

Integração dos Problemas de Localização de Instalações e de Roteamento de Veículos: Revisão Bibliométrica

Tarley Mansur Fantazzini (Universidade Federal do Paraná) tarley_mansur@hotmail.com
Maria Teresinha Arns Steiner (Universidade Federal do Paraná e Pontifícia Universidade Católica do Paraná)
tere@ufpr.br; maria.steiner@pucpr.br

Resumo:

Técnicas da Pesquisa Operacional vêm sendo utilizadas desde a segunda guerra mundial com foco em otimização nas mais diversas áreas. Métodos que auxiliam a definir a localização de instalações (facilidades) e de rotas a serem percorridas trazem cada vez mais benefícios em relação a custos e prazos. Neste sentido, este trabalho traz uma revisão bibliométrica da integração dos problemas de localização de instalações e de roteamento de veículos, buscando aplicações reais e métodos diferenciados de resolução dos referidos problemas, seja por meio de procedimentos exatos, heurísticos e/ou meta-heurísticos. A partir da formação da base de dados foi feita uma análise dos periódicos, número de citações, nacionalidade das pesquisas, número de pesquisas por ano, nuvem de palavras, tendências de palavras chave, linguagens de programação utilizadas e, por fim, uma análise sobre os procedimentos utilizados. Foi possível perceber um crescimento no número de publicações relacionado a este tema.

Palavras chave: Localização de Instalações, Problemas de Roteamento, Revisão Bibliométrica, Procedimentos Heurísticos.

Combining Facilities Location Problems and Vehicle Routing Problems: Bibliometric Review

Abstract:

Operational Research techniques have been used since World War II focusing on optimization in the most diverse areas. Methods that help define facilities location and routes to be traveled bring innumerable benefits in terms of costs and meeting deadlines. In this context, this work provides a bibliometric review on combining facilities location problems along with vehicle routing, providing the reader with real applications and differentiated methods of solving these problems through exact, heuristic and/or metaheuristic procedures. After establishing the database, we analyzed the journals, the number of citations, nationality surveys, the number of searches per year, the word cloud, keyword trends, programming languages used by authors and, finally, an analysis of procedures most used. It was possible to notice a growth in the number of publications related to this topic.

Key-words: Facilities Location, Routing Problem, Bibliometric Review, Heuristic Procedures.

1. Introdução

A melhoria dos procedimentos logísticos de empresas tem sido uma das principais áreas de interesse atualmente. A detecção de problemas logísticos, sejam internos ou externos às empresas, têm trazido consequências relacionadas ao seu reconhecimento junto ao mercado,

prejudicando assim a sua credibilidade. Estes problemas são, muitas vezes, sanados com um maior investimento de capital em contratações de funcionários extras, sendo que poderiam ser solucionados com um melhor planejamento. É neste contexto que os problemas de otimização de rotas, subsequentemente à otimização na localização de instalações, têm sido estudados.

A utilização do Problema de Localização de Facilidades (instalações; PLF) mais popular entre os pesquisadores é para definir a localização de novas facilidades, que atendam às restrições de demanda dos consumidores e também o limite de capacidade dos fornecedores, sem que estas restrições sejam violadas, com o objetivo de redução de custos totais (TANG et al., 2013).

Um Problema de Roteamento de Veículos (PRV) pode ser classificado como um PRV em nós ou em arcos, sendo que essa classificação depende do propósito do estudo. Se o foco deste estiver nos nós a serem transpassados, então tem-se um PRV em nós; caso esteja nos arcos, então será um PRV em arcos. Vale destacar que um PRV em arcos pode ser transformado em um PRV em nós e vice-versa (PEARNS et al., 1987).

A integração do PLF e do PRV pode trazer diversos benefícios e resultados otimizados. Algumas finalidades de aplicações desta integração de técnicas são para: determinar a localização de depósitos e definir rotas para descarte de resíduos perigosos (ARDJMAND et al., 2015); determinar quantidade e localizações de abrigos e suas devidas rotas para evacuações em situações de emergência (COUTINHO-RODRIGUES et al., 2012); determinar a localização de centro de distribuições e definir rotas para entregas de encomendas interestaduais (BAHRAMI et al., 2016).

O objetivo deste trabalho é realizar um levantamento bibliométrico a partir de 2010 até o presente momento sobre a integração do PLF e do PRV. Foram coletadas informações de aplicações reais destas técnicas em conjunto, que trouxeram resultados otimizados em diversos cenários e também foram consideradas pesquisas que apresentam aprimoramento e modificações destas técnicas de resolução de problemas testados em bases de dados já existentes, com a utilização de diferentes métodos heurísticos.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta um referencial teórico sobre o PLF e o PRV. Na seção 3 é explicada a metodologia da pesquisa. A análise dos dados é apresentada na seção 4, seguida das conclusões, discurridas na seção 5.

2. Referencial Teórico

Os problemas de Otimização em Redes (OR) são muito abrangentes, podendo se referir a problemas de transporte, designação de tarefas, localização de facilidades, redes elétricas, entre outros diversos problemas. (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

Segundo Bodin et al. (1983), a maioria dos PRVs pode ser traduzidos em problemas de redes, sendo que o tamanho do problema é medido em relação a quantidade de arcos e nós. Já a sua complexidade é dividida em três classes, polinomiais, não polinomiais e não polinomiais difíceis.

