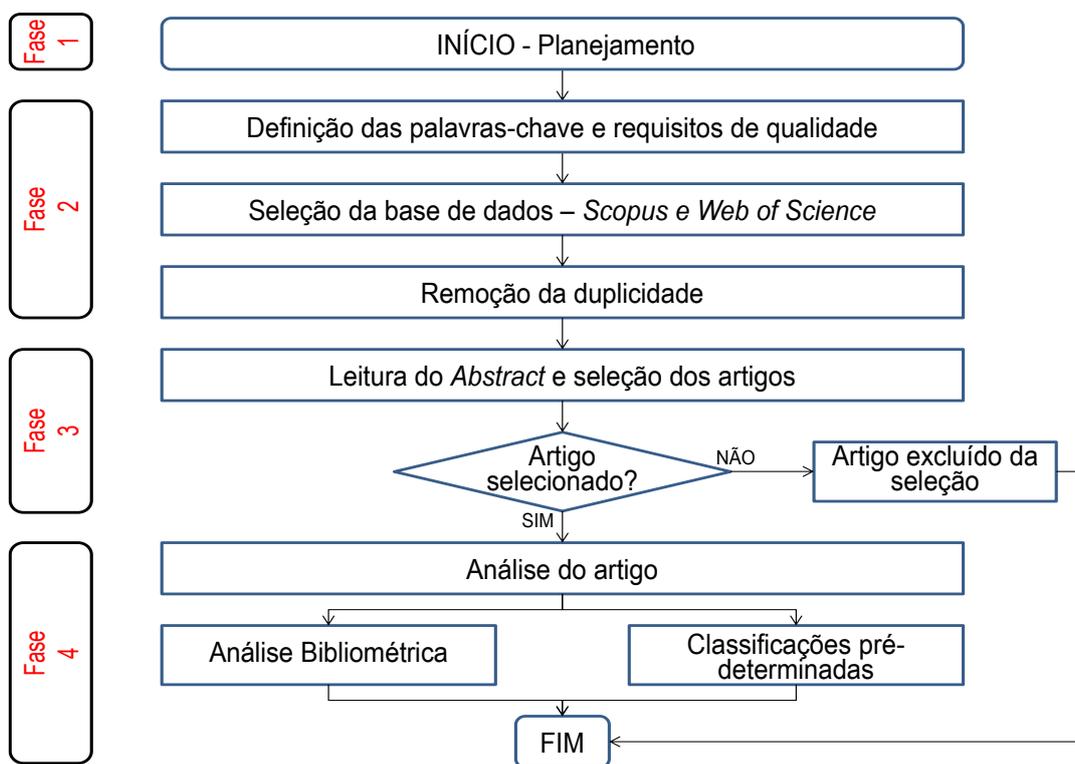
Revisão de literatura, segundo Kitchenham e Charters (2007), é uma técnica de estudo que utiliza uma metodologia bem definida para identificar, analisar e interpretar, de forma imparcial, todas as evidências disponíveis, a respeito de uma questão de pesquisa. Este tipo de revisão segue um procedimento transparente para coletar, analisar e sintetizar os resultados de pesquisas relevantes. Todo o processo é definido explicitamente de forma a manter a transparência. As pesquisas do tipo revisão de literatura são usualmente desenvolvidas em quatro fases: planejamento, pesquisa, triagem e extração (HABIB *et al.*, 2016).

A Figura 1 apresenta as fases e etapas desta revisão de literatura. As fases de planejamento, pesquisa, triagem e extração são representadas como 1,2,3 e 4, respectivamente.

Fase 1: Na fase de planejamento, é formulada a questão de pesquisa. A pergunta deve ser elaborada de forma que o problema a ser abordado seja especificado de forma clara e inequívoca (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007). Para determinar a pergunta de pesquisa deste trabalho, foi utilizada a estratégia PICOS (População; Intervenção; Comparação/Controle; *Outcome*; *Study*). Esse método é utilizado para auxiliar a determinar o que de fato a pergunta de pesquisa deve

especificar e esses componentes são os elementos fundamentais da questão de pesquisa e da construção da pergunta para a busca bibliográfica de evidências (AKOBENG, 2005). Aplicado a este tema, a estratégia PICOS adota para cada elemento as referências representadas no Quadro 1.

Figura 1 - Fluxograma com as fases e etapas da Revisão da Literatura



Fonte: Autores (2021).

Quadro 1 - Estratégia PICOS

P	Modelos de otimização de localização de instalações
I	Modelos de otimização de localização de instalações com ruptura
C	Modelos de otimização de localização de instalações sem ruptura
O	Diferentes modelos de otimização de localização com ruptura
S	Revisão da literatura.

Fonte: Autores (2021).

Desta forma, as perguntas de pesquisa elaboradas para este trabalho foram:

P.1: Em termos de otimização da localização de instalações considerando algum tipo de ruptura na cadeia de suprimentos, qual o estado da arte para esse tipo de pesquisa?

P.2: O que indicam os trabalhos como as tendências para as próximas pesquisas?

P.3: Quais são as lacunas encontradas nas pesquisas relacionadas?

Fase 2: Na Etapa 1 da pesquisa, foram determinadas as palavras-chave com base nas perguntas de pesquisa apresentadas. O Quadro 2 mostra quais foram as palavras-chave selecionadas para a pesquisa.

Na Etapa 2, foram selecionadas as bases de dados *Scopus* e *Web of Science* para a busca por estudos contendo as palavras-chave. A forma como estas palavras foram agrupadas nas pesquisas e o número de resultados que cada pesquisa retornou são apresentados na Tabela 1. Esta tabela também contém a informação a respeito do requisito de inclusão nesta primeira etapa de seleção: pesquisas referentes à área de engenharia, devido ao tema de otimização de localização de instalações ser da área de engenharia.

Quadro 2 - Palavras-Chave

Location
Installation
Supply Chain
Optimization
Facility Location
Network Design
Disruption
Warehouse
Risk Management

Fonte: Autores (2021).

Tabela 1 - Combinações de palavras-chave utilizadas

COMBINAÇÃO DE PALAVRAS-CHAVE	Nº DE DOCUMENTOS	Nº DE DOCUMENTOS NA ÁREA DE ENGENHARIA
(("Network Design" OR "Facility Location") AND ("Disruption"))	412	231
(("Supply Chain") AND (Disruption) AND (Optimization) AND ("Location" OR "Installation" OR "Warehouse"))	77	38
(("Network Design" OR "Facility Location") AND ("Risk Management") AND (Optimization))	61	29
(("Supply Chain") AND (Disruption) AND (Optimization) AND ("Risk Management"))	65	31

Fonte: Autores (2021).

Na Etapa 3, após a pesquisa dentro das bases, foi realizada a remoção da duplicidade dos resultados. Antes de se aplicar o filtro referente à área de engenharia, o resultado da pesquisa retornava 615 resultados, e após determinar o filtro, o resultado foi de 329 artigos.

