LVI SBPO SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
DE 04 ATÉ 07 NOVEMBRO 2024
FORTALEZA | CEARÁ

# Modelos de otimização multiobjetivo para logística reversa: uma revisão sistemática

**Lizete de Paula Ballerini**
Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
Rod. João Leme dos Santos km 110 - SP-264 Bairro do Itinga – Sorocaba
lizete@ufscar.br

**Eli Angela Vitor Toso**
Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
Rod. João Leme dos Santos km 110 - SP-264 Bairro do Itinga – Sorocaba
eli@ufscar.br

## RESUMO

A expansão dos mercados, os avanços tecnológicos e a redução do ciclo de vida dos produtos têm resultado no aumento da geração de resíduos de bens pós-consumo, tornando-se uma preocupação global devido aos impactos ambientais causados pelo descarte inadequado. O planejamento e as operações de logística reversa são fundamentais para a busca da sustentabilidade ambiental, social e econômica. Neste contexto, este trabalho apresenta uma revisão sistemática da literatura sobre modelos de otimização de logística reversa, para identificar os que incluem objetivos ambientais e sociais além de objetivos econômicos, como a redução de custos operacionais. O intuito é analisar as principais características das abordagens propostas para o problema e avaliar novas perspectivas para pesquisas futuras. Os resultados mostram que há vários estudos na literatura que propõem diferentes modelos e métodos de solução para o problema, porém há relativamente poucos trabalhos que abordam de forma combinada os objetivos econômicos, ambientais e sociais.

**PALAVRAS CHAVE. Logística Reversa, Otimização, REEE.**

**Tópicos. L&T – Logística e Transportes, AD&GP – PO na Administração e Gestão da Produção, OA – Outras aplicações em PO, PM – Programação Matemática**

## ABSTRACT

The expansion of markets, technological advances, and the reduction in the life cycle of products have resulted in an increase in the generation of waste from post-consumer goods, becoming a global concern due to the environmental impacts caused by inadequate disposal. Reverse logistics planning and operations are fundamental to the pursuit of environmental, social, and economic sustainability. In this context, this work presents a systematic review literature on optimization models for reverse logistics to identify those include environmental and social objectives to economic objectives, such as reducing operational costs. The aim is to analyze the main characteristics of the approaches proposed for the problem and evaluate new perspectives for future research. The results show that there are several studies in the literature that propose different models and methods of solving the problem, but there are relatively few studies that address economic, environmental, and social objectives in a combined way.

**KEYWORDS. Optimization. CLSP. MILP.**

**Paper topics. L&T – Logistics and Transport, AD&GP – PO in Administration and Production Management, OA – Other applications in PO, PM – Mathematical Programming**

**DOI:** 10.59254/sbpo-2024-193648
https://proceedings.science/p/193648?lang=pt-br

## 1. Introdução

A gestão de resíduos pós-consumo é um desafio global, pois a disposição final inadequada causa diversos problemas ambientais e socioeconômicos. Segundo [Kaza et al., 2018], a geração global de resíduos sólidos deverá alcançar 3,40 bilhões de toneladas anuais até 2050, representando um aumento substancial em comparação com os atuais 2,01 bilhões de toneladas. Neste contexto, a logística reversa é uma abordagem essencial, pois envolve o retorno de produtos pós-consumo para o ciclo produtivo, permitindo a reciclagem e o reaproveitamento de materiais.

No entanto, há diversos desafios como a necessidade de infraestrutura adequada, a conscientização e participação ativa dos consumidores, além de políticas públicas eficientes que incentivem e regulamentem o processo. A coordenação entre fabricantes, varejistas e governos, é crucial para superar desafios e implementar sistemas de logística reversa eficazes, promovendo assim uma gestão de resíduos mais sustentável.

As regulamentações governamentais são cruciais para impulsionar iniciativas em logística reversa [Nanayakkara et al., 2022]. Essas regulamentações alteram o foco de planejamento da LR, antes voltado apenas para decisões de localização, transporte e roteamento de veículos, para abordagens mais abrangentes que incluem o controle das emissões de carbono e a busca por operações ecoeficientes, alinhada os objetivos socioeconômicos e ambientais [Tsao et al., 2021].

No Brasil foram publicados os decretos Nº 11.413, de 13 de fevereiro de 2023, que regulamentam a reciclagem e a logística reversa, incluindo a criação de programas e comitê para promover a inclusão socioeconômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis [Brasil, 2023]. No entanto, as estruturas das redes de logística reversa ainda estão em fase de desenvolvimento, sendo que várias empresas têm investido em iniciativas e soluções inovadoras para facilitar o retorno e a reciclagem de produtos.

O planejamento da logística reversa de bens pós-consumo envolve a conciliação de aspectos socioeconômicos e impactos ambientais, como a redução da pegada de carbono das operações [SUN, 2017]. Essas diferentes categorias de impacto podem ser incorporadas a modelos matemáticos, permitindo o estabelecimento de diferentes objetivos de otimização, conforme destacado por [Achillas et al., 2012].

A literatura sobre modelos de otimização para problemas de planejamento de redes de logística reversa é bastante extensa. No entanto, há relativamente poucos estudos que abordam o desenvolvimento de modelos de programação matemática buscando soluções de equilíbrio entre sustentabilidade econômica, ambiental e social. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão sistemática da literatura sobre modelos de otimização de logística reversa, de forma a identificar as principais características quanto ao objetivo dos diferentes modelos de programação matemática existentes e apontar oportunidades de pesquisa. O trabalho busca modelos multiobjetivos, mas não se restringe somente a estes modelos. A principal pergunta de pesquisa que orienta esta revisão é: "Quais os objetivos dos modelos de otimização para logística reversa existentes na literatura?".

Para a condução desta revisão foi utilizado o protocolo PRISMA 2020 [Page et al., 2021], que é uma estrutura amplamente reconhecida para revisões sistemáticas da literatura. Esta revisão adota uma abordagem qualitativa e quantitativa, combinando análise bibliométrica e de conteúdo [Saulick et al., 2023]. A análise de conteúdo foi realizada com o auxílio do software IRaMuTeQ [Soares et al., 2022], que oferece suporte na organização e análise de dados textuais, permitindo a identificação de padrões, temas e tendências nos artigos revisados.