Os PLFs têm como objetivo a determinação do número de estabelecimentos a serem instalados e como melhor distribuí-los dentre as diversas alternativas disponíveis, tendo em vista que com uma melhor localização destas facilidades, haverá redução nos custos para a distribuição dos bens e serviços (BELFIORE; FÁVERO, 2013).

Estes PLFs envolvem tanto o setor privado quanto o público, com a determinação da localização de fábricas, centro de distribuições, postos de saúde, escolas, delegacias, entre outros (ARENALES et al., 2007).

ReVelle et al. (2008) apontam que o PLF é classificado com um problema de nível NP-hard, o que dificulta a sua resolução por métodos exatos. Portanto, a utilização de heurísticas para solucionar estes problemas é um recurso muito utilizado, sendo possível obter resultados próximos do ótimo em um menor período de tempo.

3. Metodologia

Neste trabalho foi conduzida uma revisão bibliométrica visando apontar os principais trabalhos, aplicações e tendências observados nos últimos nove anos (2010-2018) sobre o tema abordado.

A abordagem desta pesquisa pode ser classificada como qualitativa, pois envolve interpretação e análise para selecionar as pesquisas que melhor se adequam ao tema, de acordo com as percepções e delimitações definidas pelos autores. Complementarmente, esta pesquisa pode ser classificada, também, como quantitativa, por se tratar de uma pesquisa bibliométrica, que é o estudo dos aspectos quantitativos com o objetivo de gerar indicadores para aprimorar a gestão de informações (MACIAS-CHAPULA, 1998).

Em relação ao objetivo do estudo, possui características de uma pesquisa exploratória, pois o mesmo tem o propósito tornar o problema mais explícito, proporcionando uma maior familiaridade com a situação. Quanto ao procedimento da pesquisa, pode ser classificada como pesquisa bibliográfica, pelo fato de se basear em um levantamento de referências teóricas já avaliadas e publicadas (GIL, 2008).

3.1. Seleção de artigos

Com o objetivo de definir os termos da pesquisa realizada, foi considerada a seguinte questão: Como se encontra o cenário atual em relação as técnicas utilizadas para resolução de PLF e PRV?

Deparando-se com este questionamento, foi realizada uma pesquisa com a utilização dos termos: “*facility location problem*” e “*routing problem*”. Um estudo preliminar mostrou que haviam variações destes termos, como: *location routing problem*, portanto as aspas não foram utilizadas nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, mas se deu por necessária na base do *Science Direct*, devido ao grande número de artigos encontrados (acima de 20.000).

Um processo de filtragem de dados com alguns passos, apresentados na Figura 1, foi adotado para selecionar publicações relevantes ao tema, visando selecionar os artigos condizentes com a pesquisa.

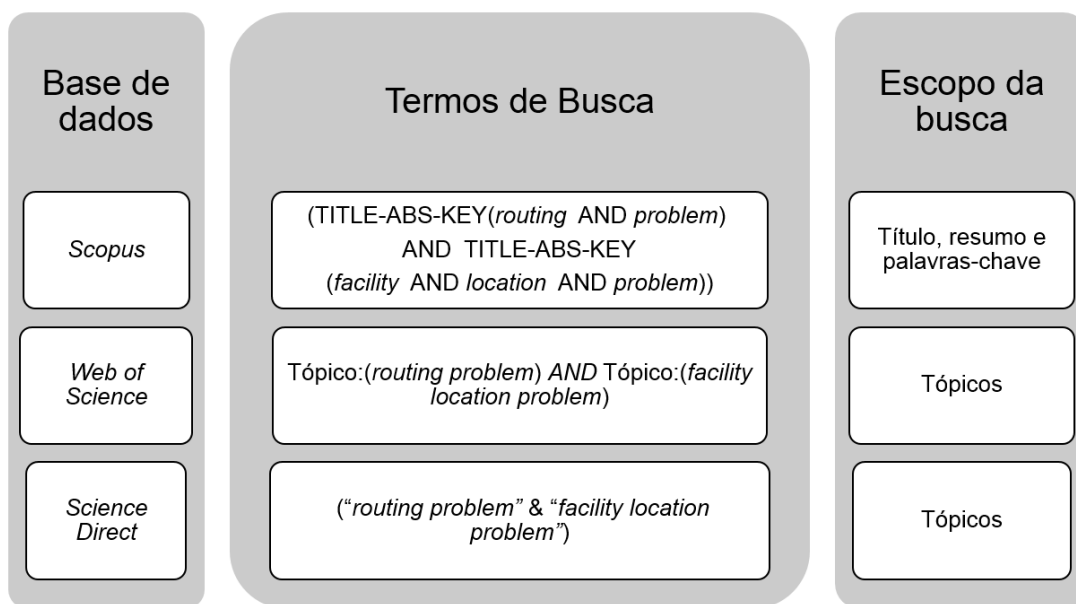


Figura 1 – Passos da filtragem de artigos (bases: scopus, web of science e science direct)

No passo 1 foi realizada uma pesquisa nas bases de dados. As palavras-chave citadas previamente (*Routing problem* & *Facility location problem*) foram utilizadas na busca de acordo com os parâmetros definidos na Figura 2. Foi gerado um total de 1.584 artigos.