Fase 3: Na Etapa 4, na fase de triagem, foi realizada a leitura dos *abstracts* dos artigos, selecionando-os com base em critérios de inclusão. O critério de inclusão para esta pesquisa foi:

- ✓ O artigo apresenta um modelo de otimização para localização de instalações com algum tipo de ruptura referente à instalação ou à conexão entre os elementos da cadeia de suprimentos?

Do total de 329 *abstracts* foram selecionados 34 artigos específicos ao critério de inclusão. Um ponto importante a ser observado é que após a leitura dos artigos e verificação de suas referências, foi possível encontrar outros 2 artigos que foram incluídos dentro da revisão por aderirem aos critérios de inclusão proposto. Esses artigos (Salman e Yücel, 2015; Snyder e Daskin, 2005) acrescentaram grande importância dentro dos resultados, pois o primeiro nos apresenta um modelo de otimização de localização de instalações com rupturas considerando interrupções apenas no *link*, e o segundo, dentro dos artigos selecionados, é considerado o primeiro artigo a abordar o tema de rupturas em localização de instalações. Desta forma, o resultado da seleção foi de 36 artigos no total.

Fase 4: A fase de extração é quando ocorrem as análises e classificações dos artigos selecionados.

Quanto às pré-classificações, referente à Etapa 5, os artigos foram classificados de acordo a taxonomia de Mendes *et al.* (2019) e critérios da revisão de literatura sobre Logística Humanitária apresentada por Leiras *et al.* (2014). Os estudos foram classificados seguindo os seguintes parâmetros:

- a) **Quanto à função objetiva:** minimização ou maximização;
- b) **Quanto ao número de objetivos:** objetivo único ou multiobjetivo;
- c) **Quanto à demanda:** determinística (conhecida) ou estocástica (desconhecida);
- d) **Quanto ao número de instalações a serem localizadas:** exógeno (número de instalações pré-definido) ou endógeno (número de instalações determina-

minado pelo modelo);

- e) **Quanto ao tipo de problema:** estático (quando as entradas do modelo não dependem do tempo) ou dinâmico (quando as entradas do modelo dependem do tempo);
- f) **Quanto à capacidade da instalação:** capacitado (quando a instalação assume uma capacidade definida e limitada) ou não capacitado (quando a capacidade é infinita);
- g) **Quanto ao tipo de ruptura:** ruptura na instalação ou ruptura no link de conexão entre os nós da rede;
- h) **Quanto ao tipo de otimização:** programação inteira ou programação mista inteira (somente estes dois tipos foram encontrados nos estudos);
- i) **Quanto ao tipo de modelo:** modelo linear ou modelo não linear;
- j) **Quanto as principais variáveis consideradas no modelo;**
- k) **Quanto à utilização de dados ou casos reais para exemplificar o modelo proposto:** utilizou ou não utilizou.

Na Etapa 6, foi realizada uma análise bibliométrica dos artigos com software especializado.

Na Etapa 7, os resultados foram analisados buscando-se entender a evolução dos trabalhos relacionados ao assunto e as lacunas dentro área na literatura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises são apresentados divididos entre a análise bibliométrica dos artigos e a análise das classificações realizadas.

4.1 Análise Bibliométrica

A análise bibliométrica é um método que dá suporte a investigações empíricas de artigos de várias disciplinas. Inicialmente definida como bibliografia estatística (HULME, 1923), a análise bibliométrica envolve análise matemática e estatística de registros bibliométricos a fim de auxiliar no entendimento da evolução das pesquisas no tempo e de pontos promissores para pesquisas futuras em determinada área do conhecimento (TRANFIELD *et al.*, 2003).

Para se construir a análise bibliométrica foi utilizado o software Bibliometrix (2020)[®]. A Tabela 2 apresenta a descrição geral da análise bibliométrica.

Tabela 2 - Descrição geral dos resultados

DESCRIÇÃO	RESULTADOS
PRINCIPAIS INFORMAÇÕES SOBRE OS DADOS	
Intervalo de Tempo	2005:2021
Fontes (Periódicos, livros, etc)	21
Documentos	36
Referências	1672
TIPOS DE DOCUMENTOS	
Artigos	30
Capítulos de livros	1
Conference paper	4
Review	1
CONTEÚDO DO DOCUMENTO	
Palavras-Chave do autor	133
AUTORES	
Autores	91
Aparições dos autores	109
COLABORAÇÃO DE AUTORES	
Documentos por autor	0,396
Co-autores por documento	3,03
Índice de colaboração	2,57

Fonte: Autores a partir do software Bibliometrix.

Gráfico1 - Número de artigos publicados em comparação aos anos de publicação



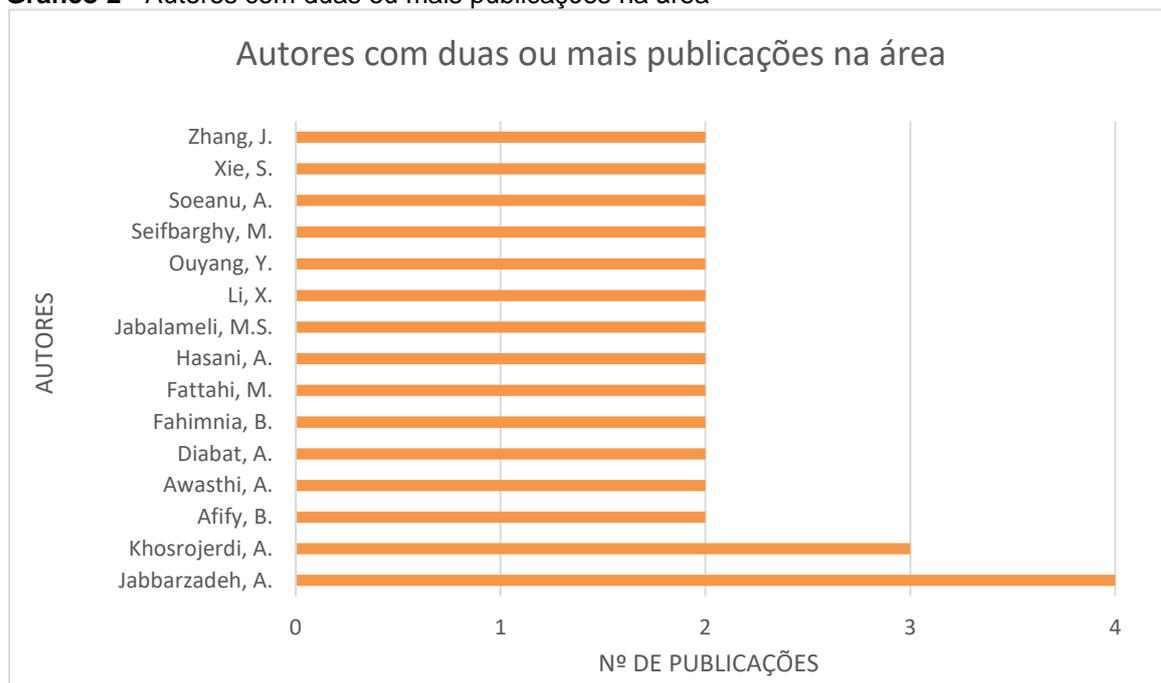
Fonte: Autores a partir do software Bibliometrix.

