

bibtex SBC.aux

Análise do Uso de Metaheurísticas para a Resolução do Problema de Localização de Facilidades

Ana Carolina Fernandes de Moura¹

¹Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca CEFET/RJ

carol.fm3@gmail.com

Abstract. *Due to the increasing competition between companies, the solution of real optimization problems become more and more necessary. The study for the decision-making of the optimal location of facilities of suppliers and clients is one of the most important because it involves strategic issues of companies with great possibility of cost reduction and service improvement. This paper presents an analysis of the facility location problem (FLP) with its concepts and main variants. A literature review will be presented to show which metaheuristics have been most used to solve the FLP. Lastly, the main concepts of these main metaheuristics will be presented.*

Resumo. *Em função da competitividade cada vez maior entre empresas, a solução de problemas reais de otimização se tornam cada vez mais necessários. O estudo para a tomada de decisão da localização ótima de instalações de fornecedores e clientes é um dos mais importantes por envolver questões estratégicas das empresas com grande possibilidade de redução de custos e melhoria de serviços. Esse trabalho apresenta uma análise do problema de localização de facilidades (PLF) com seus conceitos e variantes principais. Um levantamento da literatura será apresentado para mostrar quais metaheurísticas tem sido mais utilizadas para a resolução do PLF. Por fim, os principais conceitos dessas metaheurísticas principais serão apresentados.*

1. Introdução

Empresários do setor de serviços, assim como da cadeia de suprimentos de produtos, estão continuamente buscando novas formas de redução total de custos enquanto também melhoram a performance de seus sistemas para continuarem competitivos no mercado atual [Shishebori et al. 2014]. Dessa forma, são feitos estudos em diversas áreas com o objetivo de desenvolver e melhorar ferramentas que possam ser utilizadas por empresas para contribuir o crescimento econômico. A Pesquisa Operacional é uma dessas áreas de estudo que tem como principal objetivo a solução de problemas reais em que são utilizados métodos matemáticos para encontrar soluções ótimas para diversos tipos de problemas.

Esse artigo tem como foco o problema de localização de facilidades (PLF), muito comum em empresas e que envolve a tomada de decisão sobre a localização ideal de suas unidades. Pesquisas têm se concentrado em problemas de localização, que requerem minimização do tempo total de viagem, distâncias física ou outro custo relacionado [Korac et al.]. Se um cliente deve estar fisicamente envolvido no processo, não é provável que a localização seja aceitável se o tempo de viagem entre o fornecedor e o cliente for relativamente grande [Fernandes et al. 2014]. Estas decisões são fundamentais para o

bom desempenho das empresas, pois estão relacionadas diretamente à um melhor nível de serviço, redução de despesas com transporte, entre outros. Esse é um problema de decisão em nível estratégico onde as decisões implementadas permanecem sem mudanças por um longo período de tempo [Ho 2015].

A resolução do PLF se dá por meio da formulação de uma modelagem matemática que represente o problema em questão e sua posterior resolução com o uso de métodos computacionais. A crescente atenção e interesse nesses problemas acontece devido ao reconhecimento da necessidade de considerar mais critérios para que soluções mais próximas da realidade sejam atingidas [Farahani et al. 2010]. Esses problemas são em sua maioria NP-difícil, havendo grande complexidade em encontrar soluções exatas para o problema, principalmente, à medida que aumenta-se a quantidade de dados a considerar, como a quantidade de pontos de fornecimento e de clientes. Tal fato faz com que seja comum o uso de heurísticas e metaheurísticas para sua solução, pois demandam menor esforço computacional em comparação com método exatos e apresentam soluções próximas às consideradas ótimas.

O objetivo desse trabalho é a análise do estudo do PLF, apresentando seus conceitos básicos, suas principais variantes e métodos de resolução. Foi feito um mapa sistemático com artigos com foco no PLF e metaheurísticas. A partir de uma revisão da literatura serão apresentadas as variantes do problema que têm sido mais estudadas. Além disso, este trabalho conclui quais metaheurísticas estão sendo utilizadas de forma mais frequente para a resolução de cada variante do PLF, assim como, os modelos híbridos de metaheurísticas que têm sido testados na busca por melhores resultados. Por fim, serão apresentados os principais conceitos e modos de funcionamento de cada uma das metaheurísticas mais utilizadas que são a busca tabu, algoritmos genéticos, variable neighborhood search (VNS) e simulated annealing (SA).