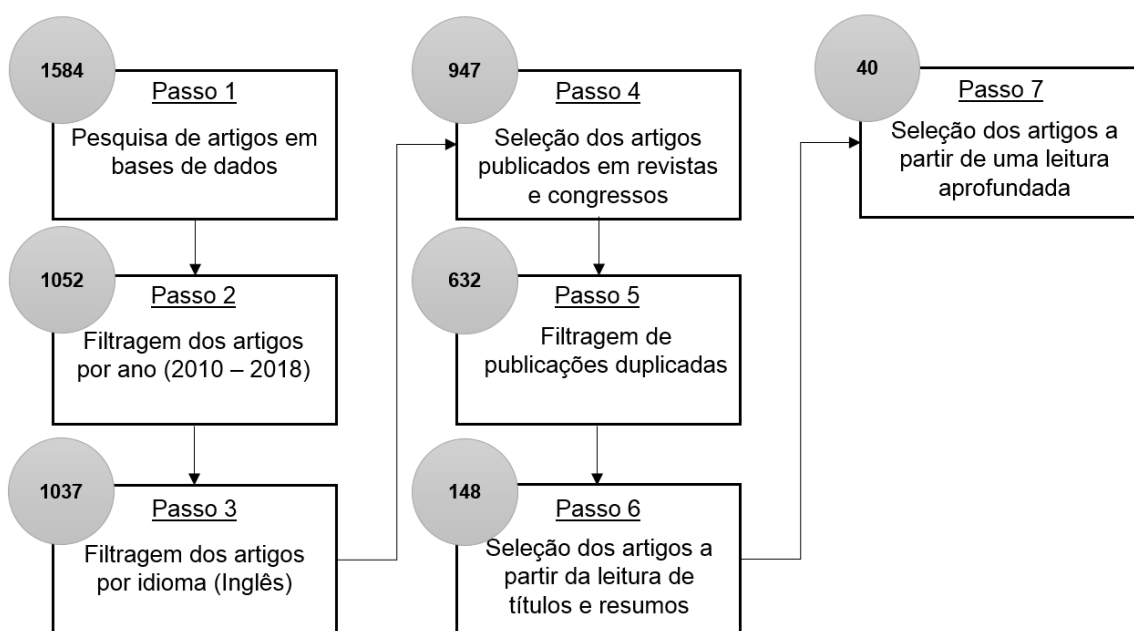


Figura 2 – Parâmetros de busca

No passo 2, para manter as bases de dados atualizadas, foram filtrados os artigos publicados entre os últimos anos (2010 - 2018), restando assim 1.052 publicações. No passo 3, foi realizada a exclusão dos artigos que não foram publicados em inglês, restando 1.037 publicações.

Em seguida, no passo 4, foram excluídos capítulos de livros e resumos publicados das bases de dados, restando 947 artigos publicados em revistas e eventos. Dando-se continuidade ao

processo de triagem, os artigos foram exportados para o *software EndNote*, para trabalharmos com todas as publicações selecionadas nas três bases de dados escolhidas. No passo 5, este *software* auxiliou a exclusão dos artigos duplicados, restando 632 publicações.