O primeiro ponto a ser destacado na análise é que, mesmo compreendendo um intervalo de tempo entre 2005 e junho de 2021, o problema começa a ter maior atenção dos pesquisadores somente a partir de 2017, como mostra a Figura 2.

Dois *journals* se destacaram: o *Computers and Industrial Engineering* com 9 artigos e o *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* com 5 artigos. As demais revistas contêm apenas uma ou duas publicações.

Dentro da área de pesquisa analisada, nenhum autor possui um número expressivo de publicações. A Figura 3 mostra que, de um total de 91 autores envolvidos nas publicações, apenas 15 possuem duas ou mais publicações, enquanto os outros 76 autores possuem apenas uma publicação. Destacam-se Snyder e Daskin (2005) devido a sua contribuição ser considerada uma inovação na época e o autor Armin Jabbarzadeh com quatro publicações no total (DIABAT *et al.*, 2019; JABBARZADEH *et al.*, 2018; JABBARZADEH; FAHIMNIA, 2015; SABOUHI *et al.*, 2020).

Gráfico 2 - Autores com duas ou mais publicações na área

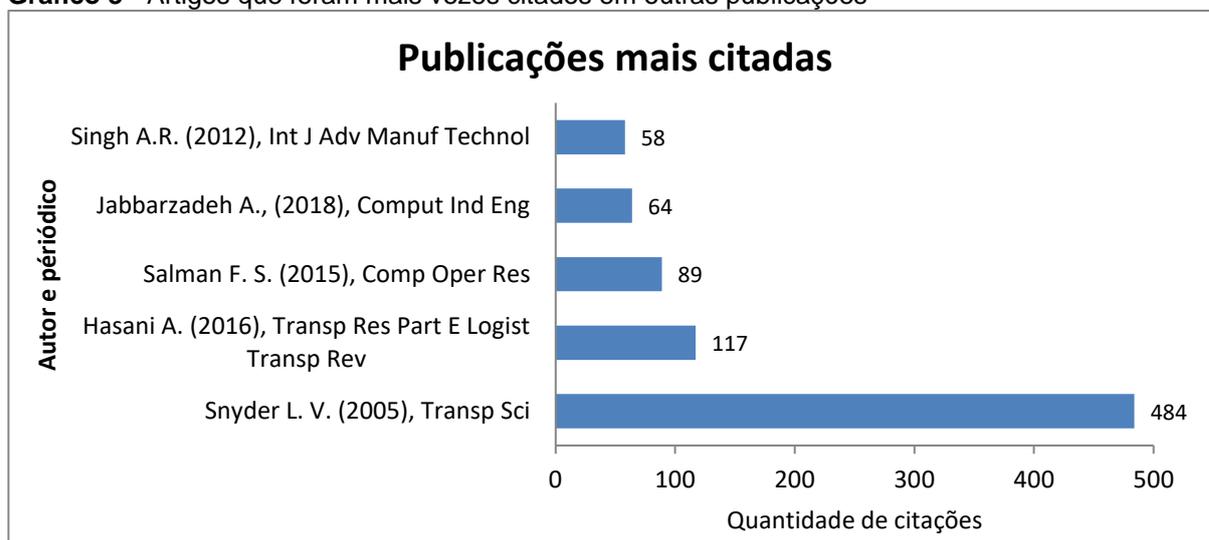


Fonte: Autores a partir do software Bibliometrix.

Foi também possível identificar quais as pesquisas que possuíam maior número de citações. A Figura 4 mostra os 5 documentos com maior número de citações. O estudo de Snyder e Daskin (2005) chama atenção por ter pelo menos 3 vezes mais citações do que o segundo colocado, enquanto que o segundo mais Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v. 21, n. 4, p. 1165-1190, 2021

citado é um artigo mais atual. Hasani e Khosrojerdi (2016) apresentam um modelo de objetivo único com objetivo de maximizar os lucros abordando o tema de resiliência dentro da cadeia de suprimentos.

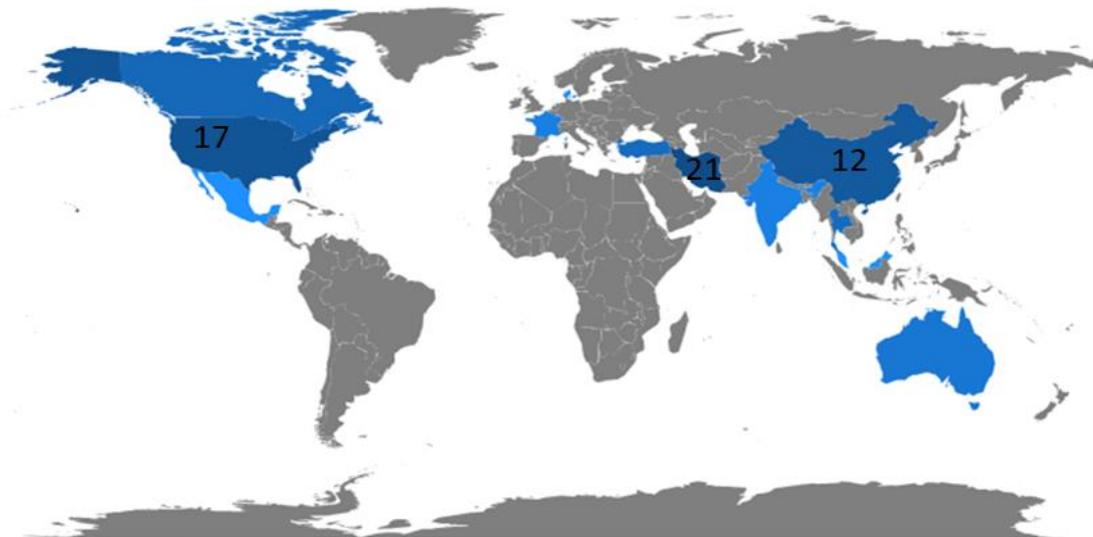
Gráfico 3 - Artigos que foram mais vezes citados em outras publicações



Fonte: Autores a partir do software Bibliometrix.

A Figura 5 mostra os principais países envolvidos nas publicações dos 36 artigos analisados. Os países em azul escuro (Estados Unidos da América, Irã e China) representam os países com maior número de documentos produzidos com algum autor filiado a alguma instituição local. Os resultados de China e Estados Unidos são esperados, visto que ambos os países têm grande influência no cenário mundial de publicações. O destaque é o Irã, país que sofre muitos tipos diferentes de desastres naturais, desde causas climáticas até geológicas.