Este artigo está organizado da seguinte forma: esta Introdução que apresenta o contexto do problema e justificativa para o estudo; na seção 2 são discutidas revisões da literatura relacionadas ao tema da pesquisa; a seção 3 descreve a metodologia utilizada no estudo; na seção 4 os resultados da revisão sistemática são apresentados e discutidos; a seção 5 sintetiza a revisão e apresenta perspectivas para pesquisas futuras.

**DOI:** 10.59254/sbpo-2024-193648
https://proceedings.science/p/193648?lang=pt-br

## 2. Revisões anteriores

Como a literatura sobre modelos de programação matemática para problemas de planejamento de redes de logística reversa é bastante extensa, vários artigos apresentam revisões da literatura sobre este tema com diferentes perspectivas e contextos. Dentre estes, podemos destacar os artigos de [Fleischmann et al., 1997], [Aravendan & Panneerselvam, 2014], [Govindan et al., 2017], [Van Engeland et al., 2020] e [Detwal et al., 2023], que abordam escopos interrelacionados de logística reversa, gestão de resíduos e cadeias de abastecimento, contribuindo para um entendimento mais integrado dessas áreas. A avaliação das principais características e contribuições destes trabalhos é importante para entender o estado atual da pesquisa sobre o tema e obter insights para o desenvolvimento desta pesquisa.

O trabalho de [Fleischmann et al., 1997] foi pioneiro ao apresentar uma visão ampla sobre modelos de gestão da logística reversa divididos em três focos: planejamento de distribuição, controle de estoque e planejamento de produção. Os autores discutem as implicações da reutilização e revisam modelos matemáticos da literatura. Uma conclusão importante é que atividades de reutilização exigem novas abordagens devido à complexidade da interação entre os fluxos de materiais diretos e reversos.

Entre os trabalhos de revisão posteriores, o estudo de [Aravendan & Panneerselvam, 2014] se destaca ao incluir a cadeia de suprimentos de circuito fechado que abrange a logística direta e reversa. Os artigos de [Govindan et al., 2017] e [Van Engeland et al., 2020] focam modelos para o planejamento estratégico de redes de logística reversa no contexto de cadeias de suprimentos. A revisão sistemática da literatura elaborada por [Govindan et al., 2017] inclui 170 artigos publicados entre os anos 2000 e 2015 sobre o problema de configuração de redes em cadeias de suprimento (SCND – do termo em inglês *Supply Chain Network Design*) que consideram incertezas. Os autores analisam o conteúdo dos trabalhos sob diferentes aspectos, incluindo a estrutura da rede, as decisões envolvidas, diferentes paradigmas sob incerteza bem como as formas de tratamento das incertezas nos modelos. Entre diversas análises e insights interessantes, os autores apontam a investigação de aspectos ambientais e de responsabilidade social no planejamento de redes de logística reversa e cadeias de suprimentos.

Uma revisão abrangente sobre modelos de otimização de LR e gestão de resíduos é apresentada por [Van Engeland et al., 2020]. Os autores revisaram um total de 207 trabalhos, publicados entre os anos de 1995 e 2017. O foco do artigo são problemas de configuração de redes de LR em cadeias de suprimento, incluindo modelos mono e multiobjetivo. As abordagens multiobjetivo contemplam critérios financeiros e critérios ambientais. Em suas conclusões os autores apontam a relevância de modelar simultaneamente indicadores ambientais, sociais e de desempenho, além da necessidade de desenvolver heurísticas para lidar com a complexidade dos modelos de redes estratégicas. A aplicação de metaheurísticas na otimização de cadeias de abastecimento circulares é o ponto central do trabalho de [Detwal et al., 2023], que realizaram uma revisão sistemática de literatura com 77 estudos publicados até 2023. Além da análise bibliométrica, os autores analisaram: tipos de cadeia, problemas específicos da cadeia, metaheurísticas utilizadas e aspectos de circularidade.

Esses estudos revisaram um número significativo de artigos e identificaram diferentes abordagens e técnicas utilizadas na otimização de redes de LR. Os estudos apontam que a maioria dos modelos matemáticos visam otimizar o desempenho financeiro, sugerindo a inserção de aspectos ambientais e sociais.

## 3. Metodologia da pesquisa

Como mencionado, esta pesquisa adota uma abordagem que combina análise bibliométrica com a revisão sistemática da literatura, seguindo o protocolo PRISMA 2020. Segundo [dos Reis et al., 2023], essa combinação permite um maior rigor metodológico, pois a revisão bibliométrica garante precisão dos dados enquanto a revisão sistemática busca uma investigação mais aprofundada do tema.

**DOI:** 10.59254/sbpo-2024-193648
https://proceedings.science/p/193648?lang=pt-br

A pesquisa foi conduzida em fevereiro de 2024 nas bases de dados Scopus e Web of Science (WOS). A partir dos artigos de revisão sobre o tema, foram definidos termos de busca, que foram pesquisadas nos campos: título, resumo e palavras-chave dos artigos da literatura. Os termos de busca, filtros e horizonte de tempo da pesquisa estão na Tabela 1.