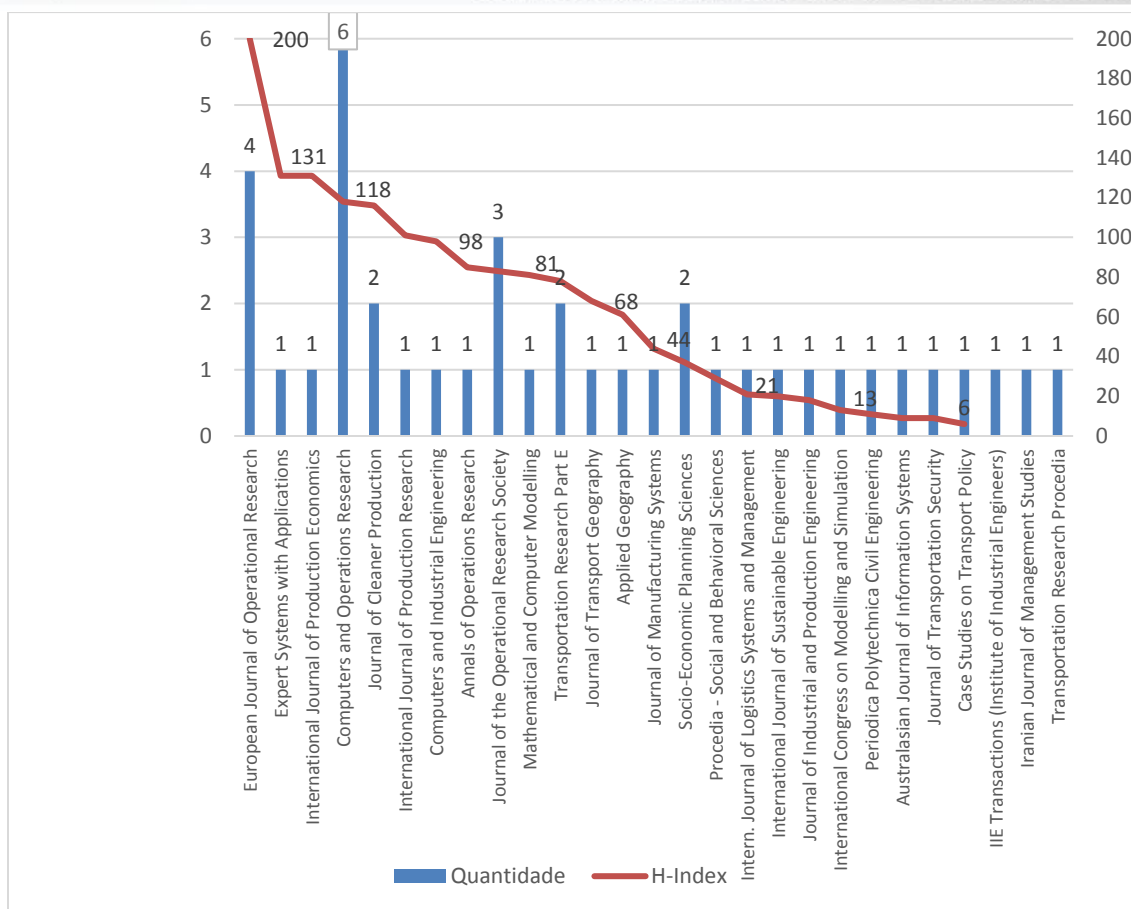
No passo 6 foi realizada a leitura dos títulos e resumos dos 632 artigos pré-selecionados, com uma visão focada para o presente trabalho. Portanto foram buscados trabalhos que trazem aplicações do PLF, envolvendo diferentes heurísticas para o auxílio da resolução deste problema, trabalhos que relacionavam o PLF com o PRV (nós e/ou arcos). Portanto, com essa análise de títulos e resumos, foram selecionados 148 artigos.

Por fim, no passo 7, foi realizada uma leitura mais aprofundada destes artigos. Foram excluídos os artigos que não traziam aplicações ou validações numéricas de modelos para a resolução dos problemas propostos e, também, artigos cujo foco principal não era a resolução de PRV e/ou de PLF, resultando em uma base de dados contendo 40 artigos.

Após a seleção da base de dados, foi possível realizar uma análise bibliométrica sobre a mesma, que ficou dividida em sete etapas: 1) foi realizada uma análise das revistas científicas dos artigos que compõem a base de dados; 2) foi realizada uma análise do número de citações das publicações; 3) foi realizado um levantamento das localizações onde as pesquisas foram desenvolvidas; 4) foi feita uma análise da quantidade de artigos publicados em cada ano; 5) foi verificada a tendência de palavras utilizadas nos artigos e, para isso, foi feita uma nuvem de palavras e um gráfico de tendências de palavras-chave; 6) foi feita uma análise dos *softwares* e linguagens de programação mais utilizados pelos autores; 7) por fim, foi realizada uma análise dos procedimentos/técnicas mais utilizados para a resolução dos problemas propostos.

4. Análise Bibliométrica

No Gráfico 1 é possível verificar os periódicos que apresentam a maior quantidade de publicações sobre o tema da pesquisa, assim como seu *h-index*. Este é um índice proposto por Hirsch (2005), que aponta o número de artigos (*h*) que contêm uma quantidade de citações maior ou igual a *h*. Os índices *h-index* apresentados no gráfico 2.1 foram consultados no site da *Scimago Journal & Country Rank*.



Fonte: Os autores (2018)

Gráfico 1 – Análise das revistas científicas (quantidade e h-index)

As revistas científicas que foram mais utilizadas pelos autores são a *Computers and Operations Research* com 6 artigos publicados, representando 15% das publicações, seguida pela *European Journal of Operational Research*, com 4 artigos (10% das publicações). Quanto ao h-index, foi possível verificar que os maiores valores pertencem às revistas *European Journal of Operational Research* (200) e *Expert Systems with Applications* (131).

Dentre os artigos da base de dados, foi possível identificar os mais relevantes, considerando o número de citações. Na Tabela 1 encontram-se os 10 artigos mais citados nas bases *Web of Science* e *Scopus*.

Autores/ano	Título	Journal	Web of Science	Scopus
Belenguer et al. (2011)	A Branch-and-Cut method for the Capacitated Location-Routing Problem	Computers and Operations Research	79	100
Coutinho-Rodrigues et al. (2012)	Solving a location-routing problem with a multiobjective approach: The design of urban evacuation plans	Journal of Transport Geography	30	36