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: na seção 2 é feita uma revisão bibliográfica do PLF e suas variantes, a seção 3 apresenta o conceito das principais metaheurísticas que estão sendo utilizadas e a seção 4 apresenta as conclusões do trabalho com indicações de trabalhos futuros.

2. Revisão da Literatura

O PLF está relacionado com a tomada de decisão de localizar diversos tipos de instalações, como escolas, centros de saúde, hospitais, depósitos, fábricas, e então, tem a distância média reduzida para um conjunto de nós de demanda distribuídos [Almeida and Araujo 2010]. A sua resolução não determina somente a decisão da localização ideal, mas também, a quantidade de instalações ideal e suas dimensões. Problemas de localização podem ter diversas formas, dependendo da natureza da função objetivo, do horizonte de tempo que está sendo considerado, da existência de relações hierárquicas entre facilidades, entre outros [Galvão 2004]. A seguir serão apresentadas as definições das duas variantes principais do PLF, o problema de localização de facilidades não-capacitado (PLFNC) e o problema de localização de facilidades capacitado (PLFC).

Os dois problemas, PLFNC e PLFC consideram o custo de instalação no custo total associado à localização de uma nova facilidade. Assim, ao considerar que o custo total precisa ser minimizado, duas componentes estão sendo consideradas, o custo de operação das instalações e o custo de transporte. O PLFNC considera que a capacidade de cada

facilidade é ilimitada. Como não tem restrições de capacidade, cada ponto de demanda é atribuído à facilidade aberta mais próxima, e o problema se reduz ao de simplesmente escolher as localizações em que as facilidades devem ser abertas [Basu et al. 2015].

O PLFC é um problema que leva em conta uma importante restrição, comum em problemas reais. Neste problema cada facilidade tem uma capacidade limitada de produção, sendo essas de capacidades os fatores que o diferenciam do PLFNC. Para o PLFC, o problema é determinar quais N facilidades com capacidades limitadas devem ser usadas para satisfazer a demanda de M clientes com a menor soma de custos fixos e variáveis [Arostegui et al. 2006].

Em função da sua complexidade e importância para diferentes setores, diversos artigos têm sido publicados na literatura com a proposta de novos métodos de resolução. Os principais métodos para resolução desses problemas do tipo NP-Difícil são métodos exatos e heurísticos [Monabbati 2014].

O PLFNC foi estudado por diversos autores. [Beltran-Royo et al. 2012] e [Monabbati 2014] resolveram o PLFNC com uso do método exato ao demonstrar como a performance de solvers do Problema de Programação Inteira Mista pode ser aumentada pelo uso do método da relaxação semi-lagrangeana. Pode-se observar a resolução por meio de diferentes metaheurísticas como em [Mišković et al. 2015] em que foi utilizado o VNS, [Aydin and Fogarty 2004] testaram o SA e [Ardjmand et al. 2014] testaram a metaheurística do unconscious search. [Greistorfer and Rego 2006] utilizaram uma metaheurística nova na resolução do problema de localização, o algoritmo filter-and-fan. [Ghadge et al. 2016] também resolveram o PLFNC, porém, seu problema envolveu uma característica adicional de considerar também a logística reversa do cliente para a facilidade em que utilizaram o método exato para resolução com a programação linear inteira mista e o método do centro da gravidade (COG) que computa coordenadas geográficas para uma nova facilidade potencial.

O PLFC também foi abordado por diversos autores, tendo sido resolvido pela metaheurística busca tabu por [Ho 2015], [Arostegui et al. 2006], [Sun 2008] e [Lagos et al. 2016]. Porém, [Arostegui et al. 2006] fizeram também uma comparação dos resultados com outras duas metaheurísticas, SA e algoritmo genético e [Lagos et al. 2016] utilizaram o busca tabu combinado com o método exato da programação linear inteira mista. [Cabrera et al. 2012] e [Guastaroba and Speranza 2012] também utilizaram a programação linear inteira mista, porém, [Cabrera et al. 2012] combinaram a resolução com o algoritmo da colônia artificial de abelhas (ACAA) e [Guastaroba and Speranza 2012] com a metaheurística do Kernel search. Assim como [Arostegui et al. 2006], [Santosa and Kresna 2015] também resolveram o problema com a metaheurística SA.