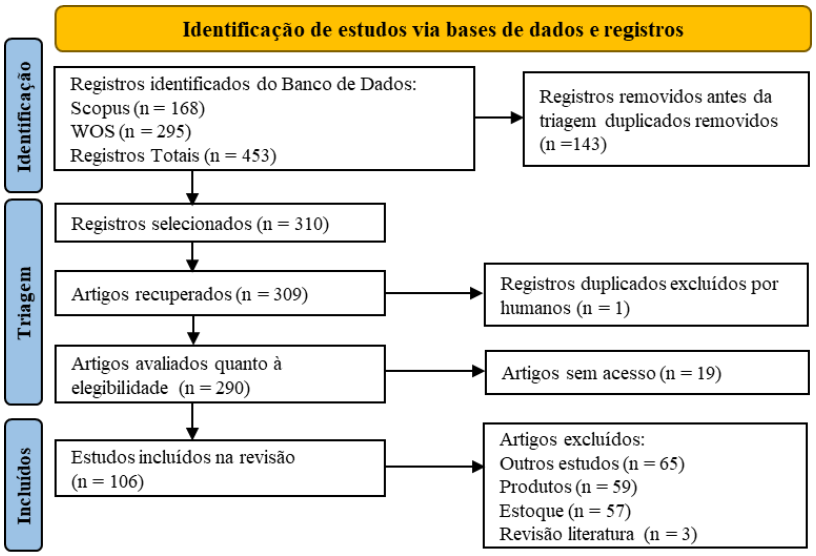
Tabela 1 - Critérios de Busca e Seleção

| Critérios | Entradas |
|---|---|
| Campos | Título, Resumo e Palavras-chave |
| Data | fevereiro de 2024 |
| Filtro 1 | Tipo documento: Artigos |
| Filtro 2 | Ano: 2013 a fevereiro 2024 |
| Palavras-chave e termos booleanos | Reverse logistics **e** Multiobjective linear programming **ou** Multicriteria optimization **ou** Optimization model **ou** Mixed linear integer programming |
| Bases de dados | Scopus e Web of Science |

Fonte: Elaborado pelas autoras

Como pode ser observado na Figura 1, a busca resultou na obtenção de 453 registros, sendo 168 publicações da base Scopus e 295 da base WOS. A Figura 1 mostra a sequência de passos da metodologia PRISMA, dividida em: 'identificação', 'triagem' e 'incluídos'.

Figura 1 - Diagrama de fluxo PRISMA 2020




Fonte: Elaborado pelas autoras

Após a identificação dos registros, foi usado o software Rayyan para checar das publicações duplicadas, encontradas nas duas bases de dados. Assim, 143 artigos são removidos. Na etapa de triagem, uma busca por trabalhos duplicados é realizada novamente, desta vez manualmente, excluindo apenas uma publicação. Ainda na triagem, 19 artigos foram retirados por não falta de acesso, resultando em 290 publicações para serem avaliadas quanto à elegibilidade. Para definir os trabalhos a serem revisados, foi habilitada a função duplo cego do software, que permitiu a avaliação dos artigos de forma isolada pelas autoras. Nesta etapa, foram excluídos artigos fora do escopo do trabalho, como trabalhos com outras abordagens ou foco em outros aspectos da gestão de resíduos pós-consumo.

A partir da seleção das publicações, é gerado um arquivo com várias informações sobre os trabalhos, que permite uma análise bibliométrica considerando diversas métricas importantes para a avaliação do estado-da-arte em relação ao tema. Nesta análise é usado o software VOSviewer [Jan van Eck & Waltman, 2021] para identificar tendências de publicação, análises estatísticas e relações de coautoria e coocorrência de palavras-chave.

Para síntese e análise dos conteúdos é utilizado o software IRaMuTeQ. Um arquivo com os textos a serem analisados deve ser preparado para inserir no software. Nesta pesquisa foram utilizados os resumos dos artigos selecionados, disponíveis no arquivo gerado na seleção de

**DOI:** 10.59254/sbpo-2024-193648
https://proceedings.science/p/193648?lang=pt-br

trabalhos nas bases de dado. O software processa os textos e define segmentos a partir dos quais viabiliza diferentes tipos de análises de dados, como a lexicografia básica, análises multivariadas, análises de correspondência e de semelhança [Soares et al., 2022]. O arquivo obtido na seleção das publicações ainda permite a compilação dos dados para outras análises.

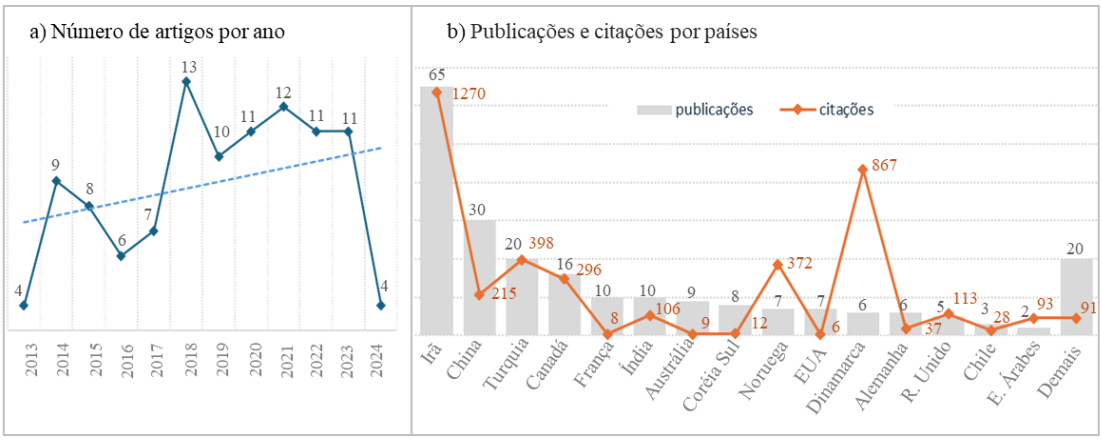
## 4. Resultados

### 4.1 Análise Bibliométrica

Na análise bibliométrica foram consideradas as seguintes métricas para investigar a literatura sobre modelos de otimização para a logística reversa: total de publicações por ano; países das instituições dos autores principais; citações por país; periódicos em que foram publicados; fator de impacto; tópicos mais frequentes; e, análise de rede de colaboração.

A Figura 2 apresenta dois gráficos: a) o número de artigos publicados por ano desde 2013 até 2024 (sendo este apenas até fevereiro); b) o total de publicações por país (instituição do autor principal) e suas respectivas citações. Nos últimos 10 anos, observa-se um aumento no interesse pelo tema de pesquisa desta revisão, com uma tendência de crescimento no número de publicações. O ápice no número de artigos foi em 2018, com 13 publicações, e desde então tem se mantido em uma média de 11 publicações por ano (Figura 2a).