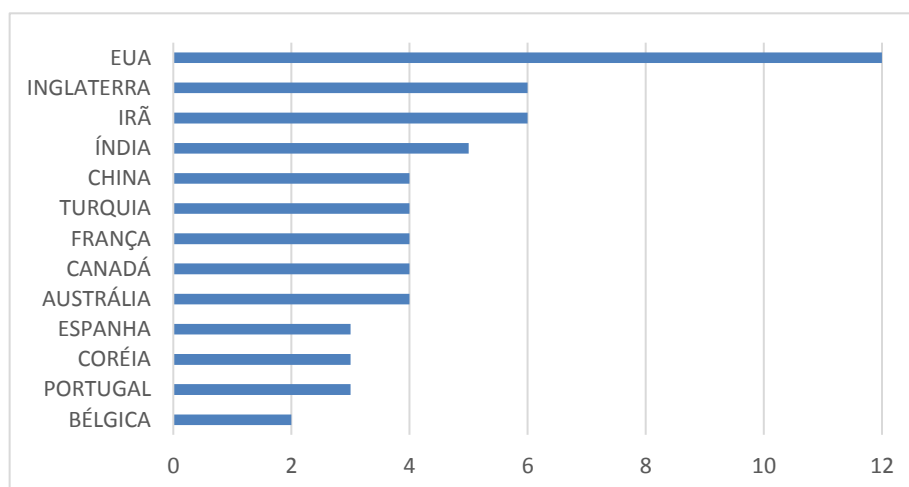
Ghaderi; Jabalameli (2013)	Modeling the budget-constrained dynamic uncapacitated facility location – network design problem and solving it via two efficient heuristics: A case study of health care	Mathematical and Computer Modelling	27	32
Kılıcı et al. (2015)	Locating temporary shelter areas after an earthquake: A case for Turkey	European Journal of Operational Research	25	30
Ahmadi et al. (2015)	A humanitarian logistics model for disaster relief operation considering network failure and standard relief time: A case study on San Francisco district	Transportation Research Part E	17	19
Dantrakul et al. (2014)	Applied p-median and p-center algorithms for facility location problems	Expert systems with applications	13	18
Ardjmand et al. (2015)	Applying genetic algorithm to a new location and routing model of hazardous materials	International Journal of Production Research	13	16
Mar-Ortiz et al. (2011)	Design of a recovery network for WEEE collection: the case of Galicia, Spain	Journal of the Operational Research Society	12	11
Zhao; Verter (2015)	A bi-objective model for the used oil location-routing problem	Computers and Operations Research	10	16
Hiassat et al. (2017)	A genetic algorithm approach for location-inventory-routing problem with perishable products	Journal of Manufacturing Systems	7	9

Fonte: Os autores (2018)

Tabela 1 – Análise das citações (bases: *web of science* e *scopus*)

É possível verificar a partir da Tabela 1 que os trabalhos de Belenguer et al. (2011) e Coutinho-Rodrigues et al. (2012) foram os mais citados em ambas as bases de dados. O primeiro trata de uma proposta de criação de um método exato, baseado no algoritmo *branch-and-cut*, para a resolução de PLF, sendo que foram considerados dados fictícios para a validação do modelo desenvolvido e, além disso, restrições de capacidade para depósitos e veículos. Este trabalho teve 79 menções no *Web of Science* e 100 no *Scopus*. Já o segundo artigo é voltado para solucionar um PLF de abrigos em situações de emergência, determinando também, as devidas rotas de evacuação; neste trabalho foi realizado um estudo de caso com aplicação na cidade de Coimbra, em Portugal. Este trabalho, por sua vez, teve 30 menções no *Web of Science* e 36 no *Scopus*. Da mesma forma tem-se a interpretação dos demais dados da Tabela 2.2.

A distribuição geográfica das pesquisas de compõem a base de dados pode ser vista no Gráfico 2. Nesta análise foram consideradas as localizações dos devidos centros de pesquisas de cada trabalho, e no caso de produções de caráter internacional, todas as nacionalidades foram incluídas.

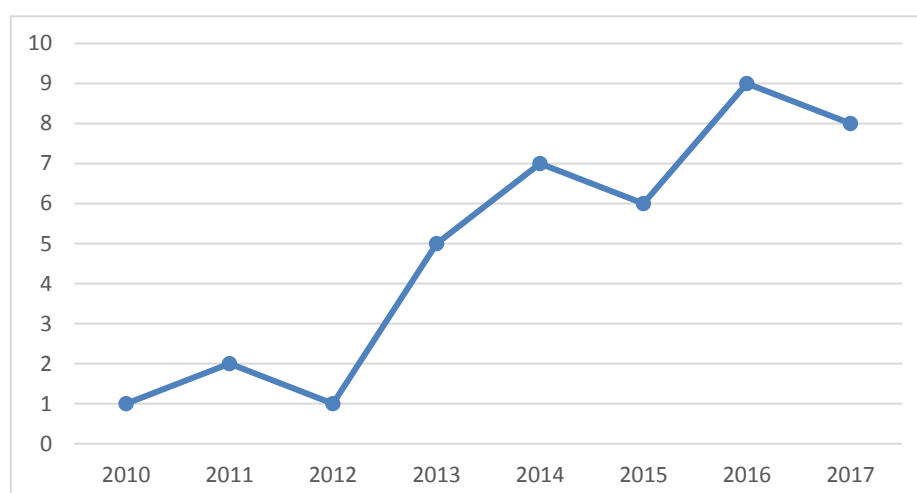


Fonte: Os autores (2018)

Gráfico 2 – Nacionalidade das pesquisas

A liderança, com 12 pesquisas oriundas de sua nação, é dos EUA, seguido pela Inglaterra e pelo Irã, com seis pesquisas cada. É interessante mencionar que os dois trabalhos com o maior número de citações registradas nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, mencionados na Tabela 1, são de trabalhos realizados pela Espanha, França e Portugal, que apresentam uma quantidade menor de pesquisas na área.

