

Problema de Localização de Facilidades (PLF) e Problema do Caixeiro Viajante (PCV) para a otimização do roteamento de veículos: uma revisão bibliométrica e sistemática da literatura

Aline Scaburi, Júlio César Ferreira, Maria Teresinha Arns Steiner

Resumo: Este artigo apresenta uma visão geral acerca dos métodos recentemente empregados para resolução do Problema de Localização de Facilidades (PLF) e do Problema do Caixeiro Viajante (PCV) por meio da condução de uma revisão sistemática de literatura. A base de artigos para condução do estudo foi obtida mediante consulta as bases de dados *Scopus*, *Web of Science* e *Science Direct* e seu tratamento realizado por meio dos *softwares* Microsoft Excel, BibTex e Mendeley. Através do uso das palavras-chave “*traveling salesman problem*” e “*facility location problem*” interligados pelo conector “*or*”, além de outros critérios de filtragem aplicados durante a consulta, a amostra foi delimitada contendo 131 artigos publicados. Os resultados mostram as principais tendências no referido *corpus* da literatura além de apresentar sucintamente dados bibliométricos relativos à quantidade de artigos publicados por ano; principais periódicos e seus respectivos H-index; artigos mais citados da amostra; métodos de resolução mais utilizados; *softwares* e linguagem de programação mais utilizadas. É possível apontar que tanto o PLF quanto PCV vêm sendo amplamente estudados nos últimos anos, sendo uma área de oportunidade de desenvolvimento de pesquisas. Adicionalmente, diversas são as técnicas empregadas de maneira igualmente satisfatória para resolução dos mesmos.

Palavras chave: Revisão Sistemática de Literatura, Problema de Localização de Facilidades (PLF), Problema do Caixeiro Viajante (PCV), Otimização.

Facility Location Problem (FLP) and Traveling Salesman Problem (TSP) for vehicle routing: a systematic literature review

Abstract: This paper presents an overview of the recent methods employed for solving the Facility Location Problem (FLP) and the Traveling Salesman Problem (TSP) by conducting a systematic literature review. The database for conducting the study was obtained by consulting the Scopus, Web of Science and Science Direct databases and the data treatment was made using Microsoft Excel, BibTex and Mendeley software. Through the use of the keywords “*traveling salesman problem*” and “*facility location problem*” interconnected by the “*or*” connector, as well as other filtering criteria applied during the query, the sample was delimited containing 131 published articles. The results show the main trends in the refereed corpus of the literature and present succinctly bibliometric information about the number of articles published per year; main journals and their respective H-index; most cited articles in the sample; commonly used resolution methods; most commonly used software and programming language. It is possible to point out that both the FLP and TSP have been widely studied in the last years, being a research area with development opportunities. Also, several techniques are equally satisfactorily employed to solve them.

Key-words: Systematic Literature Review, Facility Location Problem (FLP), Traveling Salesman Problem (TSP), Optimization.

1. Introdução

Diversas técnicas de Pesquisa Operacional (PO) têm sido aplicadas com sucesso para a

otimização de recursos em diversos segmentos industriais e comerciais de várias áreas de negócios como, por exemplo, estratégia, marketing, finanças, microeconomia, operações e logística, recursos humanos, entre outras. Uma vez que problemas de transporte e logística são de extrema importância econômica para companhias e organizações visto os grandes custos envolvidos nas operações, a PO tem-se mostrado por meio do uso de modelos matemáticos e algoritmos, uma grande aliada no processo de tomada de decisões (BELFIORE & FÁVERO, 2013)

A resolução de Problemas de Roteamento de Veículos Capacitado (PRVC) em duas etapas (1) agrupamento em função demanda e conseguinte (2) roteamento de cada um dos grupos, é uma das diferentes abordagens da PO para otimização desta classe de problemas (LAPORTE, 2009). Diante do exposto, faz-se relevante uma investigação acerca das pesquisas já desenvolvidas sobre o tema uma vez que este é o passo inicial para utilizar o conhecimento já existente na resolução de situações reais bem como pode auxiliar na identificação de lacunas no desenvolvimento dos estudos desta área da PO.

Uma revisão da literatura é a forma pelo qual os pesquisadores buscam e identificam o conhecimento científico já estabelecido em uma determinada área de pesquisa visando evitar redundâncias com o conhecimento já existente e repetição de erros. A revisão tradicional (dita também narrativa) da literatura é um processo criativo pelo qual o pesquisador identifica e examina pesquisas anteriores e desenvolve a compreensão de um fenômeno e durante este processo constrói o corpo de conhecimento relevante ao assunto. Entretanto, uma revisão conduzida sem um protocolo pré-estabelecido pode ser dirigida pelo interesse pessoal dos pesquisadores, o que pode levar a resultados pouco confiáveis e não repetíveis (BOEL & CECEZ-KECMANOVIC, 2015).