Gráfico 4 - Mapa dos países com afiliações mais relevantes para área de pesquisa



Fonte: Autores a partir do software Bibliometrix (2021).

Por fim, a Figura 6 apresenta uma “nuvem de palavras” das palavras-chave dos estudos analisados. Vale destacar que a palavra *reliability* não foi usada como palavra-chave, mas aparece em destaque, o que indica associação entre ruptura e confiabilidade.

Podemos, adicionalmente, destacar os principais conceitos usados para modelar e/ou resolver problemas envolvendo rupturas: *lagrangian relaxation*, *multi-objective optimization*, *robust optimization*, *combinatorian optimization*, *genetic algorithm* e *queuing theory*.

Outra palavra-chave que deve ser destacada na Figura 6 é “*humanitarian logistics*”. Como abordado inicialmente, estudos relacionados à otimização de localização de instalações considerando rupturas podem auxiliar no estudo para mitigar situações de conflito e de emergência.

Dos 36 artigos selecionados, seis enfocam diretamente modelos referentes a logística humanitária (GUO; QI, 2014; SALMAN; YUCEL, 2015; DIABAT *et al.*, 2019; MOHAMMADI *et al.*, 2020; POCHAN *et al.*, 2020). Entre esses artigos, 3 consideram ruptura no *link* e 3 consideram ruptura na instalação, indicando um equilíbrio entre as abordagens e o que corresponde a uma considerável parte dentro dos artigos que consideram ruptura no *link* (em torno de 35% destes). Ainda sobre esses artigos, 4 apresentaram dados de um caso real para exemplificar seus modelos e resultados.

Figura 1 - "Nuvem de palavras"



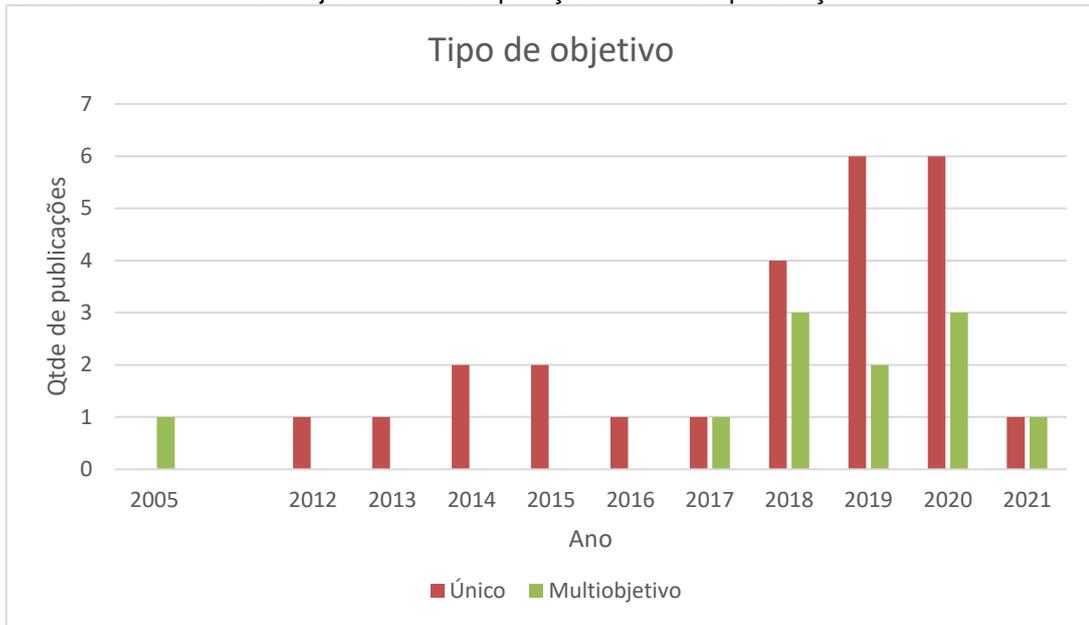
Fonte: Autores a partir do software do Bibliometrix (2021).

4.2 Análise das classificações

A análise das classificações é feita de acordo com os parâmetros apresentados na subseção de metodologia. O Quadro 3 apresenta os resultados desta classificação para os 36 artigos.

Uma percepção da análise das classificações é a de que 25 artigos apresentam uma única função objetivo, enquanto que 11 são modelos multiobjetivos, entretanto, é possível perceber que o número de trabalhos considerando funções multiobjetivas vem intensificando a partir de 2017. A Figura 7 apresenta esses artigos classificados pela função objetivo em comparação aos anos de publicação.

Gráfico 5 - Número de objetivos em comparação ao ano de publicação



Fonte: **Autores (2021)**.

O Quadro 3 apresenta, em cada linha, quais são as funções envolvidas nos modelos multiobjetivos e quais objetivos elas querem minimizar ou maximizar.