O Gráfico 3 mostra que houve um crescimento em relação a quantidade de publicações sobre a combinação do PLF com PRV. Em 2016 foi o ápice do número de artigos publicados, representando 22,5% do total de publicações. O ano de 2018 apresentou 1 artigo e não foi considerado no gráfico por ser o ano corrente do presente trabalho.



Fonte: Os autores (2018)

Gráfico 3 – Número de publicações por ano (PLF e PRV)

A verificação das palavras mais utilizadas em pesquisas reforça tendências dos autores em relação ao tema abordado. A Figura 3 apresenta uma nuvem de palavras, que segundo Lunardi et al. (2008), é uma forma de visualizar dados linguísticos e tem como objetivo codificar padrões com a utilização de propriedades gráficas. Para a elaboração da nuvem de palavras

Para ampliar a busca sobre as palavras mais tendenciosas, utilizadas pelos autores, também foi realizada uma análise das palavras-chave mais recorrentes, apresentada no Gráfico 4.

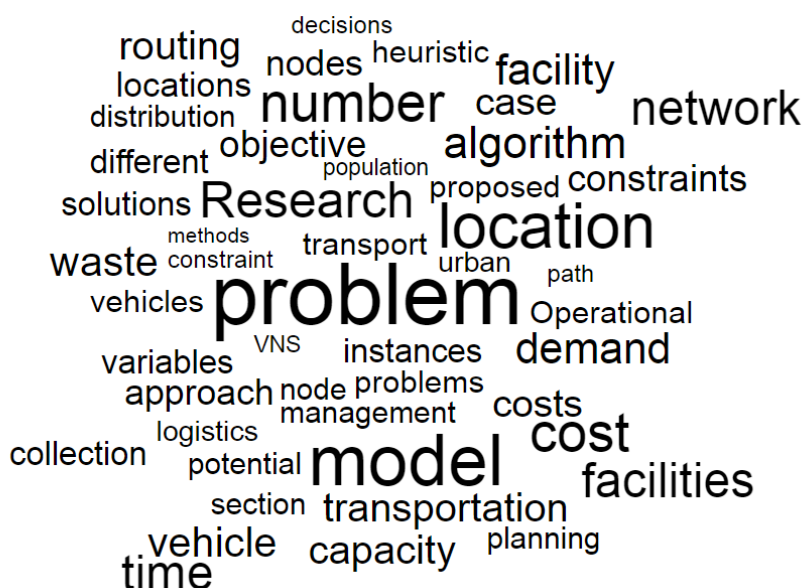
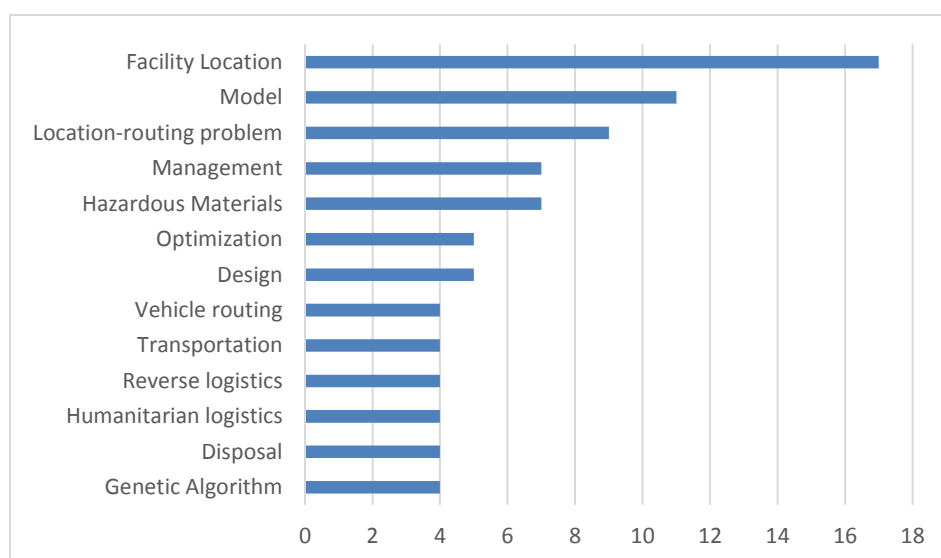