Por outro lado, pode-se conduzir uma revisão sistemática de literatura. Uma revisão sistemática é uma maneira de identificar, avaliar, analisar, interpretar e documentar toda pesquisa disponível e relevante de uma determinada área. O objetivo é que os procedimentos seguidos na execução da revisão sejam tão objetivos, analíticos e repetíveis quanto possível, proporcionando a repetibilidade do estudo, selecionando a mesma entrada e levando as mesmas conclusões (BUDGEN et al., 2016).

O objetivo geral deste trabalho é identificar por meio de uma revisão sistemática de literatura quais são as principais técnicas aplicadas nos últimos 10 anos para a resolução do PLF e ou do PCV mostrando se há integração destas técnicas para resolução de casos reais. Adicionalmente, realizar uma análise quantitativa em relação ao número de publicações e citações do assunto neste período.

Para tanto, o presente trabalho, iniciando por esta introdução, está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta um referencial teórico sobre o PLF e o PCV. Na seção 3 é apresentada a metodologia da pesquisa de revisão sistemática de literatura. A análise dos dados obtidos é apresentada na seção 4, seguida das conclusões na seção 5.

2. Referencial Teórico

Visando possibilitar um melhor entendimento sobre o PLF e PCV, apresenta-se como embasamento da literatura os modelos matemáticos de Programação Linear Inteira Binária (PLIB) utilizados para sua resolução de maneira exata.

2.1 Problema de Localização de facilidades (PLF)

O PLF também conhecido como problema das p -medianas, busca localizar em uma rede p nós (denominados medianas), de forma a minimizar a soma das distâncias de cada nó de demanda até sua mediana mais próxima. O modelo matemático PLIB, de acordo com a formulação proposta por Senne e Lorena (2003) é apresentado de (1) a (6).

$$Fun. Obj. = Min z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_j d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad \text{para } j = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ii} = p \quad (3)$$

$$x_{ij} \leq x_{ii}, \quad \text{para } i, j \text{ de } 1, \dots, n \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} d_j \leq x_{ii} c_i, \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$x_{ij} = 1 \text{ ou } 0 \quad (6)$$

Sendo x_{ij} uma variável binária, com $x_{ij} = 1$ se o nó j está alocado à mediana i ou $x_{ij} = 0$ caso não esteja; $x_{ii} = 1$ se o nó i é uma mediana e $x_{ii} = 0$ caso contrário; e n vértices que representam os pontos de demanda, p sendo o número de medianas a serem localizadas; $[d_{ij}]$ é a matriz de distâncias ponderadas (distâncias com cada coluna j multiplicada pelo peso de w_j) com $d_{ii} = 0$, para todo i .

A função objetivo em (1) busca minimizar a soma das distâncias de cada vértice j até a mediana mais próxima. As restrições em (2) impõem que todo vértice j seja alocado a um único vértice-mediana i . Em (3) tem-se a definição do número de medianas (p) a serem encontradas. As restrições em (4) garantem que as alocações só podem ser feitas a vértices-medianas. As restrições em (5) consideram as demandas d_j e as capacidades c_i . Em (6) tem-se o domínio das variáveis que devem ser binárias.

Problema do Caixeiro Viajante (PCV)

O PCV, que consiste em definir o trajeto de um vendedor que deve visitar certo número de cidades e retornar à cidade de partida, com o objetivo de minimizar a distância total percorrida, foi introduzido em 1954 por Dantzig (DANTZIG et al., 1954).

Pode-se abordar o PCV como um problema de otimização associado a determinação dos caminhos hamiltonianos em um grafo qualquer. Sendo $G = (N, A)$ um grafo não orientado em que N é o conjunto de n cidades (nós) e A é o conjunto de arcos entre as cidades representando as distâncias, tempo ou custo de deslocamento entre elas. Assim, o objetivo do PCV é encontrar, no grafo $G(N, A)$, o caminho hamiltoniano de menor custo que inicia em uma determinada cidade, visita todos os nós uma única vez, e retorna à cidade de origem (Belfiore & Fávero, 2013).

Apresenta-se de (7) a (11) a formulação do PCV como um modelo de PLIB de acordo com Dantzig et al., (1954).

$$Fun. \text{ obj} = \min z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (7)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j \in N \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N \quad (9)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \quad \forall (S \subset N) \quad (10)$$

$$x_{ij} \in \{1,0\} \quad \forall i,j \in N \quad (11)$$

Sendo x_{ij} a variável de decisão binária do problema, onde $x_{ij} = 1$ se o caixeiro viajante vai diretamente do nó (cidade) i para o nó (cidade) j e $x_{ij} = 0$ caso contrário, com $i \neq j$.