Quadro 3 - Classificações dos artigos

Nº	AUTOR	FUNÇÃO OBJETIVA		TIPO DE OBJETIVO		MODELO		FACILIDADES		TIPO DE LOCALIZAÇÃO		CAPACIDADE		TIPO DE RUPTURA		PROGRAMAÇÃO		TIPO DE MODELO		CASE REAL	
		Minimizar	Maximizar	Único	Multiobjetivo	Determinístico	Estocástico	Exógeno	Endógeno	Estático	Dinâmico	Capacitado	Não Capacitado	Na Instalação	No Link	Inteira	Mista Inteira	Linear	Não Linear	Com	Sem
1	Afify <i>et al.</i> (2019)	X		X			X	X		X		X	X		X			X			X
2	Afify <i>et al.</i> (2021)	X		X			X		X		X		X		X		X				X
3	Akgün e Erdal (2019)	X			X	X			X	X		X		X		X				X	
4	Ardakani <i>et al.</i> (2020)	X	X		X	X			X	X		X		X		X				X	
5	Ayudhya (2018)	X			X		X		X	X		X		X	X	X		X			X
6	Bilir <i>et al.</i> (2017)	X	X		X		X		X	X		X		X	X	X		X			X
7	Diabat <i>et al.</i> (2019)	X			X		X		X	X		X		X	X		X			X	
8	Esfandiyari <i>et al.</i> (2019)	X		X			X		X	X		X		X		X			X		X
9	Fattahi <i>et al.</i> (2020)	X		X			X	X		X		X		X		X		X			X
10	Guo e Qi (2014)	X		X		X			X		X	X		X		X		X			X
11	Guo <i>et al.</i> (2019)	X		X			X		X	X		X		X	X		X	X			X
12	Hasani e Khosrojerdi (2016)		X	X			X		X		X		X		X		X		X	X	
13	Hasani <i>et al.</i> (2021)	X	X		X		X		X	X		X		X		X		X		X	
14	Jabbarzadeh e Fahimnia (2015)	X		X			X		X	X		X		X		X	X				X
15	Jabbarzadeh <i>et al.</i> (2018)	X		X			X		X	X		X		X		X	X			X	
16	Jalali <i>et al.</i> (2018)	X		X			X		X	X		X		X		X		X			X
17	Liu <i>et al.</i> (2020)	X		X			X		X	X		X		X		X		X			X
18	Madadi <i>et al.</i> (2014)	X		X			X		X	X		X		X		X		X		X	
19	Mohammadi <i>et al.</i> (2020)	X			X		X		X	X		X		X		X	X			X	
20	Pochan <i>et al.</i> (2020)	X			X		X	X		X		X		X		X	X			X	
21	Ramshani <i>et al.</i> (2019)	X		X			X		X	X		X		X		X		X			X
22	Ratnayake e Starita (2020)	X		X			X		X	X		X		X		X	X			X	
23	Sabouhi <i>et al.</i> (2020)	X		X			X		X	X		X		X		X	X			X	
24	Salman e Yücel (2015)		X	X			X		X		X		X		X		X			X	
25	Shishebori <i>et al.</i> (2018)	X			X		X	X		X		X		X		X		X			X
26	Singh <i>et al.</i> (2012)	X		X			X		X	X		X		X		X		X			X
27	Snyder e Daskin (2005)	X			X		X		X	X		X		X		X		X			X
28	Tolooie <i>et al.</i> (2020)	X		X			X		X		X		X		X		X				X
29	Wang e Yin (2013)	X		X			X		X	X		X		X		X		X			X
30	Wang <i>et al.</i> (2018)	X		X			X		X		X		X		X		X	X			X
31	Xie e Ouyang (2019)	X		X			X		X	X		X		X		X		X			X
32	Xie <i>et al.</i> (2019)	X		X			X		X	X		X		X		X	X				X
33	Yu e Zhang (2018)	X		X			X		X	X		X		X		X		X			X
34	Yun <i>et al.</i> (2020)	X		X			X		X	X		X		X		X		X			X
35	Zarrinpoor <i>et al.</i> (2017)	X		X			X		X		X		X		X		X			X	
36	Zhang <i>et al.</i> (2018)	X			X		X		X		X		X		X		X			X	

Fonte: Autores (2021).

Quadro 4 - Funções Multiobjetivas

FUNÇÃO MULTIOBJETIVA	
MINIMIZAR	MAXIMIZAR
Riscos	Lucros e Vendas
Distância e Emissão de CO ₂	Lucros
Custos	Responsabilidade Social
Tempo de entrega e Custos	
Custo Logístico, Tempo das Operações e Custos de Transporte	
Tempo de Viagem e Variáveis de Terremoto	
Custos de Transporte e Riscos	
Máxima Distância e Máximo Arrependimento	
Custos e Penalizações Totais dos nós	
Custos e Custos de Transporte após falha	

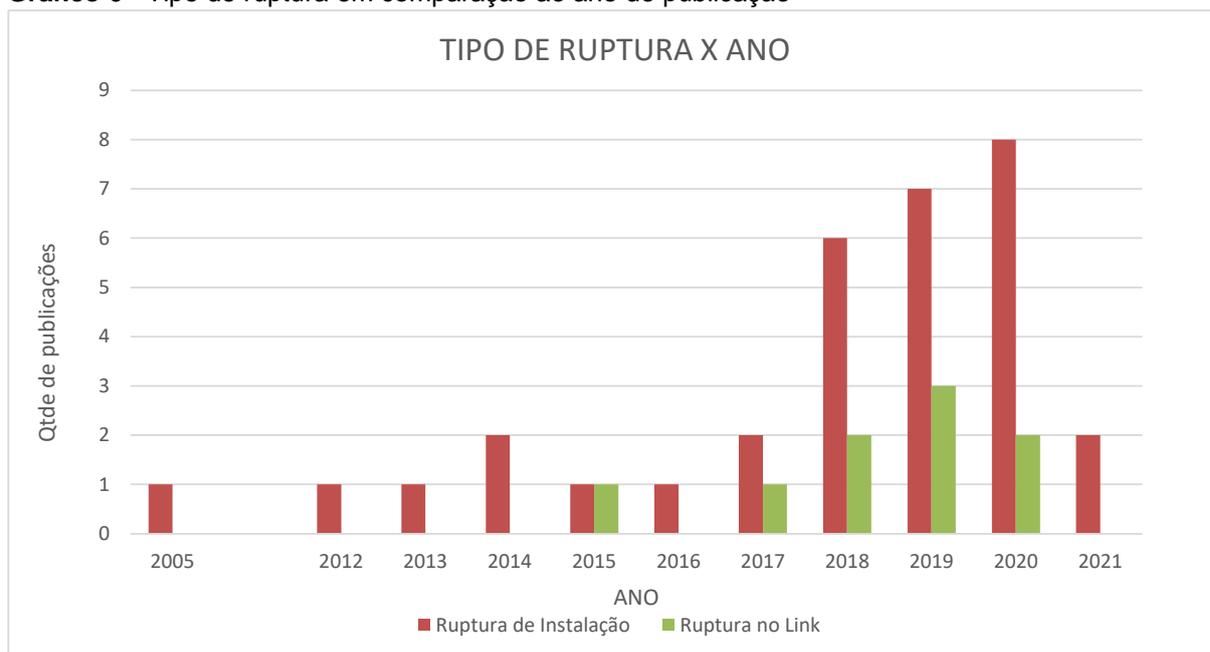
Fonte: Autores (2021).

Como é possível perceber no Quadro 4, a maioria dos artigos multiobjetivos apresentam funções relacionadas a minimização. Considerando também os modelos de objetivo único, das 36 publicações estudadas, apenas 2 artigos (HASANI; KHOSROJERDI, 2016; SALMAN; YUCEL, 2015) não têm o objetivo de minimizar alguma função. Entre todas essas funções apresentadas, em 29 dos 36 artigos, pelo menos um dos objetivos é o de minimizar custos.

Dos 36 trabalhos estudados, apenas três (ARDAKANI *et al.* 2020; AKGUN e ERDAL, 2019; GUO; QI, 2014) não consideram a natureza estocástica da demanda. Já quanto ao número de instalações a serem localizadas, 32 artigos determinam o número ótimo de instalação por meio da solução do modelo. No que se refere ao tipo de modelo de localização, a maioria dos artigos considera que o modelo de localização é estático e possui capacidade definida e limitada.

Cerca de 80% dos artigos consideram que a ruptura ocorre na instalação e apenas 9 possuem ruptura no *link*. Vale ressaltar que 5 desses 9 artigos consideram que a ruptura também ocorre na instalação. A Figura 8 apresenta uma comparação entre o tipo de ruptura e o ano de publicação desses artigos. É possível perceber um aumento no número de publicações considerando ruptura no *link* a partir de 2017, seguindo a tendência de aumento também de estudos com ruptura nas instalações.