Imagem 3 – Nuvem de palavras

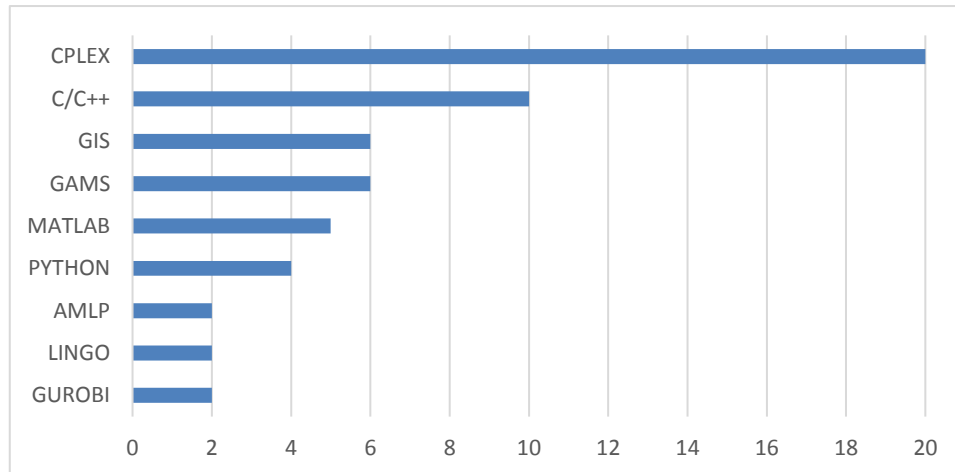


Fonte: Os autores (2018)

Gráfico 4 – Têndencias de palavras-chave

Percebe-se que há uma conexão nos padrões utilizados pelos autores mediante comparação das palavras resultantes da nuvem de palavras com o gráfico de palavras-chave. As palavras *location*, *facility/facilities*, *model*, *problem* e *route/routing* se destacam em ambas as análises.

As publicações resultantes desta pesquisa apresentam uma aplicação prática ou validação de uma modelagem matemática em dados fictícios. Portanto todos estes autores utilizaram *softwares* e linguagens de programação para alcançar resultados. O Gráfico 5 traz o levantamento destes *softwares* e linguagens de programação mais utilizados.

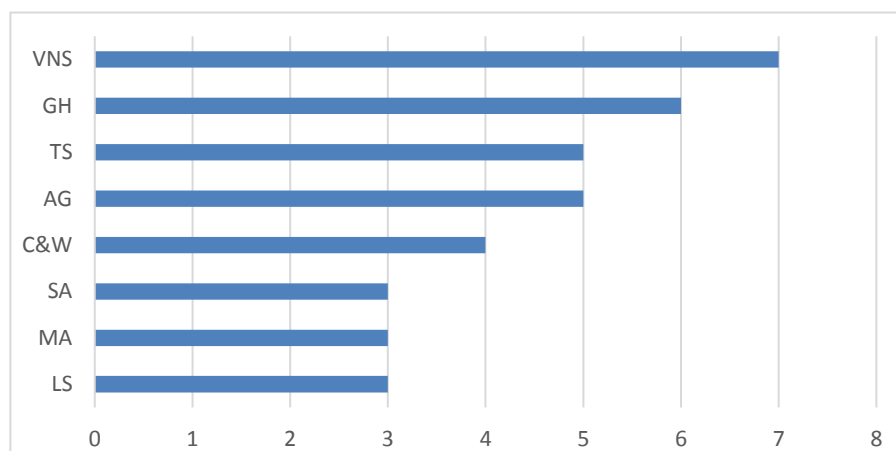


Fonte: Os autores (2018)

Gráfico 5 – *Softwares* e linguagens de programação mais utilizados pelos autores

O CPLEX foi o *software* mais utilizado pelos autores, já que 50% dos trabalhos mencionam a sua utilização. Apesar de ser um *software* pago, o CPLEX permite ser utilizado em diferentes linguagens de programação. O C/C++ foi o segundo mais utilizado, e em metade de suas utilizações houve uma combinação com o CPLEX. Alguns outros *softwares*, não mencionados no Gráfico 5, também foram utilizados, porém com uma frequência abaixo de 2 utilizações.

Muitos dos autores mencionam a utilização de um ou mais procedimentos (exatos, heurísticos e meta-heurísticos) para a resolução do PLF e PRV. Portanto foi construído um gráfico (Gráfico 6) apontando os procedimentos mais utilizados pelos autores.



Fonte: Os autores (2018)

Legenda: VNS (Variable Neighborhood Search); GH (Greedy Heuristics); TS (Tabu Search); GA (Genetic Algorithm); C&W (Algoritmo de Clarke & Wright); SA (Simulated Annealing); MA (Memetic Algorithm); LS (Local Search).

Gráfico 6 – Procedimentos mais utilizados pelos autores

Como pode ser observado no Gráfico 6, os procedimentos mais populares entre os autores para a resolução de PLF e de PRV são a *variable neighborhood search* e *greedy heuristics*. Em muitos dos trabalhos são utilizadas combinações de diferentes procedimentos e também algumas modificações para melhor adaptar-se à resolução do problema em questão.

5. Conclusão

Com uma crescente demanda de produtos e alto nível de competição entre as empresas, há uma necessidade de melhora na logística, que se reflete tanto no custo do produto, quanto no prazo de entrega do mesmo. As empresas que não buscarem uma constante melhora neste setor, não se destacarão no mercado competitivo atual.

O presente estudo buscou tendências nas publicações que integrem técnicas para a resolução do PLF juntamente com o PRV para solucionar problemas reais. Através desta análise foi possível verificar que esta metodologia integrada é eficiente na resolução de diversos problemas em diferentes cenários.