Figura 2 – Publicações por ano, por país e citações




Fonte: Elaborada pelas autoras

Em relação ao número de publicações e citações por país, a Figura 2b mostra os valores totais considerando os países da instituição de origem dos autores principais (que são indicados nos artigos). Na análise por países, o Irã se sobressai em número de publicações e citações, sendo 65 e 1270 respectivamente. Por outro lado, as instituições da Dinamarca e da Noruega se destacam pelo número de citações, o que pode indicar o reconhecimento e a relevância dos trabalhos para a comunidade científica. É interessante observar que, dos 15 países com maior número de publicações sobre modelos de otimização para logística reversa (Figura 2b), 10 estão listados entre as 20 maiores economias do mundo.

A Tabela 2 mostra os 10 artigos mais citados, de acordo com o fator de impacto corrigido (FCI - *Corrected Impact Factor*), que é obtido usando o número de citações e o indicador JCI (*Journal Citation Indicator*). A tabela apresenta também o país da instituição do autor principal e o periódico em que cada artigo foi publicado.

Como esperado, os artigos mais citados foram publicados há mais tempo. O artigo com maior fator de impacto foi publicado por [Govindan et al., 2014] no periódico *International Journal of Production Economics*. Entre os periódicos, podemos observar que entre os 10 trabalhos mais citados, 3 foram publicados no *Journal of Cleaner Production*.

**DOI:** 10.59254/sbpo-2024-193648
https://proceedings.science/p/193648?lang=pt-br

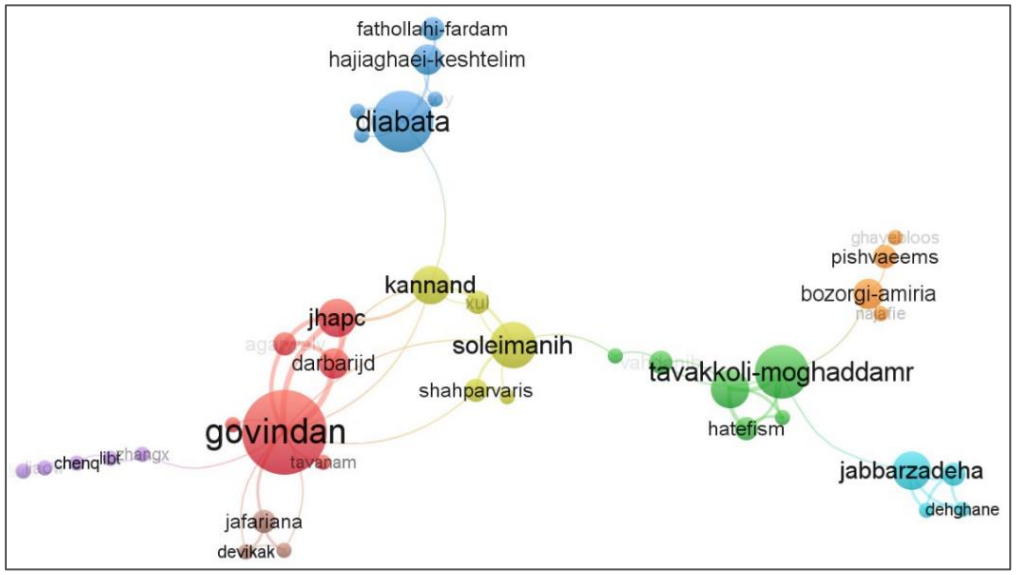
Tabela 2 – Classificação dos artigos por citações

| Artigo | País | Periódico | Citações | JCI | FIC |
|---|---|---|---|---|---|
| [Govindan et al., 2014] | Dinamarca | Int. Journal of Production Economics | 395 | 2,14 | 124,03 |
| [Devika et al., 2014] | Dinamarca | European Journal of Operational Research | 309 | 1,44 | 75,40 |
| [Sahebjamnia et al., 2018] | Irã | Journal of Cleaner Production | 165 | 1,53 | 69,57 |
| [Yu et al., 2020] | Noruega | Int. J. of Environmental Health Research | 163 | 0,66 | 67,64 |
| [Talaei et al., 2016] | Irã | Journal of Cleaner Production | 197 | 1,53 | 62,30 |
| [Mohtashami et al., 2020] | Irã | Journal of Cleaner Production | 87 | 1,53 | 55,02 |
| [Abbasi et al., 2023] | Irã | Found. of Computing and Decision Sciences | 42 | 0,18 | 49,56 |
| [Vali-Siar & Roghanian, 2022] | Irã | Sustainable Production and Consumption | 28 | 2,35 | 46,90 |
| [Shankar et al., 2018] | India | Int. Journal of Production Economics | 89 | 2,14 | 46,57 |
| [Govindan et al., 2016] | Dinamarca | Ecological Indicators | 140 | 1,49 | 43,57 |

Fonte: Elaborada pelas autoras

A Figura 3 mostra as redes de colaboração entre os autores na área de modelos de otimização para logística reversa. Na análise de rede, identificam-se 8 clusters de relacionamento. Entre eles, destacam-se as relações nucleadas por Govindan, Tavakkoli-Moghaddam e Diabat, nos cluster vermelho, verde e azul, respectivamente.

