

Uma Revisão Bibliográfica sobre Hiper-Heurísticas Baseadas em Meta-Heurísticas

A Bibliographic Review of Metaheuristic-based Hyper-Heuristics

Libério M. Silva¹, Sanderson L. Gonzaga de Oliveira²

RESUMO

O conceito de hiper-heurística é o de utilizar um método para automatizar a construção e escolha de heurísticas para solucionar problemas computacionais de busca. Neste artigo, com base em uma revisão publicada em 2013, é apresentada uma revisão bibliográfica sobre hiper-heurísticas baseadas em meta-heurísticas aplicadas em problema de otimização combinatória a partir de 2013.

Palavras-chave: Hiper-heurística. Meta-heurística. Heurística. Otimização combinatória.

ABSTRACT

Hyper-heuristics are generally used to automate the construction and choice of heuristics to solve combinatorial optimization problems. Hyper-heuristics can be classified into selection and generation of heuristics. This work provides an overview of metaheuristics-based hyper-heuristics applied to combinatorial optimization problem.

Keywords: Hyper-heuristics. Metaheuristics. Heuristics. Optimization problems.

¹ Mestrando, Universidade Federal de Lavras.

E-mail:

liberio.martins.silva@gmail.com

² Professor Doutor, Universidade Federal de Lavras.

E-mail:

sanderson@dcc.ufla.br

1. INTRODUÇÃO

Métodos heurísticos têm obtido grande sucesso na solução aproximada de problemas de otimização combinatória importantes. Mesmo assim, ainda existe uma dificuldade de aplicá-los em novos problemas, ou para novas instâncias de problemas similares (BURKE *et al.*, 2013). Realizar uma revisão das técnicas no estado da arte para cada especificação de um problema requer muito esforço. Dessa forma, há necessidade de se automatizar a escolha e criação de métodos heurísticos para a resolução de problemas computacionais complexos. Esse processo de automatização é denominado como hiper-heurística. Em nosso conhecimento, Cowling *et al.* (2001) foram os primeiros a utilizarem o termo hiper-heurística.

O conceito de hiper-heurística pode ser explicado como um método no qual, dada uma instância, ou uma classe de instâncias, de um problema, e um conjunto de heurísticas (ou seus componentes), automaticamente, seleciona uma heurística (ou produz uma combinação adequada de componentes de uma ou mais heurísticas) para solucionar o problema (BURKE *et al.*, 2013). Em termos de classificação, uma hiper-heurística pode ser explicada como seleção de heurística, em que a hiper-heurística recebe um conjunto de heurísticas existentes e seleciona uma, ou como geração de heurística, em que, por meio dos componentes de heurísticas existentes, é gerada uma nova heurística, que pode ser geral ou específica para uma área de aplicação do problema. As hiper-heurísticas podem ser classificadas como aprendizado *online* ou *offline*, nas situações em que a hiper-heurística utiliza alguma informação do processo de busca.

Diversos tutoriais e capítulos de livros sobre hiper-heurísticas foram publicados após a publicação do artigo de Cowling *et al.* (2001). Burke *et al.* (2003), Ross (2005) e Chakhlevitch e Cowling (2008) são exemplos dessas novas publicações. Também há vários trabalhos que utilizam hiper-heurística para resolver problemas computacionais. Burke *et al.* (2013) apresentou uma revisão sobre o estado da arte em hiper-heurísticas. Entre os trabalhos citados que lidam com a geração de heurísticas, quase todos utilizam a meta-heurística programação genética, justamente pela natureza dessa meta-heurística, que tem como saída um programa, podendo representar uma heurística. Dessa forma, a primeira tentativa para se projetar uma hiper-heurística para um problema é naturalmente por programação genética. Por outro lado, é importante verificar a utilização de outras meta-heurísticas como base para a criação de uma hiper-heurística se a meta-heurística

já tiver sido empregada no problema e se há a perspectiva de se melhorar a aproximação à solução do problema em um custo computacional menor.