Gráfico 6 - Tipo de ruptura em comparação ao ano de publicação

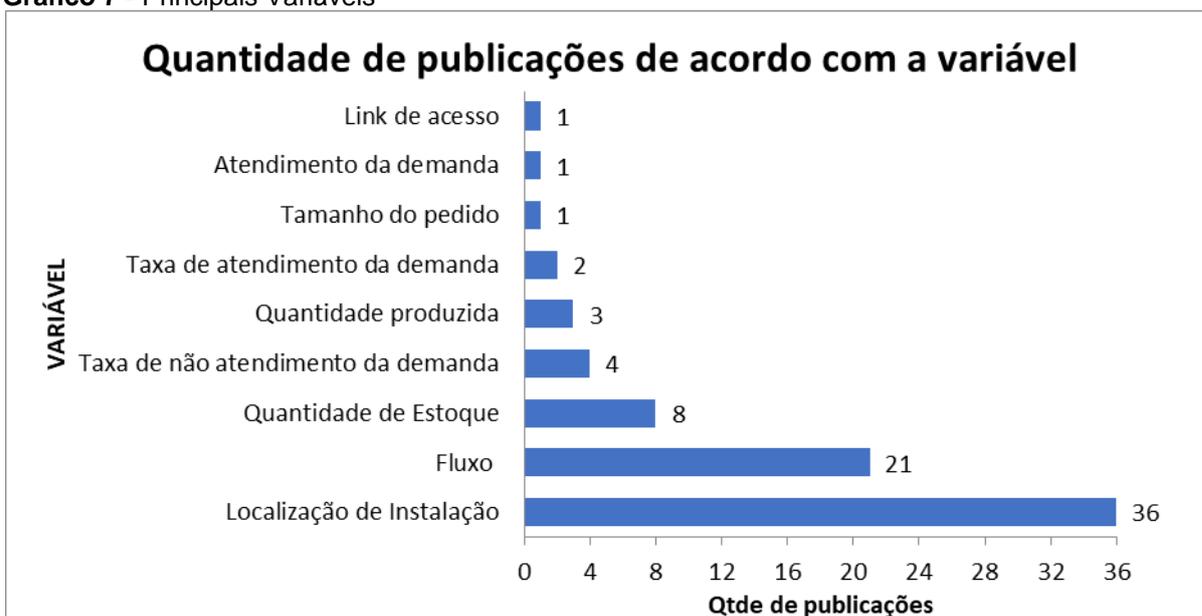


Fonte: Autores (2021).

Um exemplo de estudo que considera ruptura no *link* é o trabalho de Xie e Ouyang (2019). Os autores determinam as localizações de instalações e direcionam clientes no design de serviços como hospitais e bombeiros, incorporando a probabilidade de falha em pontos de acesso à essas instalações. Cada instalação candidata está ligada a mais de um ponto de acesso. Uma vez bloqueado ou rompido um ponto de acesso, o cliente é direcionado para outro ponto de acesso. O problema é formulado como um problema de programação linear mista-inteira compacto e polinomial, sendo solucionado através da combinação de relaxamento Lagrangiano, *Branch-and-Bound* e uma heurística de aproximação.

Quanto às variáveis, além da localização da instalação presente em todos os estudos, destacam-se variáveis de fluxo, relacionada a transações de produtos ou pessoas entre os nós, presente em 21 trabalhos, e a variável de quantidade de estoque, presente em 8 estudos. As principais variáveis encontradas são apresentadas na Figura 9.

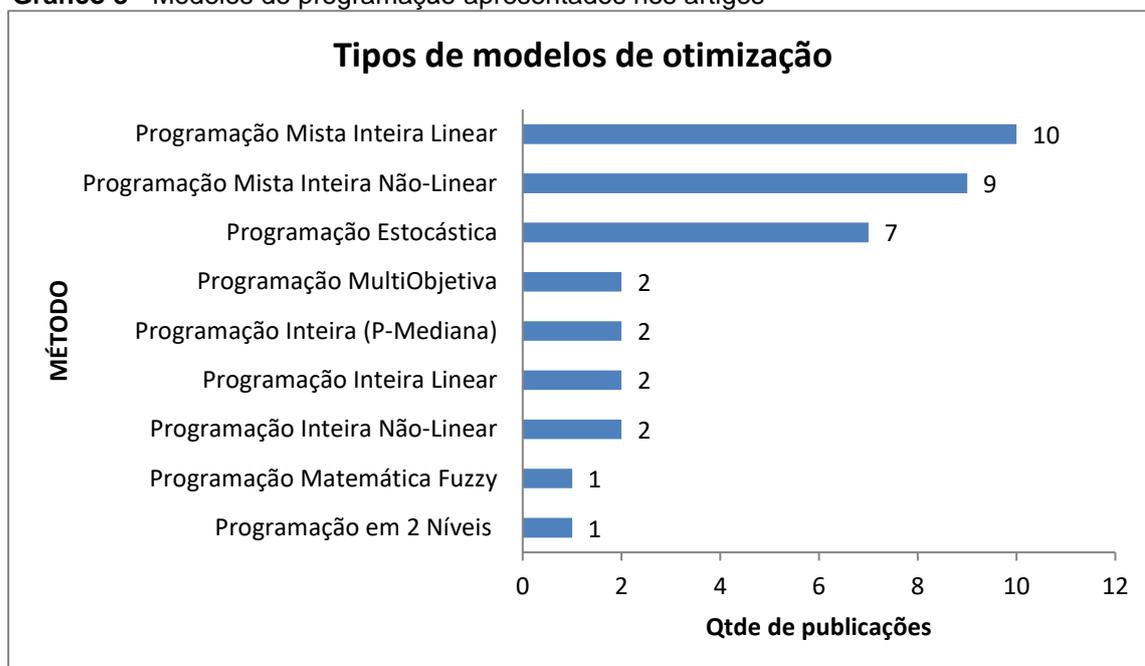
Gráfico 7 - Principais Variáveis



Fonte: Autores (2021).

Conforme a Figura 10, diferentes tipos de modelos de otimização foram aplicados na construção dos artigos. Os mais recorrentes foram os modelos de programação mista inteira linear e programação mista inteira não linear.