A função objetivo (7) visa minimizar o custo total do trajeto percorrido. As restrições (8) e (9) garantem que cada nó (cidade) seja visitado uma única vez. A restrição (10) é adicionada para que se evitem os subgrafos, onde S representa um subgrafo de G , em que $|S|$ representa o número de vértices desse subgrafo. A expressão S contida em N representa que uma restrição deve ser formada para cada subconjunto possível de N . Por fim, em (11) tem-se o domínio das variáveis que devem ser binárias.

3. Metodologia

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram realizadas buscas em três bases de dados: *Scopus*, *ScienceDirect* e *Web of Science*. Em todos os casos foi utilizado o seguinte conjunto de palavras-chave com os operadores lógicos: “*traveling salesman problem*” (TSP) OR “*facility location problem*” (FLP). Para busca nas bases optou-se por utilizar os termos em inglês, visto que a maior parte das publicações relevantes da área estão neste idioma. Como conector de pesquisa, utilizou-se o termo “OR” para que caso um trabalho trate exclusivamente de um dos dois temas seja mantido na base de artigos. Os termos foram pesquisados nos seguintes campos: título, resumo e palavras chaves.

A composição da base de artigos para análise se deu de acordo com as etapas do fluxograma apresentado na Figura 1. O primeiro filtro empregado foi referente ao período de abrangência da busca, sendo consideradas apenas publicações do período de 2007 a 2018, totalizando nas três bases 13.682 artigos. Em seguida, definiu-se como filtro o tipo de documento sendo considerados apenas artigos para compor a base, assim a mesma passou a contar com 7.647 resultados. Um terceiro filtro foi adicionado em relação a disponibilidade na íntegra do conteúdo do documento, totalizando assim 1.163 documentos na base.

Após esta filtragem inicial, realizou-se a exclusão de arquivos duplicados que constassem em

mais de uma das bases consultadas. Os documentos das três bases, foram baixados na extensão de arquivos do tipo *BibTex* e carregados no *software* de gerenciamento de referências Mendeley, onde a etapa de exclusão de artigos repetidos foi realizada. Após a exclusão de arquivos idênticos levantados nas três bases, obteve-se um volume de artigos de 643 documentos.

O próximo passo foi a leitura dos títulos e resumos para que os documentos mantidos no conjunto de artigos fossem direcionados ao tema desta pesquisa. Neste momento os trabalhos que foram excluídos da base referem-se a trabalhos publicados em outros campos de pesquisa como biologia, ótica e física, onde outras teorias que não matemáticas ou de otimização foram elencadas na resolução de PCV e/ou PLF, energias renováveis e outros casos onde apenas referenciava-se os termos buscados inicialmente. Assim, após esta primeira análise por títulos e resumos, chegou-se a um montante de 187 resultados.

Como passo seguinte, foi realizada uma leitura mais aprofundada dos trabalhos selecionados na etapa anterior a fim de garantir que a amostra estivesse totalmente relacionada com o tema da pesquisa. Assim, neste passo mais alguns trabalhos foram excluídos da amostra, sendo que ressaltam-se como motivos para esta exclusão: trabalhos que continham melhorias em algoritmos sem sua completa explicação somente demonstrando testes realizados em PCV e/ou PLF; trabalhos focados em *Planning and Scheduling Problems*, *Inventory Routing Problems*, *Task Allocations* que continham apenas etapas ou menções ao PCV e/ou PLF.