Neste texto, é mostrada uma revisão bibliográfica sobre hiper-heurísticas baseadas em meta-heurísticas. Foi realizada uma busca de trabalhos sobre o tema em uma base de artigos científicos importante, a partir do ano 2013, para estender o trabalho de Burke *et al.* (2013).

Nosso foco não é nos problemas, mas em quais meta-heurísticas foram utilizadas como base para o desenvolvimento de hiper-heurísticas para a solução de problemas de otimização combinatória. Este artigo é uma versão estendida de artigo apresentado no XX Encontro Nacional de Modelagem Computacional (Silva e Gonzaga de Oliveira, 2017).

O restante deste texto está estruturado da seguinte forma. Na seção 2, os procedimentos realizados para a busca são descritos e os documentos encontrados são apresentados. A conclusão deste trabalho é apresentada na seção 3.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A busca por trabalhos que abordaram a utilização de meta-heurísticas como hiper-heurística para a solução de problemas foi realizada utilizando o portal de trabalhos científicos *Scopus*, em junho de 2017. A chave de busca definida foi: ("*Hyper Heuristic*" OR "*Hyper-heuristic*" OR "*Hyperheuristic*"). Apenas trabalhos publicados a partir de 2013 foram consultados, visto que Burke *et al.* (2013) apresentou no mesmo ano uma *survey* sobre hiper-heurísticas. Essa busca retornou 519 documentos e a filtragem foi realizada do seguinte modo:

- Trabalhos de revisão de literatura;
- Trabalhos que não aplicaram a hiper-heurística proposta em algum problema;
- Hiper-heurísticas não baseadas em alguma meta-heurística;
- Hiper-heurísticas de seleção;
- Hiper-heurísticas com treinamento *online*;

Foram selecionados 33 trabalhos após a busca na plataforma *Scopus* e 17 trabalhos da *survey* de Burke *et al.* (2013).

Na Figura 1, é mostrado o número de trabalhos que foram publicados utilizando hiper-heurísticas baseadas em meta-heurísticas de 2001 a Junho de 2018.

As meta-heurísticas utilizadas como base para a resolução de problemas estão listadas na primeira coluna da Tabela 1. Os problemas em que as hiper-heurísticas foram

aplicadas constam na segunda e primeira coluna, respectivamente das tabelas 1 e 2. O artigo correspondente de cada linha é citado nas últimas colunas dessas tabelas.

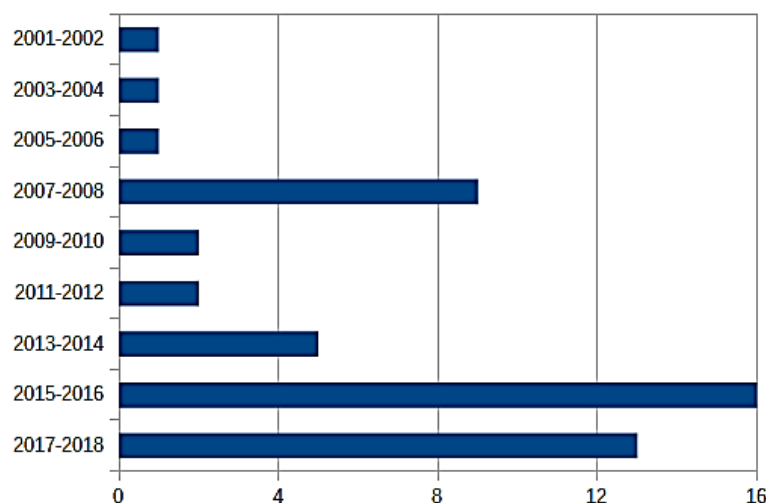


Figura 1. Quantidade de trabalhos que utilizam hiper-heurística baseada em meta-heurística, de 2001 a Junho de 2018.

Tabela 1. Doze meta-heurísticas utilizadas como hiper-heurísticas.