Apesar da importância do PLFNC e PLFC, esses modelos são claramente insuficientes para representar as diversas configurações reais do PLF [Melo et al. 2009]. Assim, muitas extensões para os problemas básicos foram considerados e extensivamente estudados. Um problema muito comum observado na literatura foi uma variante do PLF em que níveis hierárquicos são utilizados, neste há mais níveis de distribuição entre a origem e o destino. [Grohmann et al. 2017], [Miskovic et al. 2017], [Akbari-Jafarabadi et al. 2017], [Fernandes et al. 2014], [Biesinger et al. 2016] e [Aksen and Aras 2012] resolveram o

problema com dois níveis. [Grohmann et al. 2017] utilizaram o VNS para resolução, [Miskovic et al. 2017] utilizaram o método SA, AKSEN e [Akbari-Jafarabadi et al. 2017] resolveram pela metaheurística busca tabu, [Fernandes et al. 2014] utilizaram um algoritmo genético e [Biesinger et al. 2016] usaram um algoritmo de evolução com programação linear inteira mista. [Eskandarpour et al. 2017] resolveram um problema com quatro níveis, que é raro na literatura, utilizando a metaheurística do LNS, large neighborhood search, que também é pouco comum na resolução de problemas de localização.

Outra variante importante foi proposta para situações em que os parâmetros mudam ao longo do tempo. Essa é chamada problemas de localização multi-período e consiste em determinar quais facilidades devem ser utilizadas, considerando custos fixos e variáveis do PLFC, enquanto simultaneamente considera custos em diferentes períodos [Arostegui et al. 2006]. Além de [Arostegui et al. 2006] que resolveram esse problema busca tabu, SA e algoritmos genéticos, essa variante do problema também foi estudada por [Amrani et al. 2011] com o uso do VNS e busca tabu.

Variantes que consideram múltiplos critérios aumentando a complexidade dos problemas também têm sido estudadas. Entre os trabalhos com essa abordagem, destacam-se [Konak et al. 2017] e [Karasakal and Silav 2015] que consideram a competitividade entre várias empresas, sendo a distância o fator determinante para escolha dos consumidores. Os primeiros utilizaram o algoritmo genético e programação linear para resolução e o [Karasakal and Silav 2015] apenas o algoritmo genético.

Além disso, os trabalhos de [Prodhon and Prins 2014], [Basu et al. 2015] e [Farahani et al. 2010] destacam-se por serem artigos do tipo surveys, que fazem uma extensa revisão da literatura e são importantes para o entendimento do desenvolvimento do PLF, com os principais métodos de resolução e novas variantes. [Farahani et al. 2010] tiveram como foco os problemas com múltiplos critérios, [Prodhon and Prins 2014] discutiram o PLF combinado com problemas de roteamento de veículos e [Basu et al. 2015] abrangeram o problema de forma geral. Esses são os que tem maior relação com o presente artigo, entretanto, este trabalho difere dos demais pela conclusão das variantes do PLF mais estudadas, assim como, as metaheurísticas mais utilizadas para resolução.

A tabela a seguir representa um resumo da revisão da literatura em que é possível observar as variantes do PLF mais estudadas e os principais métodos de resolução. Para a elaboração dessa tabela foram desconsideradas os três artigos do tipo survey, pois apresentam uma revisão extensa da literatura mas não resolvem um problema.

A partir da tabela 1 observa-se os problemas que estão sendo mais estudados são: PLFNC, PLFC e PLF com níveis. Era esperado que o PLFNC e PLFC estivessem entre as mais estudadas por serem os problemas básicos e fundamentais do PLF. Além disso, a variante do PLF com níveis vem sendo estudada extensivamente por retratar o problema real de diversas empresas.

Em relação aos métodos de resolução, observa-se que tanto métodos exatos (programação linear e relaxação lagrangeana) quanto metaheurísticas tem destaque nos artigos que vem sendo estudados, com uma grande maioria envolvendo metaheurísticas. Dentre elas, as que estão sendo mais abordadas nos artigos são a busca tabu, o SA, o VNS e os algoritmos genéticos. Na seção seguinte os principais conceitos dessas 4 me-

Tabela 1. Quantidade de artigos abordando cada variante do PLF e cada método de resolução. Fonte: o próprio autor.