Gráfico 8 - Modelos de programação apresentados nos artigos



Fonte: Autores (2021)

5 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo realizar uma revisão da literatura relacionada a análise de publicações contendo modelos de otimização de localização de instalações com ruptura. Foram consultadas as bases de dados *Scopus* e *Web of Science* e foram selecionados 36 artigos para análise. Essa análise foi dividida em duas etapas: análise bibliométrica e análise das classificações. A análise bibliométrica se deu através da utilização do software Bibliometrix (2020) [®] e a análise das classificações se deu por meio de uma adaptação de taxonomia existente na literatura. Como resultados foi possível observar que o tema de otimização de localização de instalações com ruptura é relativamente novo, pois não possui ainda um número expressivo de publicações, bem como autores com um número destacado de publicações na área. O tema tem ganhado mais atenção com aumento de publicações relacionadas nos últimos cinco anos, ganhando também pluralidade na tipologia dos modelos apresentados. Ressalta-se que a maioria dos estudos aborda rupturas nas instalações, mas que estudos abordando ruptura nos *links* de conexão cresceram nos últimos anos. Foi verificada que a relação entre ruptura de instalações e/ou links e confiabilidade da rede pode ser mais explorada. Uma tendência observada nas publicações é relacionada à logística humanitária, principalmente no que se refere aos desastres naturais. Uma lacuna verificada foi a falta de estudos abordando operações de ajuda humanitária em desastres de natureza antropogênica, como campos de refugiados resultantes de conflitos armados, perseguições religiosas, migrações e violação dos direitos humanos. Trabalhos nesse sentido podem auxiliar as organizações humanitárias a melhor planejar e gerenciar suas cadeias de suprimentos, dado a escassez de recursos financeiros e humanos e a urgência no atendimento devido a existência de vidas em risco. A inclusão da possibilidade da ocorrência de rupturas nos modelos de localização traz uma perspectiva existente na realidade de muitas operações, mas que ainda vem sendo pouco abordada.

REFERÊNCIAS

AFIFY, Badr *et al.* Evolutionary learning algorithm for reliable facility location under

Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v. 21, n. 4, p. 1165-1190, 2021

disruption. **Expert Systems with Applications**, v. 115, p. 223-244, 2019.

<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.07.045>

AFIFY, Badr; SOEANU, Andrei; AWASTHI, Anjali. Separation linearization approach for the capacitated facility location problem under disruption. **Expert Systems with Applications**, v. 169, p. 114187, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114187>

AKGÜN, İbrahim; ERDAL, Hamit. Solving an ammunition distribution network design problem using multi-objective mathematical modeling, combined AHP-TOPSIS, and GIS. **Computers & Industrial Engineering**, v. 129, p. 512-528, 2019.

<https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.02.004>

AKOBENG, Anthony K. Principles of evidence based medicine. **Archives of disease in childhood**, v. 90, n. 8, p. 837-840, 2005. <https://doi.org/10.1136/adc.2005.071761>

ALTO COMISSARIADO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA REFUGIADOS (ACNUR). Disponível em: <https://www.acnur.org/portugues/>. Acesso em: 04 jun. 2021.

ARDAKANI, Elham Shaker *et al.* Designing a multi-period production-distribution system considering social responsibility aspects and failure modes. **Sustainable Production and Consumption**, v. 22, p. 239-250, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.03.009>

AYUDHYA, Wichitsawat Suksawat Na. Determining quality refining rice mill location with disruption risks. In: **2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)**. IEEE, 2017. p. 379-383.

BALCIK, Burcu *et al.* Coordination in humanitarian relief chains: Practices, challenges and opportunities. **International Journal of production economics**, v. 126, n. 1, p. 22-34, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.09.008>

BEAMON, B. M. **Humanitarian Relief Chains: Issues and Challenges**, actes de la conférence Proceedings of the 34th International Conference on Computers and Industrial Engineering. San Francisco, USA, 2004.

BILIR, Canser; EKICI, Sule Onsel; ULENGIN, Fusun. An integrated multi-objective supply chain network and competitive facility location model. **Computers & Industrial Engineering**, v. 108, p. 136-148, 2017.

CARVALHO, Marly M.; FLEURY, André; LOPES, Ana Paula. An overview of the literature on technology roadmapping (TRM): Contributions and trends. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 80, n. 7, p. 1418-1437, 2013.

<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.11.008>

DASKIN, Mark S. **Network and discrete location: models, algorithms, and applications**. John Wiley & Sons, 2013.

DIABAT, Ali; JABBARZADEH, Armin; KHOSROJERDI, Amir. A perishable product supply chain network design problem with reliability and disruption considerations. **International Journal of Production Economics**, v. 212, p. 125-138, 2019.

DREZNER, Z. **Facility location: a survey of applications and methods**. Springer Verlag, 1995.

OFDA/CRED. **The Office of Foreign Disaster Assistance/Centre for Research on the Epidemiology of Disasters - Université Catholique de Louvain, Emergency Database (EM-DAT)**. Brussels, Belgium. Disponível em: <https://public.emdat.be/data>. Acesso em: mar. 2021.

ESFANDIYARI, Zahra; BASHIRI, Mahdi; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, Reza. Resilient network design in a location-allocation problem with multi-level facility hardening. **Scientia Iranica**, v. 26, n. 2, p. 996-1008, 2019. <https://doi.org/10.24200/sci.2018.20167>

FATTAHI, Mohammad; GOVINDAN, Kannan; MAIHAMI, Reza. Stochastic optimization of disruption-driven supply chain network design with a new resilience metric. **International Journal of Production Economics**, v. 230, p. 107755, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107755>

GUO, Jiantao; LIU, Linxuanzi; ZHANG, Juliang. Joint optimization of supplier selection and facility location for 2022 Winter Olympics in the presence of supply risk. *In: IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)*. IEEE, 2019. p. 292-299. <https://doi.org/10.1109/SMC.2019.8913859>

GUO, Zixue; QI, Meiran. Modeling and simulation of emergency service facilities location problem under fuzzy environment. **The Open Mechanical Engineering Journal**, v. 8, n. 1, 2014. <https://doi.org/10.2174/1874155X01408010048>

HABIB, Muhammad Salman; LEE, Young Hae; MEMON, Muhammad Saad. Mathematical models in humanitarian supply chain management: A systematic literature review. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2016, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/3212095>

HASANI, Aliakbar; KHOSROJERDI, Amirhossein. Robust global supply chain network design under disruption and uncertainty considering resilience strategies: A parallel memetic algorithm for a real-life case study. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 87, p. 20-52, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.12.009>

HASANI, Aliakbar; MOKHTARI, Hadi; FATTAHI, Mohammad. A multi-objective optimization approach for green and resilient supply chain network design: a real-life Case Study. **Journal of Cleaner Production**, v. 278, p. 123199, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123199>

HULME, Edward Wyndham *et al.* Statistical bibliography in relation to the growth of modern civilization. 1923.