Meta heurística	Problema	Publicação
<i>Multi Expression</i>	<i>Traveling Salesman</i>	(OLTEAN, DUMITRESCU, 2004)
Busca tabu	<i>T-way Test Suite</i>	(KOULINAS, ANAGNOSTOPOULOS, 2013)
	<i>Construction Leveling</i>	(ZAMLI <i>et al.</i> , 2016)
Colônia de formigas	<i>Vehicle Routing</i>	(ZALILAH, 2014)
	<i>Traveling Salesman</i>	(AZIZ, 2015)
	<i>Intercell Scheduling</i>	(TIAN <i>et al.</i> , 2016)
Busca harmônica	<i>Timetabling</i>	(ANWAR <i>et al.</i> , 2014)
Enxame de partículas	<i>Production Scheduling</i>	(KOULINAS <i>et al.</i> , 2014)
	<i>Flow-Shop</i>	(LIN <i>et al.</i> , 2017)
	<i>Job Shop Scheduling</i>	(NGUYEN, ZHANG, 2017)
Colônia de formigas combinada com programação genética	<i>Flow-Shop</i>	(CHEN <i>et al.</i> , 2015)
Colônia de abelhas	<i>Intercell Scheduling</i>	(ZHI <i>et al.</i> , 2015)
	<i>Traveling Salesman</i>	(CHOONG <i>et al.</i> , 2017)
Aprendizado por reforço	<i>Production Scheduling</i>	(FALCAO <i>et al.</i> , 2015)
<i>Iterated Local Search</i> combinada com <i>Variable Neighborhood Search</i>	<i>Flow-Shop</i>	(YAHYAOUY <i>et al.</i> , 2015)
<i>Adaptive Thompson Sampling</i>	<i>Flow-Shop</i>	(ALANAZI, 2016)
	<i>Traveling Salesman</i>	(ALANAZI, 2016)
	<i>Personnel Scheduling</i>	(ALANAZI, 2016)
<i>Multistart</i>	<i>Quadratic Assigment</i>	(DOKEROGLU, COSAR, 2016)
<i>Estimation of distribution</i>	<i>Traveling Thief</i>	(MARTINS <i>et al.</i> , 2017)

Tabela 2. Publicações que utilizaram PG como hiper-heurísticas na solução de 15 problemas de otimização combinatória.

Problema	Publicação
<i>Machine Scheduling</i>	(DIMOPOULOS, ZALZALA, 2001)
	(GEIGER <i>et al.</i> , 2006)
	(JAKOBOVIC <i>et al.</i> , 2007)
<i>Timetabling and Scheduling</i>	(PILLAY, BANZHAF, 2007)
	(BADER-EL-DEN <i>et al.</i> , 2009)
	(PILLAY, ÖZCAN, 2017)
<i>Cutting and Packing</i>	(BURKE <i>et al.</i> , 2007)
	(POLI <i>et al.</i> , 2007)
	(KUMAR <i>et al.</i> , 2008)
	(ALLEN <i>et al.</i> , 2009)
	(ÖZCAN, PARKES, 2011)
<i>Traveling Salesman</i>	(GOMEZ, TERASHIMA, 2018)
	(KELLER, POLI, 2007)
<i>Boolean Satisfiability</i>	(NTOMBELA, PILLAY, 2016)
	(BADER-EL-DEN, POLI, 2007)
<i>Job Shop Scheduling</i>	(FUKUNAGA, 2008)
	(TAY, HO, 2008)
	(WANG, 2014)
	(YAN, WU, 2015)
	(YSKA <i>et al.</i> , 2018)
<i>Bandwidth Reduction</i>	(PARK <i>et al.</i> , 2018)
	(KOOHESTANI, POLI, 2011)
<i>Vehicle Routing</i>	(ESPINOZA-NEVAREZ <i>et al.</i> , 2016)
	(SIM, HART, 2016)
	(JACOBSEN-GROCOTT <i>et al.</i> , 2017)
<i>Production Scheduling</i>	(PARK <i>et al.</i> , 2016)
<i>Intercell Scheduling</i>	(LI <i>et al.</i> , 2016)
<i>Constraint Satisfaction</i>	(SOSA-ASCENCIO <i>et al.</i> , 2016)
	(DUMIC <i>et al.</i> , 2018)
<i>Arc Routing</i>	(LIU <i>et al.</i> , 2017)
<i>Traveling Thief</i>	(El YAFRANI <i>et al.</i> , 2018)
<i>Pickup and Delivery</i>	(Van LON <i>et al.</i> , 2018)