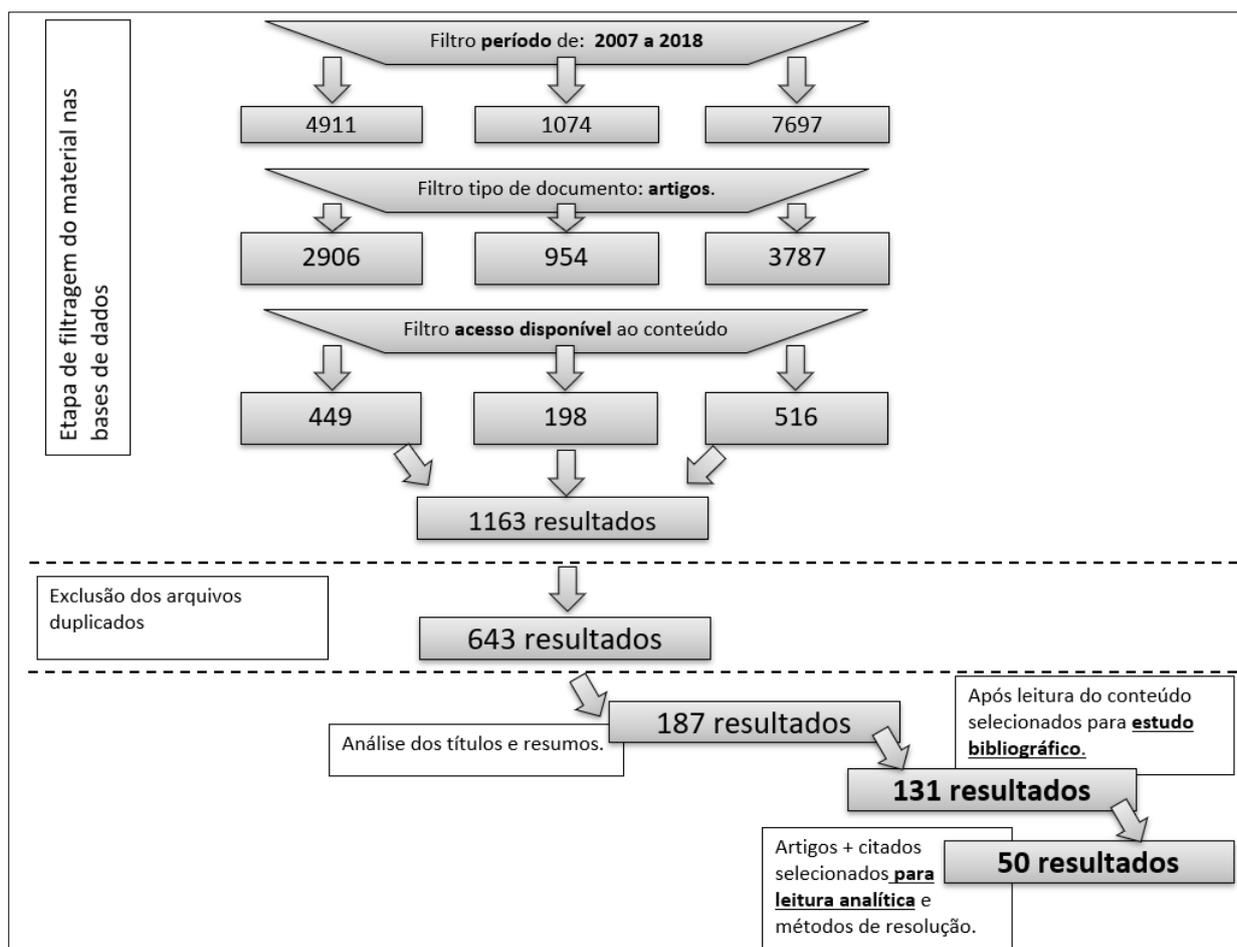


Figura 1 – Metodologia utilizada para a filtragem dos artigos

Após a seleção do conjunto de artigos com 131 documentos realizou-se uma análise bibliométrica em relação à amostra. A análise bibliométrica foi dividida em 3 etapas a fim de obter-se informações relevantes sobre o conjunto de artigos: 1) quantidade de trabalhos publicados por ano; 2) análise dos periódicos onde os artigos foram publicados; 3) Países que mais publicaram sobre o assunto e 4) análise da quantidade de citações dos documentos. Resultados são mostrados na seção 4.1 Análise Bibliométrica.

A análise sistemática proposta como última etapa da revisão, foi realizada no conjunto de 50 artigos mais relevantes da amostra (em relação às citações médias recebidas por tempo de circulação) e teve como etapas realizadas: 5) análise do método utilizado para a resolução dos problemas; 6) uma análise dos *softwares* e linguagens de programação mais utilizados pelos autores. Resultados são mostrados na seção 4.2 Análise Sistemática.

4. Análise dos Resultados

Nesta seção apresentam-se os resultados obtidos em relação as análises bibliométricas e sistemáticas efetuadas.

4.1 Análise Bibliométrica

Em relação à quantidade de trabalhos publicados por ano, foi possível elaborar a Figura 2 que mostra a tendência de aumento de publicações dos dois temas relevantes a esta pesquisa nos últimos anos. Apesar do PLF e o PCV serem problemas amplamente já estudados, percebe-se um aumento significativo nos últimos anos na quantidade de trabalhos publicados na área, ressaltando-se um montante expressivo no ano de 2018 em relação aos demais. Cabe também relatar que na base de artigos não foi identificado nenhum trabalho publicado no ano de 2009.