Figura 3. Rede de colaboração

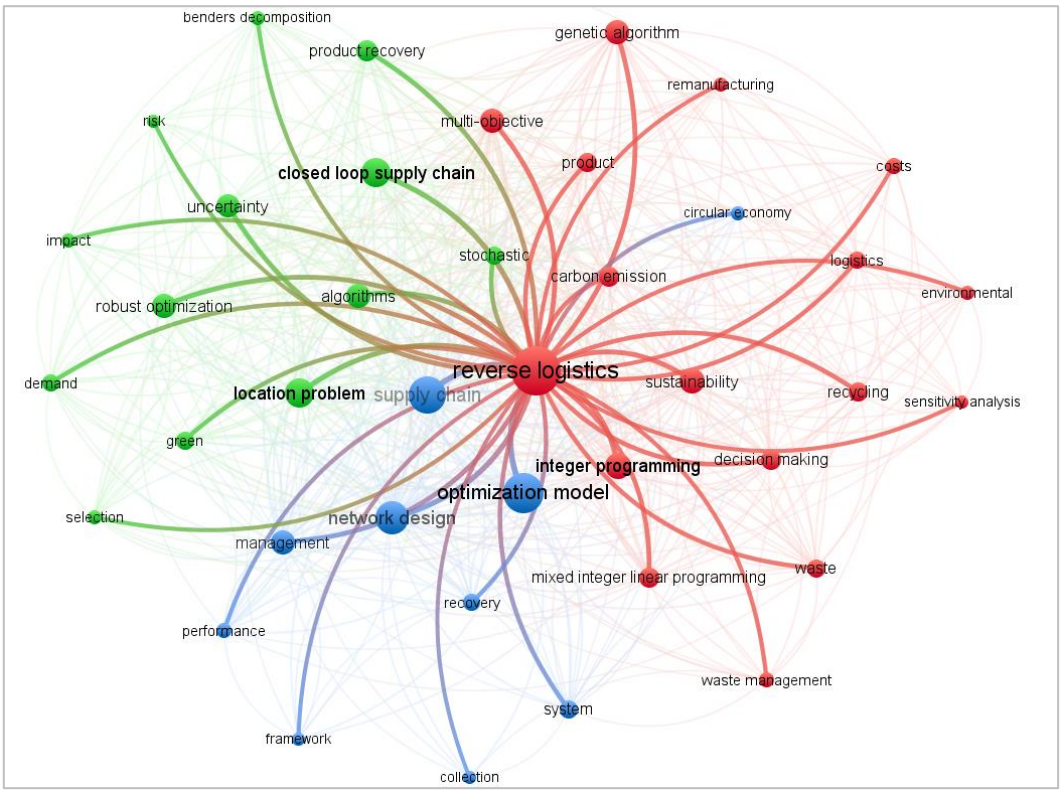



Elaborado pelas autoras usando o VOSViewer

Em relação às palavras-chave, foram encontradas um total de 1.776 nos artigos selecionados. A análise de nuvem de palavras-chave (*hot-topics)* auxilia na identificação dos principais tópicos na área de pesquisa. Do total de palavras-chave encontradas, definiu-se o limite de coocorrência de 12 no VOSViewer[Jan van Eck & Waltman, 2011], resultando em 40 nós, como pode ser observado na Figura 4. Esses nós são proporcionais à ocorrência das palavras-chave.

**DOI:** 10.59254/sbpo-2024-193648
https://proceedings.science/p/193648?lang=pt-br

Figura 4. Nuvem de palavras




Elaborada pelas autoras usando o Vosviewer

Na análise da Figura 4 é possível observar que as palavras-chave dos artigos desta pesquisa são agrupadas em 3 clusters, que são formados de acordo com a coocorrência dos termos e sua ligação nos diferentes textos. Os principais termos do cluster vermelho são: '*reverse logistics'*, '*integer programming'*, '*sustainability*' e '*decision making*', além de termos associados à gestão de resíduos, emissão de gases de efeito estufa e questões multiobjetivos. No cluster verde, destacam-se palavras-chave como '*closed loop supply chain*', '*location problem*', 'uncertainty' e outros termos que reforçam a consideração de incertezas, por exemplo, como programação estocástica e otimização robusta. Já no cluster azul, observa-se a presença de palavras-chave como '*optimization model*', '*network design*' e '*supply chain*', indicando o apoio à tomada de decisões em nível tático na organização da rede de logística. Esses clusters podem representar diferentes focos e abordagens de pesquisa, mas é preciso analisar os artigos mais detalhadamente.

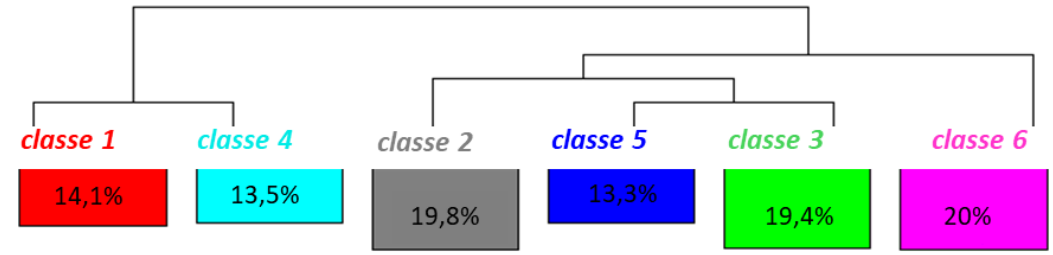
É importante ressaltar que muitas das palavras-chave dos artigos estudados tem significados próximos e complementares, isso porque este é um tema inerentemente multidisciplinar. Os 106 artigos selecionados foram publicados em 54 periódicos de áreas como Engenharia, Ciência da Computação, Matemática, entre outras, incluindo subáreas específicas.

### 4.2 Análise de conteúdo

Como mencionado, a análise de conteúdo foi elaborada com o auxílio do software IRaMuTeQ. Um arquivo com os resumos dos 106 artigos foi processado pelo software, resultando em 511 segmentos de texto para análise. Esses segmentos de texto são dimensionados e classificados de acordo com sua terminologia específica. Assim, foram definidas 2 grandes classes, subdivididas em 6 subclasses, compostas por unidades de contexto elementar considerando todos os segmentos de textos. Essas classes foram identificadas utilizando um método chamado classificação hierárquica descendente [Camargo & Justo, 2021]. A Figura 5 apresenta o dendrograma elaborado a partir dos resultados, que mostra as classes e o percentual de artigos em cada uma. A figura inclui ainda a citação dos artigos agrupados em cada classe.