JABBARZADEH, Armin; FAHIMNIA, Behnam. Dynamic Supply Chain Greening Analysis. *In: Green logistics and transportation*. Springer, Cham, p. 35-47, 2015. https://doi.org/10.1007/978-3-319-17181-4_3

JABBARZADEH, Armin; HAUGHTON, Michael; KHOSROJERDI, Amir. Closed-loop supply chain network design under disruption risks: A robust approach with real world application. **Computers & industrial engineering**, v. 116, p. 178-191, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.12.025>

JALALI, Sajjad; SEIFBARGHY, Mehdi; NIAKI, Seyed Taghi Akhavan. A risk-averse location-protection problem under intentional facility disruptions: A modified hybrid decomposition algorithm. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v.

114, p. 196-219, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.04.004>

KURUPPU, Kumudu KS. Management of blood system in disasters. **Biologicals**, v. 38, n. 1, p. 87-90, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.biologicals.2009.10.005>

LEIRAS, Adriana *et al.* Literature review of humanitarian logistics research: trends and challenges. **Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management**, 2014. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-04-2012-0008>

LIU, Yunhua *et al.* A coordinated location-inventory problem with supply disruptions: A two-phase queuing theory–optimization model approach. **Computers & Industrial Engineering**, v. 142, p. 106326, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106326>

MADADI, AliReza *et al.* Supply network design: Risk-averse or risk-neutral?. **Computers & Industrial Engineering**, v. 78, p. 55-65, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.09.030>

MENDES, Angélica Alebrant; PINHEIRO, Maria Clara Rodrigues; YOSHIKAZI, Hugo Tsugunobu Yoshida. **Modelos de otimização de localização e inventário em cadeias de suprimentos: uma revisão de literatura.**

MOHAMMADI, Salar *et al.* A robust neutrosophic fuzzy-based approach to integrate reliable facility location and routing decisions for disaster relief under fairness and aftershocks concerns. **Computers & Industrial Engineering**, v. 148, p. 106734, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106734>

OWEN, S. H., DASKIN, M. S. **Strategic facility location: A review.** 1998, p. 423–447.

POCHAN, Jessada; PICHAYAPAN, Preda; ARUNOTAYANUN, Kriangkrai. A modeling framework of hierarchical earthquake relief center locations under demand uncertainty. **International Journal**, v. 18, n. 65, p. 23-33, 2020. <https://doi.org/10.21660/2020.65.12752>

RAMSHANI, Mohammad *et al.* Two level uncapacitated facility location problem with disruptions. **Computers & industrial engineering**, v. 137, p. 106089, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106089>

RATNAYAKE, Shalini Navodika; STARITA, Stefano. Reliable Supply Chain Network Design and Fortification. A Case Study on Luxury Fashion Retail in Thailand. In: **2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)**. IEEE, 2020. p. 447-453. <https://doi.org/10.1109/ICIEA49774.2020.9102039>

SABOUHI, Fatemeh *et al.* A multi-cut L-shaped method for resilient and responsive supply chain network design. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 24, p. 7353-7381, 2020. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1779369>

SALMAN, F. Sibel; YÜCEL, Eda. Emergency facility location under random network damage: Insights from the Istanbul case. **Computers & Operations Research**, v. 62, p. 266-281, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.07.015>

SEURING, Stefan; GOLD, Stefan. Conducting content-analysis based literature reviews in supply chain management. **Supply Chain Management: An International Journal**, p. 544–555, 2012. <https://doi.org/10.1108/13598541211258609>

SHISHEBORI, Davood; YOUSEFI BABADI, Abolghasem; NOORMOHAMMADZADEH, Zohre. A Lagrangian relaxation approach to fuzzy robust multi-objective facility location network design problem. **Scientia Iranica**, v. 25, n. 3, p. 1750-1767, 2018.

<https://doi.org/10.24200/sci.2017.4447>

SINGH, Amit Raj *et al.* Design of global supply chain network with operational risks. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 60, n. 1, p. 273-290, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00170-011-3615-9>

SNYDER, Lawrence V.; DASKIN, Mark S. Reliability models for facility location: the expected failure cost case. **Transportation Science**, v. 39, n. 3, p. 400-416, 2005.

<https://doi.org/10.1287/trsc.1040.0107>

THOMÉ, Antônio Márcio Tavares; SCAVARDA, Luiz Felipe; SCAVARDA, Annibal José. Conducting systematic literature review in operations management. **Production Planning & Control**, v. 27, n. 5, p. 408-420, 2016. <https://doi.org/10.1080/09537287.2015.1129464>

TIMPERIO, Giuseppe *et al.* Decision support framework for location selection and disaster relief network design. **Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management**, 2015. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-11-2016-0040>

TOLOOIE, Ali; MAITY, Meghna; SINHA, Ashesh Kumar. A two-stage stochastic mixed-integer program for reliable supply chain network design under uncertain disruptions and demand. **Computers & Industrial Engineering**, v. 148, p. 106722, 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106722>

TRANFIELD, David; DENYER, David; SMART, Palminder. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. **British journal of management**, v. 14, n. 3, p. 207-222, 2003.

<https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>

WANG, Jiguang; SU, Kan; WU, Yucui. The reliable facility location problem under random disruptions. **Wireless Personal Communications**, v. 102, n. 4, p. 2483-2497, 2018.

<https://doi.org/10.1007/s11277-018-5267-7>

WANG, Yong Ming; YIN, Hong Li. Integrated optimization for supply chain with facility disruption. *In: IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*. IEEE, 2013. p. 1625-1629. <https://doi.org/10.1109/ICMA.2013.6618158>

VAN WASSENHOVE, Luk N. Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear. **Journal of the Operational research Society**, v. 57, n. 5, p. 475-489, 2006. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602125>

XIE, Siyang; AN, Kun; OUYANG, Yanfeng. Planning facility location under generally correlated facility disruptions: Use of supporting stations and quasi-probabilities. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 122, p. 115-139, 2019.

<https://doi.org/10.1016/j.trb.2019.02.001>

XIE, Siyang; OUYANG, Yanfeng. Reliable service systems design under the risk of network access failures. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 122, p. 1-13, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.11.002>

YU, Guodong; ZHANG, Jie. Multi-dual decomposition solution for risk-averse facility location problem. *In: Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 116, p.

Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v. 21, n. 4, p. 1165-1190, 2021

70-89, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.05.010>

YUN, Lifen *et al.* Reliable facility location design with round-trip transportation under imperfect information Part I: A discrete model. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 133, p. 101825, 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.101825>

ZARRINPOOR, N.; FALLAHNEZHAD, M. S.; PISHVAEE, M. S. Design of a reliable hierarchical location-allocation model under disruptions for health service networks: A two-stage robust approach. **Computers and Industrial Engineering**, v. 109, p.130–150, 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.04.036>

ZHANG, Chi; RAMIREZ-MARQUEZ, José Emmanuel; LI, Qing. Locating and protecting facilities from intentional attacks using secrecy. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 169, p. 51-62, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2017.08.005>



Artigo recebido em: 01/06/2021 e aceito para publicação em: 15/07/2021

DOI: <http://doi.org/10.14488/1676-1901.v21i4.4348>