Através da revisão bibliométrica, foi possível verificar um aumento no número de publicações nos últimos anos. Considerando as fontes das publicações, é possível destacar o periódico *Computers and Operations Research*, que possui um grande reconhecimento, com *h-index* de 118, e por ter a maior parte das citações realizadas sobre os temas abordados.

Como a maioria dos problemas tratados pelos autores são classificados como *NP-hard* foram utilizados diferentes procedimentos (exatos, heurísticos e meta-heurísticos) para auxiliar na resolução dos problemas, e foi possível verificar que não há um consenso para definir os melhores procedimentos a serem utilizadas para obtenção de soluções otimizadas.

Como proposta para trabalhos futuros, seria interessante a utilização de diferentes procedimentos para a comparação de resultados com aplicações em problemas reais, uma vez que este tipo de publicação é bastante escassa.

Referências

- AHMADI, M.; SEIFI, A.; TOOTOONI, B. *A humanitarian logistics model for disaster relief operation considering network failure and standard relief time : A case study on San Francisco district*. Transportation Research Part E, v. 75, p. 145–163, 2015. Elsevier Ltd.
- ARDJMAND, E.; WECKMAN, G.; PARK, N.; TAHERKHANI, P.; SINGH, M. *Applying genetic algorithm to a new location and routing model of hazardous materials*. International Journal of Production Research, v. 53, n. 3, p. 916–928, 2015.
- ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. *Pesquisa Operacional para Cursos de Engenharia*. 2007.
- BAHRAMI, F.; SAFARI, H.; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R.; YAZDI, M. M. *On modeling door-to-door parcel delivery services in Iran*. Iranian Journal of Management Studies, v. 9, n. 4, p. 883–906, 2016.
- BELONGUER, J. M.; BENAVENT, E.; PRINS, C.; PRODHON, C.; CALVO, R. W. *A Branch-and-Cut method for the Capacitated Location-Routing Problem*. Computers and Operations Research, v. 38, n. 6, p. 931–941, 2011.
- BELFIORE, P.; FÁVERO, L. P. *Pesquisa Operacional: para Cursos de Engenharia*. Rio de Janeiro: Elsevier Ltd, 2013.
- BODIN, L.; ASSAD, B. L.; BALL, A. *Routing and scheduling of vehicles and crews. The state of the art*. Computers and Operations Research, v. 10, n. 2, p. 211, 1983.

COUTINHO-RODRIGUES, J.; TRALHÃO, L.; ALÇADA-ALMEIDA, L. Solving a location-routing problem with a multiobjective approach: The design of urban evacuation plans. *Journal of Transport Geography*, v. 22, p. 206–218, 2012.

DANTRAKUL, S.; LIKASIRI, C.; PONGVUTHITHUM, R. Applied p -median and p -center algorithms for facility location problems. *Expert systems with applications*, v. 41, n. 8, p. 3596–3604, 2014. Elsevier Ltd.

GHADERI, A.; JABALAMELI, M. S. Modeling the budget-constrained dynamic uncapacitated facility location – network design problem and solving it via two efficient heuristics : A case study of health care. *Mathematical and Computer Modelling*, v. 57, n. 3–4, p. 382–400, 2013. Elsevier Ltd.

GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6º ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HIASSAT, A.; DIABAT, A.; RAHWAN, I. A genetic algorithm approach for location-inventory-routing problem with perishable products. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 42, p. 93–103, 2017. The Society of Manufacturing Engineers.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. *Introdução a pesquisa operacional*. 8º ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

HIRSCH, J. E. An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 102, n. 46, p. 16569–16572, 2005.

KILCI, F.; KARA, B. Y.; BOZKAYA, B. Locating temporary shelter areas after an earthquake : A case for Turkey. *European Journal of Operational Research*, v. 243, p. 323–332, 2015.

LUNARDI, S.; CASTRO, J. M. F.; MONAT, S. Visualização dos resultados do Yahoo em nuvens de texto : uma aplicação construída a partir de web services. *Revista Brasileira de Design da Informação*, v. 1, n. 5, p. 21–35, 2008.

MACIAS-CHAPULA, C. A. O papel da informetria e da cienciometria e sua perspectiva nacional e. , p. 134–140, 1998.

MAR-ORTIZ, J.; ADENSO-DIAZ, B.; GONZÁLEZ-VELARDE, J. Design of a recovery network for WEEE collection : the case of Galicia , Spain. *Journal of the Operational Research Society*, v. 62, p. 1471–1484, 2011.

PEARN, W. L.; ASSAD, A.; GOLDEN, B. L. Transforming arc routing into node routing problems. *Computers and Operations Research*, v. 14, n. 4, p. 285–288, 1987.

REVELLE, C. S.; EISELT, H. A.; DASKIN, M. S. A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science. *European Journal of Operational Research*, v. 184, n. 3, p. 817–848, 2008.

TANG, L.; JIANG, W.; SAHARIDIS, G. K. D. An improved Benders decomposition algorithm for the logistics facility location problem with capacity expansions. *Annals of Operations Research*, v. 210, n. 1, p. 165–190, 2013.

ZHAO, J.; VERTER, V. A bi-objective model for the used oil location-routing problem. *Computers and Operations Research*, v. 62, p. 157–168, 2015. Elsevier.