**DOI:** 10.59254/sbpo-2024-193648
https://proceedings.science/p/193648?lang=pt-br

Figura 5. Dendrograma da classificação (forma vertical)




| classe 1 | classe 4 | classe 2 | classe 5 | classe 3 | classe 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| [Che et al., 2022], [Mahéo et al., 2023], [Vahdani & Mohammadi, 2015], [Yu & Solvang, 2020], [Vahdani & Mohammadi, 2015], [Feitó Cespón, 2020], [Mirmajlesi & Shafaei, 2016], [Asghari et al., 2014], [Mohammadi et al., 2014], (M. Li et al., 2023), [D. Li et al., 2019],[Leng et al., 2019],[Sahebjamnia et al., 2018], [Shi et al., 2017],[Paydar & Olfati, 2018], [Govindan et al., 2016], [Sadjadi et al., 2014], [Devika et al., 2014], [Jin et al., 2018],(Govindan et al., 2014) | [Purnomo et al., 2022], [Ghafarimoghadam et al., 2019], [Feitó-Cespón et al., 2021], [Talaei et al., 2016], [Entezaminia et al., 2017], [Pouriani et al., 2019], [Esmaeilbeigi et al., 2021], [Borajee et al., 2023], [Vali-Siar & Roghanian, 2022],[Poursoltan et al., 2021], [Dehghan et al., 2019], | [Che et al., 2022], [Mahéo et al., 2023], [Vahdani & Mohammadi, 2015], [Yu & Solvang, 2020], [Vahdani & Mohammadi, 2015], [Feitó Cespón, 2020], [Mirmajlesi & Shafaei, 2016], [Asghari et al., 2014], [Mohammadi et al., 2014], (M. Li et al., 2023), [D. Li et al., 2019],[Leng et al., 2019],[Sahebjamnia et al., 2018], [Shi et al., 2017],[Paydar & Olfati, 2018], [Govindan et al., 2016], [Sadjadi et al., 2014], [Devika et al., 2014], [Jin et al., 2018],(Govindan et al., 2014) | [Ashayeri et al., 2015], [Lv et al., 2020], [Medrano-Gómez et al., 2020], [Tokhmehchi et al., 2015], [Cilacı Tombuş et al., 2017], [Schleier & Walther, 2024],[Thoney et al., 2020],[Islam et al., 2021],[Safaei et al., 2017],[Palacio et al., 2018],(Yu & Solvang, 2020) | [Rajabzadeh et al., 2024], [Demirel et al., 2014], [Xiao et al., 2019],[Zhang et al., 2024],[Wenzhu Liao & Luo, 2022], [John et al., 2018], [Trochu et al., 2018], [Biçe & Batun, 2021], [Kannan et al., 2023], [Mohajeri & Fallah, 2016], [Hoyer et al., 2015], [Roghanian & Pazhoheshfar, 2014], [Park et al., 2021], [Trochu et al., 2019], [Xu et al., 2022],[Tosarkani et al., 2020], [Trochu et al., 2020], [Krug et al., 2021],[Ozgur Polat & Gungor, 2021], [Chang et al., 2021] | [Bal & Satoglu, 2018], [Subulan et al., 2015], [Suyabatmaz et al., 2014], (Yu & Solvang, 2016a), [Maung et al., 2020], [Mu et al., 2023], [Abbasi et al., 2023], [Shokohyar & Mansour, 2013], [Yıldız, 2021], [Moslehi et al., 2021],[Aviso et al., 2023], [Rosenberg et al., 2023], [Wang et al., 2022], [Tadaros et al., 2022],(Shankar et al., 2018) |

Elaborada pelas autoras usando os resultados do software Iramuteq
Link para citação completa dos artigos da revisão sistemática:
https://www.dropbox.com/scl/fo/krmm2reyb1mkq5fvohuos/AC1uUAVPK6zEMaFFCiG0c-k?rlkey=4g8gsgaj2yvqhki8tnw8snixn&st=4u6w6t79&dl=0

A análise da Figura 5 mostra que a primeira divisão divide os textos em duas partes: classes 1 e 4; classes 2, 3, 5 e 6. Em seguida há uma outra divisão que separa a classe 6 das demais. Ao agrupar os artigos em classes, o software utiliza segmentos de textos para encontrar subtemas em comum. Assim, considerando os termos resultantes para cada classe temos que o foco de cada uma das classes é:

- **classe 1** – métodos e abordagens de solução, sendo que os principais termos resultantes são: *algorithm*, *solution*, *method*, *approach*, *computational*, *solve*, *instance*, *pareto*, *genetic*, entre outros;
- **classe 2** – características dos problemas abordados, com termos como: *multi-period*, *multi-product*, *integrate*, *multi-echelon*, *multi-objective*, *design*, *formulate*, *objective*, entre outros;
- **classe 3** – características da estrutura da rede e das decisões envolvidas, apresentando termos como: *center collection*, *location*, *flow*, *distribution*, *network*, *recycle*, *remanufacturing*, entre outros;
- **classe 4** – aplicabilidade, análise gerencial e de sensibilidade, com termos como: applicability, case, analysis, managerial, *sensitive*, *insight*, *industry*, entre outros;
- **classe 5** – gestão e disposição de resíduos, sendo os principais termos: *return rate*, *policy*, *landfill*, *sudsidy*, *store*, *primary unit*, entre outros;
- **classe 6** – aspectos de sustentabilidade econômica, ambiental e social, com termos como: *environmental*, *waste*, *concern*, *economic*, *increase*, *social*, *attention*, entre outros.

**DOI:** 10.59254/sbpo-2024-193648
https://proceedings.science/p/193648?lang=pt-br

A primeira divisão, que separa a classe 1 das demais, resulta em artigos cujo foco são os métodos e abordagens de solução do problema. As classes de 2 a 6 tem focos diferentes, mas são focadas nas características do problema. A proximidade observada entre as classes 1 e 4 (Figura 5) pode ser justificada pela interdisciplinaridade do tema, uma vez que, mesmo com foco em métodos de solução, por exemplo, os artigos revisados abordam temas aplicados a contextos práticos. Da mesma forma, a proximidade das classes 3 e 5, pode indicar maior preocupação dos pesquisadores ao abordar aspectos e decisões relacionados à estrutura da rede no gerenciamento de resíduos.