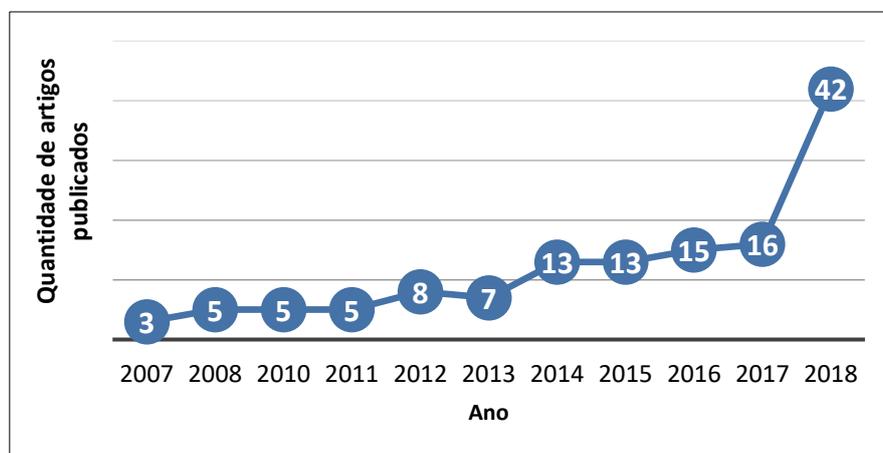


Figura 2 - Distribuição ao longo os anos dos artigos da amostra

Também foi realizada uma análise quanto aos periódicos onde os artigos foram publicados. Na Figura 3, são apresentados os 10 periódicos onde se concentram o maior número de trabalhos. São apresentadas as quantidades de artigos por periódico bem como seu H-index. Este índice foi consultado individualmente no site Scimago Journal & Country Rank (JCR). O JCR oferece uma perspectiva para avaliação e comparação de periódicos por meio da acumulação e tabulação de contagens de citações por meio do H-index. O H-index, definido por Hirsch (2005), é calculado pela relação do número de trabalhos publicados e suas citações, representa o número de artigos (*h*) que contêm uma quantidade de citações maior ou igual a *h*.

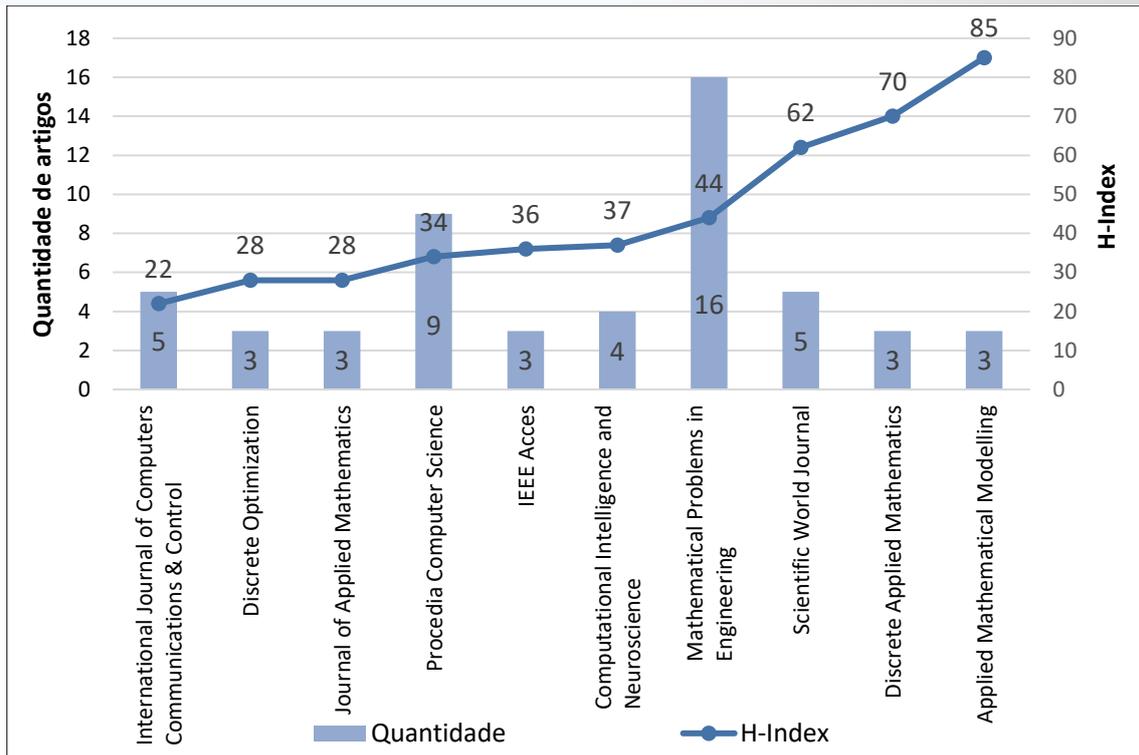


Figura 3 - Análise dos 10 principais periódicos

Em relação à localização geográfica dos referidos centros de pesquisa, temos conforme apresentado na Figura 4 a concentração dos 10 países de maior número de publicações presentes na amostra, juntos estes 10 países correspondem a um total de mais de 60% dos artigos da amostra. Percebe-se um grande volume de trabalhos da China, em primeiro lugar da amostra totalizando 33 trabalhos, seguido dos Estados Unidos com 11, Irã com 8 e do Brasil com um total de 7 trabalhos.