3. CONCLUSÃO

Neste texto, foi apresentada uma revisão bibliográfica sobre hiper-heurísticas baseadas em meta-heurísticas. A busca de meta-heurísticas utilizadas para o desenvolvimento de heurística foi realizada por meio do portal *Scopus* e na revisão de Burke et al. (2013). Basicamente, meta-heurísticas são técnicas para resolução de problemas que abrangem uma interação entre procedimentos de otimização local e estratégias de perturbação na busca de solução e meios de continua a busca por uma solução melhor no espaço de solução.

Conforme apresentado nas tabelas 1 e 2, programação genética é a meta-heurística mais utilizada como base para a construção de hiper-heurísticas e, até o ano de 2013, era

quase a única utilizada. Todavia, a partir do ano seguinte, novas meta-heurísticas passaram a ser exploradas na implementação de hiper-heurísticas. A utilização de hiper-heurísticas para a solução aproximada de problemas de otimização combinatória está tão intensa que, somente no ano de 2017, houve quase o mesmo número de publicações que descrevem aplicações de hiper-heurísticas em relação aos anos anteriores. Também, até a metade do ano presente, já se tem quase o número de aplicações do ano passado (veja a figura 1).

WOLPERT e MACREADY(1997) mostraram que não existe a melhor meta-heurística para qualquer problema. Assim, não foi possível determinar um grupo de meta-heurísticas, utilizadas como hiper-heurísticas, para ser aplicado a um grupo específico de problemas.

No caso de um problema não listado nas tabelas 1 e 2, sugere-se aplicação de programação genética para se desenvolver uma hiper-heurística para o problema. Caso a meta-heurística já tenha sido aplicada no problema, entre as demais 11 meta-heurísticas listadas nas Tabelas 1 e 2, as mais populares são busca tabu, colônia de formigas, otimização por enxame de partículas, *Variable Neighborhood Search* e *Iterated Local Search*. Desse modo, são encontrados materiais sobre essas meta-heurísticas de forma fácil para se ter base teórica para aplicá-las no problema analisado.

4. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o suporte da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

- Alanazi, F. **Adaptive Thompson sampling for hyper-heuristics**. In 2016 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence(SSCI), 2016.
- Allen, S., Burke, E.K., Hyde, M., e Kendall, G. **Evolving reusable 3D packing heuristics with genetic programming**. In Proceedings of the Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation, New York, NY, USA. ACM, 2009.
- Anwar, K., Awadallah, M. A., Khader, A. T., and Al-Betar, M. A. **Hyper-heuristic approach for solving nurse rostering problem**. In Computational Intelligence in Ensemble Learning. IEEE, 2014.
- Aziz, Z. **Ant Colony Hyper-heuristics for Travelling Salesman Problem**. Elsevier, 2015.
- Bader-El-Den, M., Poli, R., and Fatima, S. **Evolving timetabling heuristics using a**

grammar-based genetic programming hyper-heuristic framework. Memetic Computing, 2009.

Bader-El-Den, M. B. and Poli, R. **A GP-based hyper-heuristic framework for evolving 3-sat heuristics.** In Proceedings of the 9th Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation, New York, NY, USA. ACM, 2007.

Burke, E., Kendall, G., Newall, J., Hart, E., Ross, P., and Schulenburg, S. **HyperHeuristics: An Emerging Direction in Modern Search Technology.** Springer US, Boston, MA, 2003.