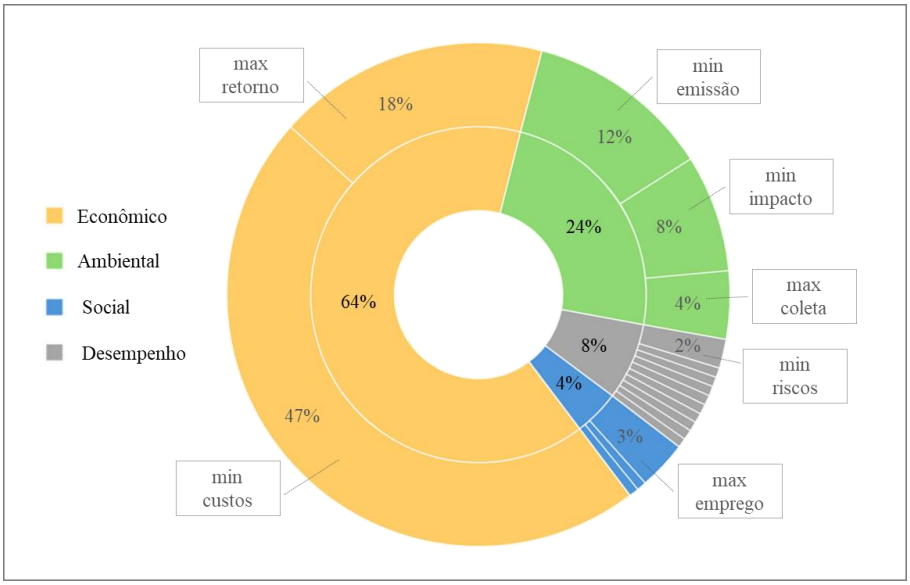
Quanto ao foco em aspectos sociais e ambientais no planejamento de redes de LR, que corresponde à classe 6, apenas cerca de 20% dos segmentos de texto analisados incluem termos relacionados a estas questões. Do total dos 106 artigos desta revisão, apenas 15 foram classificados nesta classe.

A avaliação de conteúdo com o uso de softwares com técnicas de análise de texto auxiliada por computador facilita a classificação dos artigos selecionados, mas sua efetividade depende das informações disponíveis no texto que, no caso deste trabalho, são os resumos dos artigos selecionados. Desta forma, embora os resultados obtidos são relevantes para a identificação de temas e padrões significativos presentes nos trabalhos da literatura. Por exemplo, os termos ‘Pareto’ e ‘multiobjetivo’ aparecem nas classes 1 e 2, respectivamente, indicando trabalhos que consideram mais de um objetivo no planejamento de redes de LR.

### 4.3 Análise dos objetivos de desempenho

A etapa de busca de artigos nas bases de dados resulta em uma planilha com várias informações sobre os trabalhos, que permite além das análises bibliométrica e de conteúdo, a compilação dos dados para análises mais específicas. A partir destes dados e da análise dos artigos selecionados, os modelos de otimização propostos foram analisados quanto aos objetivos ou critérios de desempenho. O gráfico da Figura 6 mostra os percentuais por objetivo.

Figura 6. Objetivos considerados nos modelos de LR




Elaborado pelas autoras

Entre os 106 artigos revisados, 65 apresentam modelos de otimização mono-objetivo para o planejamento de LR, 30 artigos apresentam modelos biobjetivo, 9 formulam 3 objetivos e 2 apresentam 4 objetivos. Assim, considerado todos os artigos selecionados são 160 objetivos que podem ser divididos em: econômicos, ambientais, sociais e de desempenho da rede de LR. Conforme apresentado na Figura 6, a maioria dos objetivos está relacionada a aspectos econômicos, como a minimização dos custos (47%) e a maximização do retorno financeiro (18%). Os critérios de desempenho ambiental correspondem a 24% do total, sendo considerados em termos de

**DOI:** 10.59254/sbpo-2024-193648
https://proceedings.science/p/193648?lang=pt-br

minimização do impacto ambiental, minimização da emissão de gases de efeito estufa (considerada em termos de CO2 equivalente) e a maximização da coleta (atendimento ou fluxo na rede). A maior parte dos artigos que minimizam o impacto ambiental não especifica quais os indicadores usados. Ainda na Figura 6, podemos observar que os critérios sociais correspondem apenas a 4% do total de objetivos, sendo na maioria dos casos considerada como a maximização de empregos. O restante dos objetivos (8%) inclui critérios de desempenho da rede de LR, como minimização de riscos, minimização de tempo de espera, maximização da capacidade, minimização do uso de máquinas, entre outros.

Em relação aos modelos mono-objetivo da literatura revisada, a maioria busca otimizar apenas aspectos econômicos, sendo que em 41 modelos o objetivo é minimizar os custos envolvidos e em 21 o objetivo é maximizar retorno financeiro. Apenas 3 artigos com modelos mono-objetivo buscam a redução do impacto ambiental. Nos artigos que propõem modelos biobjetivo, um dos objetivos é sempre econômico, sendo que 5 buscam a maximização do retorno e 25 minimizam os custos. O outro objetivo são critérios ambientais e outros critérios de desempenho. No caso dos 9 trabalhos que formulam modelos com 3 objetivos, todos incluem um critério econômico (a maioria minimização de custos) e pelo menos um critério ambiental. O terceiro objetivo envolve na maior parte critérios sociais (5 artigos), critérios de desempenho e um outro objetivo associado a critério ambiental. Apenas 2 artigos propõem modelos com 4 objetivos, sendo que apenas um considera critérios econômicos, ambientais, sociais e de desempenho da rede de LR.

É importante mencionar que, no período desta revisão, o número de artigos que consideram mais de um objetivo tem aumentado. Mas, particularmente em relação a critérios ambientais e sociais, este aumento está longe de ser proporcional.