Figura 4 - Principais países de desenvolvimento das pesquisas

Para cada um dos 131 artigos da base de dados, buscou-se através da plataforma *Google Scholar*, o número de citações e calculou-se o número médio de citações recebidas em relação ao tempo de circulação. O *Google Scholar* foi escolhido levando-se em conta o fato de que os artigos são provindos de três bases de dados diferentes. A Figura 5 apresenta um histograma constituído por estes 131 artigos em função do número médio de citações, onde a classe equivalente a trabalhos citados de 0 à 3,3 vezes corresponde a maior concentração de trabalhos na amostra.

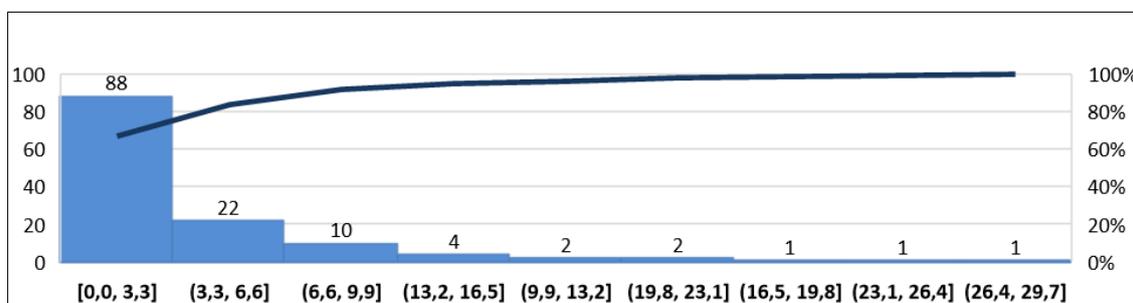


Figura 5 - Histograma das citações médias recebidas por artigo em relação ao seu tempo de circulação

Dentre os 131 artigos da base de dados, foi possível identificar os mais relevantes, considerando o número de citações médias por ano de circulação. Na Tabela 1 encontram-se os 10 artigos mais citados. O artigo com maior média de citações por ano é o trabalho de Deng et al. (2015) com o total de 89 citações e com uma média de 29,7 citações por ano. Caso apenas a quantidade de citações seja levada em consideração, o trabalho mais citado da base corresponde ao Hashimoto et al. (2008) com 153 citações.

Autores	Titulo	Citações Google Scholar	Citações Médias por ano
Deng et al. (2015)	<i>An Improved Genetic Algorithm with Initial Population Strategy for Symmetric TSP</i>	89	29,7
Mavrovouniotis et al. (2017)	<i>Ant Colony Optimization with Local Search for Dynamic Traveling Salesman Problems</i>	26	26,0
Tadei et al. (2017)	<i>The multi-path Traveling Salesman Problem with stochastic travel costs</i>	21	21,0
Dong et al. (2017)	<i>Location of Facility Based on Simulated Annealing and "ZKW Algorithms"</i>	20	20,0
Cacchiani et al. (2014)	<i>A set-covering based heuristic algorithm for the periodic vehicle routing problem</i>	71	17,8
Zhan et al. (2016)	<i>List-Based Simulated Annealing Algorithm for Traveling Salesman Problem</i>	32	16,0
Hashimoto et al. (2008)	<i>An iterated local search algorithm for the time-dependent vehicle routing problem with time windows</i>	153	15,3
Yang, J et al. (2008)	<i>Ant colony optimization method for generalized TSP problem</i>	150	15,0
Odili; Kahar (2016)	<i>Solving the Traveling Salesman's Problem Using the African Buffalo Optimization</i>	29	14,5
Majumdar; Bhunia (2011)	<i>Genetic algorithm for asymmetric traveling salesman problem with imprecise travel times</i>	73	10,4

Fonte: Os autores (2019)

Tabela 1 - Artigos mais relevantes considerando as citações recebidas

4.2 Análise Sistemática

Para realização da análise sistêmica em relação ao conteúdo dos artigos, o conjunto de 131 artigos foi classificado e ordenado de acordo com a relevância. Para tanto, foi levantado através da plataforma Google Scholar o número de citações de cada artigo e calculado o número médio de citações recebidas em relação ao tempo de circulação dos mesmos. O conjunto dos 50 artigos mais citados em relação ao seu tempo de circulação foi analisado de forma mais profunda para que fossem extraídas as informações a respeito do método de resolução e *software*/linguagem de programação empregada.

A Figura 6 sintetiza a quantidade de vezes que cada algoritmo foi aplicado. Técnicas identificadas apenas uma vez na amostra estão condensadas no item “outros” para possibilitar a visualização da figura. Destacam-se como procedimentos mais utilizados a busca local, com 14 utilizações e o algoritmo genético em 11 trabalhos. Mais de 29 técnicas diferentes foram identificadas, ou seja, não há um consenso da melhor maneira para solucionar o PLF e PCV. Cada método apresenta suas características próprias e constitui uma maneira diferentemente eficaz de resolver os problemas.