Métodos de resolução	PLFNC	PLFC	Níveis	Multi-período	Crítérios Múltiplos	Total
Busca Tabu	0	5	3	2	0	10
SA	2	2	2	1	0	7
VNS	3	0	3	1	0	7
Algoritmo Genético	1	1	2	1	2	7
Unconscious Search	1	0	0	0	0	1
Filter-and-fan	1	0	0	0	0	1
COG	1	0	0	0	0	1
ACAA	0	1	0	0	0	1
Kernel search	0	1	0	0	0	1
AE	0	0	1	0	0	1
LNS	0	0	1	0	0	1
Programação Linear	1	4	2	0	1	8
Relaxação Lagrangeana	2	0	0	0	0	2
Total	11	14	14	4	3	48

taheurísticas serão apresentados.

3. Metaheurísticas

Metaheurísticas, em sua definição original, são métodos de solução que orquestram uma interação entre procedimentos de melhorias de busca local e estratégias de alto nível para criar um processo capaz de escapar de locais ótimos e fazer uma busca robusta no espaço de solução [Glover and Kochenberger 2003]. Existem diversas metaheurísticas e sua performance geralmente varia de acordo com a natureza do problema que se deseja resolver. A eficiência dos métodos leva em consideração não apenas a qualidade da solução obtida, mas também, o seu tempo de processamento.

A figura 1 apresentada adiante representa um diagrama geral de funcionamento de uma metaheurística. O diagrama serve apenas para ilustração para facilitar o entendimento, desconsiderando especificidades de cada metaheurística. Para o diagrama a seguir foi considerado que as metaheurísticas não aceitam soluções piores em determinadas iterações, entretanto, apesar de ser verdade para a maioria das metaheurísticas, algumas aceitam momentaneamente uma solução pior, conforme será apresentado nos conceitos das metaheurísticas.

Conforme apresentado na seção anterior, a partir do levantamento da literatura, foi feita uma verificação das metaheurísticas que estavam sendo mais utilizadas para a resolução das diversas variantes do PLF. Conclui-se que a busca tabu, algoritmos genéticos, o VNS e o SA eram as metaheurísticas que tinham sido mais testadas. Seus conceitos e modos de funcionamento serão apresentados a seguir.

3.1. Busca Tabu

Busca tabu é uma heurística reconhecida de busca local originalmente proposta por Glover e Hansen em 1986 [Amrani et al. 2011]. Busca Tabu é uma metaheurística reconhecida que tem sido amplamente aplicada a muitos problemas difíceis de