## 5. Conclusão

A revisão sistemática da literatura sobre modelos de otimização para o planejamento de redes de LR revela para várias abordagens e perspectivas diferentes para tratar o problema. A análise bibliométrica indica uma tendência de aumento no número de trabalhos sobre a temática, bem como na relevância para a comunidade científica, marcada pelos altos índices de citação das publicações. Pela análise de conteúdo observa-se que o tema tem natureza multidisciplinar e as publicações estão relativamente dispersas em periódicos de diferentes áreas, inclusive com focos e terminologias diferentes.

Em relação à análise dos objetivos, parte importante das questões apontadas em revisões bibliográficas anteriores ainda permanecem não resolvidas, particularmente a incorporação de aspectos relacionados às questões sociais e ambientais nos modelos de otimização de redes reversas. Esse resultado reforça a indicação de oportunidades de pesquisa neste tema.

## Referências

Achillas, Ch., Aidonis, D., Vlachokostas, Ch., Moussiopoulos, N., Banias, G., & Triantafillou, D. (2012). A multi-objective decision-making model to select waste electrical and electronic equipment transportation media. *Resources, Conservation and Recycling*, *66*, 76–84. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.01.004

Aravendan, M., & Panneerselvam, R. (2014). Literature Review on Network Design Problems in Closed Loop and Reverse Supply Chains. *Intelligent Information Management*, *06*(03), 104–117. https://doi.org/10.4236/iim.2014.63012

Brasil. (2023). Decreto Nº 11.413, de 13 de fevereiro de 2023, que institui o Certificado de Crédito de Reciclagem de Logística Reversa, o Certificado de Estruturação e Reciclagem de Embalagens em Geral e o Certificado de Crédito de Massa Futura. *Brasilia DF*.

**DOI:** 10.59254/sbpo-2024-193648
https://proceedings.science/p/193648?lang=pt-br

Camargo, B. V., & Justo, A. M. (2021). *Tutorial para uso do software de análise textual IRAMUTEQ*. http://www.iramuteq.org/documentation/fichiers/tutoriel-en-portugais

Detwal, P. K., Agrawal, R., Samadhiya, A., & Kumar, A. (2023). Metaheuristics in circular supply chain intelligent systems: A review of applications journey and forging a path to the future. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *126*. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.107102

dos Reis, A. H. S., de Oliveira, A. L. M., Fritsch, C., Zouch, J., Ferreira, P., & Polese, J. C. (2023). Usefulness of machine learning softwares to screen titles of systematic reviews: a methodological study. *Systematic Reviews*, *12*(1). https://doi.org/10.1186/s13643-023-02231-3

Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Dekker, R., Van Der Laan, E., Van Nunen, J. A. E. E., & Van Wassenhove, L. N. (1997). EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH Quantitative models for reverse logistics: A review. In *European Journal of Operational Rcsearch* (Vol. 103).

Govindan, K., Fattahi, M., & Keyvanshokooh, E. (2017). Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions. *European Journal of Operational Research*, *263*(1), 108–141. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.04.009

Govindan, K., Jafarian, A., Khodaverdi, R., & Devika, K. (2014). Two-echelon multiple-vehicle location-routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food. *International Journal of Production Economics*, *152*, 9–28. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.12.028

Hiebl, M. R. W. (2021). Sample Selection in Systematic Literature Reviews of Management Research. *Organizational Research Methods*. https://doi.org/10.1177/1094428120986851

Jan van Eck, N., & Waltman, L. (2011). *Text mining and visualization using VOSviewer*. www.vosviewer.com.

Jan van Eck, N., & Waltman, L. (2021). VOSviewer Manual. *Leiden: Univeristeit Leiden*, 1–53.

Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. *World Bank*.

McKeown, S., & Mir, Z. M. (2021). Considerations for conducting systematic reviews: evaluating the performance of different methods for de-duplicating references. *Systematic Reviews*, *10*(1). https://doi.org/10.1186/s13643-021-01583-y

Nanayakkara, P. R., Jayalath, M. M., Thibbotuwawa, A., & Perera, H. N. (2022). A circular reverse logistics framework for handling e-commerce returns. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, *5*. https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100080

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., … Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. In *The BMJ* (Vol. 372). BMJ Publishing Group. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Pahlevan-Sharif, S., Mura, P., & Wijesinghe, S. N. R. (2019). A systematic review of systematic reviews in tourism. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, *39*, 158–165. https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2019.04.001

**DOI:** 10.59254/sbpo-2024-193648
https://proceedings.science/p/193648?lang=pt-br

Saulick, P., Bokhoree, C., & Bekaroo, G. (2023). Business sustainability performance: A systematic literature review on assessment approaches, tools and techniques. *Journal of Cleaner Production*, *408*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136837

Soares, S. S. S., Souza, N. V. D. de O., Carvalho, E. C., Queiroz, A. B. A., da Costa, C. C. P., & Souto, J. da S. S. (2022). COVID-19 pandemic and nursing week: analysis from software Iramuteq. *Revista Brasileira de Enfermagem*, *75*. https://doi.org/10.1590/0034-7167-2020-0690

Sun, Q. (2017). Research on the influencing factors of reverse logistics carbon footprint under sustainable development. *Environmental Science and Pollution Research*, *24*(29), 22790–22798. https://doi.org/10.1007/s11356-016-8140-9

Tosarkani, B. M., Amin, S. H., & Zolfagharinia, H. (2020). A scenario-based robust possibilistic model for a multi-objective electronic reverse logistics network. *International Journal of Production Economics*, *224*. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107557

Tsao, Y. C., Nugraha Ridhwan Amir, E., Thanh, V. Van, & Dachyar, M. (2021). Designing an eco-efficient supply chain network considering carbon trade and trade-credit: A robust fuzzy optimization approach. *Computers and Industrial Engineering*, *160*. https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107595

Van Engeland, J., Beliën, J., De Boeck, L., & De Jaeger, S. (2020). Literature review: Strategic network optimization models in waste reverse supply chains. In *Omega (United Kingdom)* (Vol. 91). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.12.001

**DOI:** 10.59254/sbpo-2024-193648
https://proceedings.science/p/193648?lang=pt-br