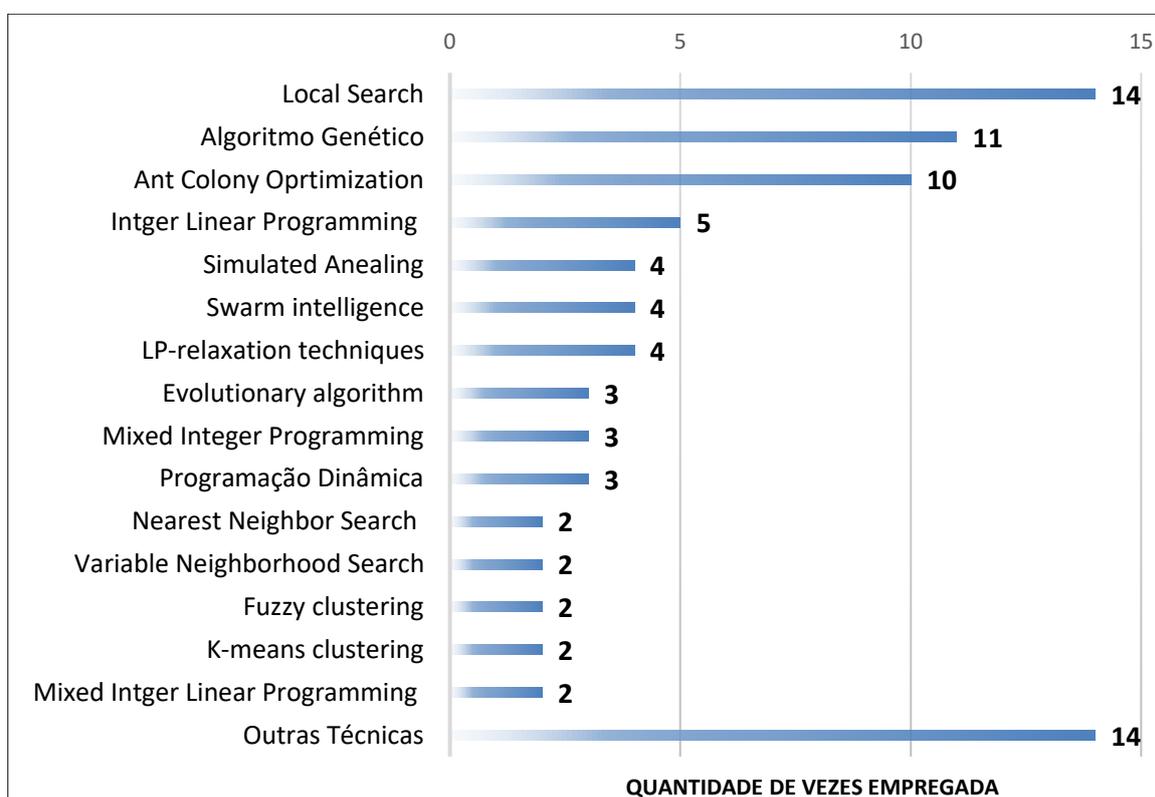


Figura 6 - Métodos de resolução identificados na amostra

Agrupando os métodos de resolução identificados nos trabalhos de uma maneira mais genérica, através de uma classificação em três categorias principais (1- Procedimentos Heurísticos, 2- Procedimentos Exatos e 3- Técnicas de agrupamento) é possível perceber através da Figura 7 que os procedimentos heurísticos se destacam em relação ao emprego de procedimentos exatos de resolução para o PLF e PCV, o que pode ser justificado pela grande dificuldade computacional de resolução dos mesmos, principalmente em grandes instâncias.



Figura 9 - Softwares / linguagens de programação empregadas na amostra

5. Conclusão

Neste trabalho buscou-se identificar quais as tendências dos últimos 10 anos em relação ao PLF e ao PCV por meio da condução de uma revisão sistemática de literatura. Os dois temas centrais desta pesquisa foram escolhidos pelo fato de constituírem uma metodologia para resolução do PRVC, utilizando o PLF em uma primeira fase (agrupamento dos pontos de demanda) e o PCV na segunda fase (roteirização dentro de cada grupo). Foram sucintamente apresentados alguns dados bibliométricos a partir da amostra de pesquisa composta por 131 artigos, e adicionalmente estratificadas algumas informações acerca do estudo sistemático conduzido sobre os 50 artigos mais relevantes da amostra.