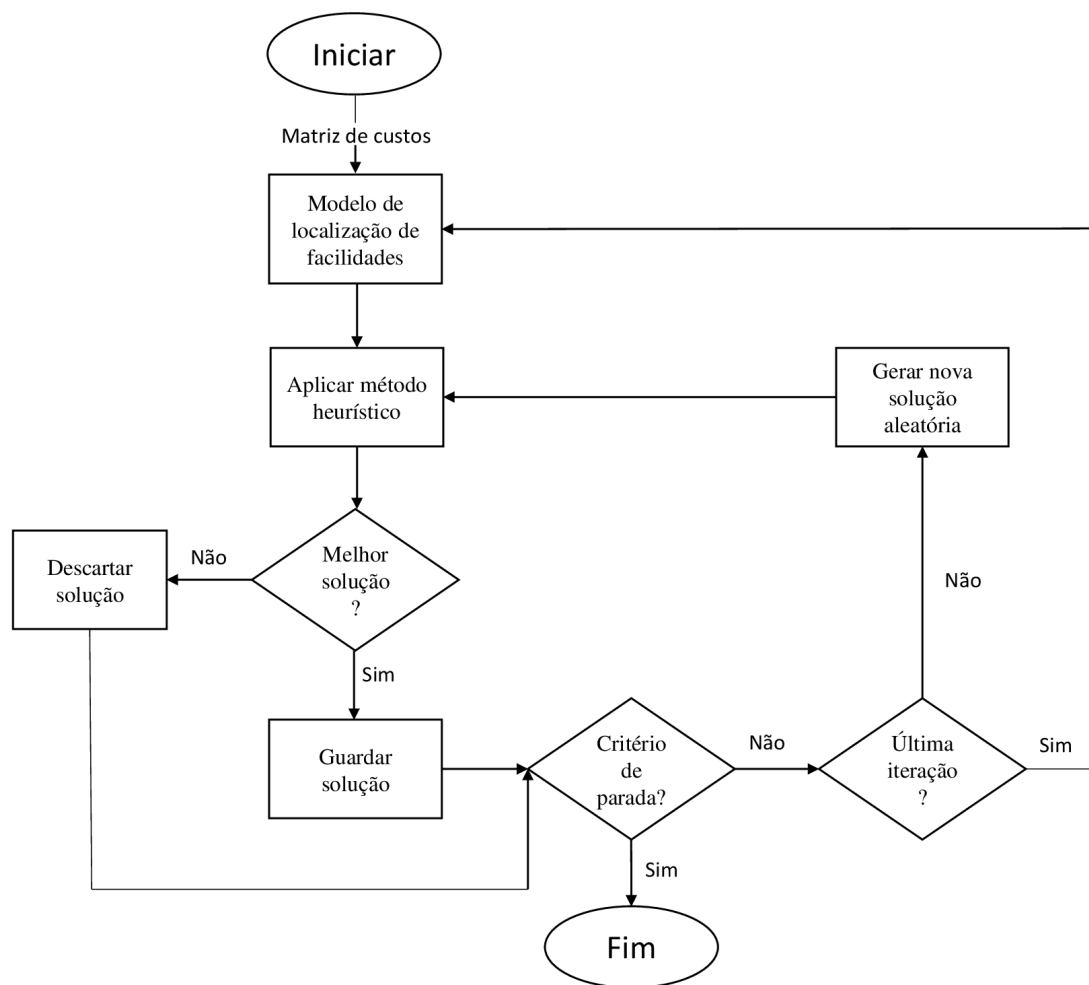


Figura 1. Diagrama geral do funcionamento de uma metaheurística. Fonte: O próprio autor

otimização combinatória conhecidos na literatura ou encontrados em problemas reais [Aksen and Aras 2012]. A busca tabu inicia com uma solução inicial, fazendo uma busca pela melhor solução em uma vizinhança do espaço estudado. O método guarda as informações do resultado atual verificado e do melhor resultado já encontrado dentre todas as iterações já realizadas. O método mantém uma lista dos resultados já visitados em iterações recentes, formando uma lista tabu para que o teste repetitivo de uma solução encontrada recentemente seja evitado [Glover and Kochenberger 2003]. Os critérios mais comumente usados para a parada do método envolvem um ou mais entre os seguintes: alcance de um número máximo de iterações, tempo de processamento, número de iterações sem uma melhora no resultado e o atingimento de um valor dentro de um limite pré-estabelecido.

3.2. Algoritmo Genético

O termo algoritmo genético foi primeiramente proposto por John Holland em 1975 [Glover and Kochenberger 2003]. Esse algoritmo tem uma série de soluções possíveis chamadas cromossomos. É feita uma busca por melhores soluções com o uso de três métodos: crossover, mutação e seleção [Glover and Kochenberger 2003]. A

transformação do crossover cria um novo indivíduo ao combinar partes de dois ou mais indivíduos. As mutações são transformações que criam novos indivíduos por uma pequena mudança em um indivíduo único [Domínguez-Marín et al. 2005]. Na seleção, ocorre a escolha pelas melhores soluções. Os critérios para terminação seguem o mesmo modelo do busca tabu visto que o método poderia continuar indefinidamente, então, é necessário determinar um ou mais critérios de parada.

3.3. Variable Neighborhood Search (VNS)

O VNS é uma metaheurística criada por Hansen e Mladenovic em 1997 cujo princípio básico é fazer uma busca pela solução ótima em uma vizinhança e quando nenhuma nova solução melhor é encontrada, há a mudança da vizinhança para uma nova busca local [Glover and Kochenberger 2003]. Há uma mudança sistemática das vizinhanças para garantir que método não pare em um ótimo local, promovendo a busca ótima global, sendo essa a principal diferença entre o VNS e outras metaheurísticas. Os seus critérios de parada também devem ser pré-estabelecidos, assim como os dois métodos apresentados anteriormente.

3.4. Simulated Annealing (SA)

SA é um algoritmo heurístico estocástico, que busca o espaço de solução usando um procedimento de escala estocástica. Devido à sua facilidade de uso, o SA é um método extremamente popular para resolver problemas grandes [Aydin and Fogarty 2004]. A sua principal característica é que a diferencia de outros métodos é o fato de escapar de locais ótimos ao permitir que pioram o valor da função objetivo na busca de uma solução ótima global. Uma característica é o fato de uma solução pior poder ser aceita em uma próxima solução com uma certa probabilidade [Santosa and Kresna 2015]. Aceitando uma solução pior é esperado que na iteração seguinte, o método mova para uma solução melhor entre as últimas encontradas. A probabilidade de aceitar uma solução pior depende de um parâmetro de temperatura já que o método do SA é uma analogia com o processo de recozimento físico com sólidos, estabelecendo uma conexão entre esse tipo de comportamento termodinâmico e a busca por uma otimização global para um problema de otimização discreta [Glover and Kochenberger 2003].

4. Conclusão

Esse trabalho desenvolveu uma revisão bibliográfica para o PLF, por meio da realização de um mapa sistemático tendo como foco o método de resolução com uso de metaheurísticas. Foram apresentadas as principais variantes do PLF que têm sido desenvolvidas para representar os problemas reais que cada vez mais possuem novas variáveis, aumentando o seu nível de complexidade. Nesse sentido, foi apresentado o conceito dos dois problemas básicos principais do PLF, o PLFNC e o PLFC. Foram apresentadas também outras variantes que foram desenvolvidas e se tornaram necessárias para representação dos problemas reais como o PLF com níveis, problemas multi-período e com múltiplos critérios.

Foi feita uma revisão da literatura para buscar as metaheurísticas que tem sido mais utilizadas para a resolução das diversas variantes desse problema. Como resultado dessa revisão, foi possível concluir que as metaheurísticas que estão sendo mais utilizadas para resolução do PLF são as seguintes: busca tabu, algoritmos genéticos, VNS e SA.

Foram, então, apresentados os conceitos principais de cada uma dessas metaheurísticas e que tem sido destaque na resolução do PLF .

Sugestões para trabalhos futuros são fazer uma revisão da literatura completa, levando-se em consideração além das principais metaheurísticas que estão sendo utilizadas para a resolução do problema, uma comparação dos resultados dessas metaheurísticas e uma análise de quais variantes do PLF têm sido mais estudadas mostrando um perfil do incremento das variantes do problema ao longo dos anos. Além disso, outra possibilidade de trabalho futuro seria a resolução de um problema real do problema de localização utilizando como base as metaheurísticas apresentadas nesse trabalho com modelos híbridos e adaptações para analisar a eficiência de cada uma e comparar com os resultados já encontrados e consolidados na literatura.

Referências

- Akbari-Jafarabadi, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Mahmoodjanloo, M., and Rahimi, Y. (2017). A tri-level r-interdiction median model for a facility location problem under imminent attack. *Computers Industrial Engineering*, 114:151 – 165.
- Aksen, D. and Aras, N. (2012). A bilevel fixed charge location model for facilities under imminent attack. *Computers Operations Research*, 39(7):1364 – 1381.
- Almeida, W. G. and Araujo, E. (2010). Metaheuristic search procedure based on fuzzy graph for p-facility problems. pages 1–5.
- Amrani, H., Martel, A., Zufferey, N., and Makeeva, P. (2011). A variable neighborhood search heuristic for the design of multicommodity production—distribution networks with alternative facility configurations. *OR Spectr.*, 33(4):989–1007.
- Ardjmand, E., Park, N., Weckman, G., and Amin-Naseri, M. R. (2014). The discrete unconscious search and its application to uncapacitated facility location problem. *Computers Industrial Engineering*, 73:32 – 40.
- Arostegui, M. A., Kadipasaoglu, S. N., and Khumawala, B. M. (2006). An empirical comparison of tabu search, simulated annealing, and genetic algorithms for facilities location problems.
- Aydin, M. E. and Fogarty, T. C. (2004). A distributed evolutionary simulated annealing algorithm for combinatorial optimisation problems. *J. Heuristics*, 10:269–292.
- Basu, S., Sharma, M., and Sarathi Ghosh, P. (2015). Metaheuristic applications on discrete facility location problems: a survey. 52:530–561.
- Beltran-Royo, C., Vial, J.-P., and Alonso-Ayuso, A. (2012). Semi-lagrangian relaxation applied to the uncapacitated facility location problem. 51:387–409.
- Biesinger, B., Hu, B., and Raidl, G. (2016). Models and algorithms for competitive facility location problems with different customer behavior. *Ann Math Artif Intell*, 76:93 – 119.
- Cabrera, G., Cabrera, E., Soto, R., Rubio, J. M., Crawford, B., and Paredes, F. (2012). A hybrid approach using an artificial bee algorithm with mixed integer programming applied to a large-scale capacitated facility location problem. *Mathematical Problems in Engineering*, 2012:1 – 14.