Foi possível identificar que não há uma unanimidade entre os autores para um melhor método de resolução de ambos problemas. A maioria dos autores recorre a métodos heurísticos para a resolução do PLF e do PCV. Há uma grande diversidade de heurísticas utilizadas, procedimentos exatos, assim como de combinações dos mesmos, a fim de melhorar a eficácia das soluções encontradas. Muitos trabalhos consistem em procedimentos sequenciais de construção de rotas seguidos por etapa de melhoria.

O grande volume de trabalhos identificado nas bases de dados como resposta inicial a busca pelos termos chaves reflete os esforços dos pesquisadores no estudo do tema. Também nos permite verificar sua grande aplicação prática sendo a resolução dos mesmos de interesse das empresas, uma vez que as soluções otimizadas podem trazer grande impacto financeiro. Mesmo sendo temas recorrentes na literatura, cita-se sua relevância atual (tendência de crescimento nos últimos 10 anos em relação as publicações da amostra obtida) como consequência da busca por melhores soluções para os problemas reais que envolvem estes assuntos (PLF e PCV).

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES (1º. e 2º. autores) e ao CNPq (3º. autor) pelas bolsas que lhes vêm sendo concedidas.

Referências

BELFIORE, P.; FÁVERO, L. P. **Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

BOELL, S. K., & CECEZ-KECMANOVIC, D. On being “systematic” in literature reviews. In: WILLCOCKS L.P., SAUER C., LACITY M.C. (org.). **Formulating Research Methods for Information Systems**. London: Palgrave Macmillan, p. 48-78, 2015.

BUDGEN, D.; KITCHENHAM, B. A.; BRERETON, P. **Evidence-Based Software Engineering and Systematic Reviews**. New York: CRC Press, p. 10-15, 2016.

CACCHIANI, V.; HEMMELMAYR, V. C.; TRICOIRE, F. A set-covering based heuristic algorithm for the periodic vehicle routing problem. **Discrete Applied Mathematics**, v. 163, n. 1, p. 53–64, 2014.

DANTZIG, G. B.; FULKERSON, D. R.; JOHNSON, S. M.; COOK, W. Solution of a Large-Scale Traveling-Salesman Problem. **Operations Research**, v. 2, p. 393–410, 1954.

DENG, Y.; LIU, Y.; ZHOU, D. An Improved Genetic Algorithm with Initial Population Strategy for Symmetric TSP. **Mathematical Problems In Engineering**, v. 2015, Article ID 212794, p. 1-7, 2015.

DONG, Y.; WANG, J.; CHEN, F.; HU, Y.; DENG, Y. Location of Facility Based on Simulated Annealing and “ZKW” Algorithms. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2017, Article ID 4628501, p. 1-10, 2017

HASHIMOTO, H.; YAGIURA, M.; IBARAKI, T. An iterated local search algorithm for the time-dependent vehicle routing problem with time windows. **Discrete Optimization**, v. 5, n. 2, p. 434–456, 2008.

HIRSCH, J. E. An index to quantify an individual’s scientific research output. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 102, n. 4, p. 16569–16572, 2005.

LAPORTE, G. Fifty years of vehicle routing. **Transportation Science**, v. 43, n. 4, p. 408–416, 2009.

MAJUMDAR, J.; BHUNIA, A. K. Genetic algorithm for asymmetric traveling salesman problem with imprecise travel times. **Journal of Computational and Applied Mathematics**, v. 235, n. 9, p. 3063–3075, 2011.

MAVROVOUNIOTIS, M.; MULLER, F. M.; YANG, S. Ant Colony Optimization With Local Search for Dynamic Traveling Salesman Problems. **IEEE Transactions on Cybernetics**, v. 47, n. 7, p. 1743–1756, 2017.

ODILI, J. B.; KAHAR, M. N. M. Solving the Traveling Salesman’s Problem Using the African Buffalo Optimization. **Computational Intelligence and Neuroscience**, v. 2016, Article ID 1510256, p 1-13, 2016.

SENNE, E. L. F.; LORENA, L. A. N. Abordagens complementares para problemas de p-medianas. **Produção**, v. 13, n. 3, p. 78–87, 2003.

SPERANZA, M. G. Trends in transportation and logistics. **European Journal of Operational Research**, v. 264, p. 830–836, 2018.

TADEI, R.; PERBOLI, G.; PERFETTI, F. The multi-path Traveling Salesman Problem with stochastic travel costs. **Euro Journal On Transportation and Logistics**, v. 6, n. 1, p. 3–23, 2017.

YANG, J.; SHI, X.; MARCHESE, M.; LIANG, Y. Ant colony optimization method for generalized TSP problem. **Progress in Natural Science**, v. 18, n. 11, p. 1417–1422, 2008.

ZHAN, S.; LIN, J.; ZHANG, Z.; ZHONG, Y. List-Based Simulated Annealing Algorithm for Traveling Salesman Problem. **Computational Intelligence And Neuroscience**, v. 2016, p. 1-12, Article ID 1712630, 2016.