- Domínguez-Marín, P., Nickel, S., Hansen, P., and Mladenovic, N. (2005). Heuristic procedures for solving the discrete ordered median problem. 136:145–173.
- Eskandarpour, M., Dejax, P., and Péton, O. (2017). A large neighborhood search heuristic for supply chain network design. *Computers Operations Research*, 80:23 – 37.
- Farahani, R. Z., SteadieSeifi, M., and Asgari, N. (2010). Multiple criteria facility location problems: A survey. *Applied Mathematical Modelling*, 34(7):1689–1709.
- Fernandes, D., Rocha, C., Aloyse, D., Ribeiro, G. M., Santos, E. M., and Silva, A. (2014). A simple and effective genetic algorithm for the two-stage capacitated facility location problem. *Computers & Industrial Engineering*, 75:200–208.
- Galvão, R. D. (2004). Uncapacitated facility location problems: contributions. *Pesquisa Operacional*, 24:7 – 38.
- Ghadge, A., Yang, Q., Caldwell, N., König, C., and Tiwari, M. K. (2016). Facility location for a closed-loop distribution network: a hybrid approach. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 44(9):884–902.
- Glover, F. and Kochenberger, G. A. (2003). *Handbook of Metaheuristics*. Kluwer Academic Publishers, 1th edition.
- Greistorfer, P. and Rego, C. (2006). A simple filter-and-fan approach to the facility location problem. *Computers Operations Research*, 33(9):2590 – 2601. Part Special Issue: Anniversary Focused Issue of Computers Operations Research on Tabu Search.
- Grohmann, S., Urošević, D., Carrizosa, E., and Mladenović, N. (2017). Solving multi-facility huff location models on networks using metaheuristic and exact approaches. *Computers Operations Research*, 78:537 – 546.
- Guastaroba, G. and Speranza, M. (2012). Kernel search for the capacitated facility location problem. 18:1–41.
- Ho, S. C. (2015). An iterated tabu search heuristic for the single source capacitated facility location problem. *Applied Soft Computing*, 27:169 – 178.
- Karasakal, E. and Silav, A. (2015). A multi-objective genetic algorithm for a bi-objective facility location problem with partial coverage. 24.
- Konak, A., Kulturel-Konak, S., and Snyder, L. (2017). A multi-objective approach to the competitive facility location problem. *Procedia Computer Science*, 2017:1434 – 1442.
- Korac, V., Kratica, J., and Savic, A. An improved genetic algorithm for the multi level uncapacitated facility location problem. *INT J COMPUT COMMUN*.
- Lagos, C., Guerrero, G., Cabrera, E., Niklander, S., Johnson, F., Paredes, F., and Vega, J. (2016). A matheuristic approach combining local search and mathematical programming. *Scientific Programming*, 2016:1 – 7.
- Melo, M. T., Nickel, S., and da Gama, F. S. (2009). Facility location and supply chain management - a review. *European Journal of Operational Research*, 196(2):401 – 412.
- Miskovic, S., Stanimirovic, Z., and Grujicic, I. (2017). Solving the robust two-stage capacitated facility location problem with uncertain transportation costs. *Optim Lett*, 11:1169 – 1184.

- Mišković, S., Stanimirović, Z., and Grujičić, I. (2015). An efficient variable neighborhood search for solving a robust dynamic facility location problem in emergency service network. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 47:261 – 268. The 3rd International Conference on Variable Neighborhood Search (VNS'14).
- Monabbati, E. (2014). An application of a lagrangian-type relaxation for the uncapacitated facility location problem.
- Prodhon, C. and Prins, C. (2014). A survey of recent research on location-routing problems. *European Journal of Operational Research*, 238(1):1 – 17.
- Santosa, B. and Kresna, I. G. N. A. (2015). Simulated annealing to solve single stage capacitated warehouse location problem. *Procedia Manufacturing*, 4:62 – 70. Industrial Engineering and Service Science 2015, IESS 2015.
- Shishebori, D., Snyder, L., and Saeed Jabalameli, M. (2014). A reliable budget-constrained fl/nd problem with unreliable facilities. *Netw Spat Econ*, 14:549 – 580.
- Sun, M. (2008). A Tabu Search Heuristic Procedure for the Capacitated Facility Location Problem. 18(0050).