Burke, E. K., Gendreau, M., Hyde, M. R., Kendall, G., Ochoa, G., Ozcan, E., and Qu, R. **Hyper-heuristics: a survey of the state of the art.** Journal of the Operational Research Society, 2013.

Burke, E. K., Hyde, M. R., Kendall, G., and Woodward, J. R. **Automatic heuristic generation with genetic programming: evolving a jack-of-all-trades or a master of one.** In Lipson, H., editor, GECCO, p. 1559–1565. ACM, 2007.

Chakhlevitch, K. and Cowling, P. **Adaptive and Multilevel Metaheuristics, Studies in Computational Intelligence,** chapter Hyperheuristics: Recent developments, p. 3–29. Springer: New York, 2008.

Chen, L., Zheng, H., Zheng, D., and Li, D. **An ant colony optimization-based hyperheuristic with genetic programming approach for a hybrid flow shop scheduling problem.** In Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation, p. 814–821. IEEE, 2015.

Choong, S. S., Wong, L. P., Lim, C. P. **An artificial bee colony algorithm with a modified choice function for the Traveling Salesman Problem.** IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), Banff, AB, 2017, pp. 357-362

Cowling, P., Kendall, G., and Soubeiga, E. **A Hyperheuristic Approach to Scheduling a Sales Summit,** pages 176–190. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

Dimopoulos, C. and Zalzala, A. (2001). **Investigating the use of genetic programming for a classic one-machine scheduling problem.** Advances in Engineering Software, 32(6):489–498, 2001.

Dokeroglu, T. and Cosar, A. **A novel multistart hyper-heuristic algorithm on the grid for the quadratic assignment problem.** Eng. Appl. Artif. Intell., 52(C):10–25, 2016.

Dorigo, M. and Stutzle, T. **The Ant Colony Optimization Metaheuristic: Algorithms, Applications, and Advances,** p. 250–285. Springer US, Boston, MA, 2003.

El Yafrani, M., Martins, M., Wagner, M., Ahiod, B., Delgado, M., Luders, R. **A hyperheuristic approach based on low-level heuristics for the travelling thief problem.** Genetic Programming and Evolvable Machines, p. 121-150, Junho 2018.

Espinoza-Nevarez, D., Ortiz-Bayliss, J. C., Terashima-Marin, H., and Gatica, G. **Selection and generation hyper-heuristics for solving the vehicle routing problem with time windows.** In Proceedings of the 2016 on Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion, p. 139–140, New York, NY, USA. ACM, 2016.

- Falcao, D., Madureira, A., and Pereira, I. **Q-learning based hyper-heuristic for scheduling system self-parameterization**. In 2015 10th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), p. 1–7, 2015.
- Fontoura, V. D., Pozo, A. T. R., Santana, R. **Automated design of hyper-heuristics components to solve the PSP problem with HP model**. IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), San Sebastian, 2017, pp. 1848-1855.
- Fukunaga, A. S. **Automated discovery of local search heuristics for satisfiability testing**. Evolutionary Computation, 16(1):31–61, 2008.
- Geiger, C. D., Uzsoy, R., and Aytug, H. **Rapid modeling and discovery of priority dispatching rules: An autonomous learning approach**. Journal of Scheduling, 9(1):7–34, 2006.
- Gendreau, M. **An Introduction to Tabu Search**. Springer US, Boston, MA, 2003.
- Gomes, J. C., Terashima-Marin, H. **Evolutionary hyper-heuristics for tackling bi-objective 2D bin packing problems**. Genetic Programming and Evolvable Machines, p.151-181, Junho 2018.
- Jacobsen-Grocott, J., Mei, Y., Chen, G., Zhang, M. **Evolving heuristics for Dynamic Vehicle Routing with Time Windows using genetic programming**. IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), San Sebastian, p. 1948-1955, 2017.
- Jakobovic, D., Jelenkovic, L., and Budin, L. **Genetic Programming Heuristics for Multiple Machine Scheduling**, p. 321–330. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2007.
- Jian L., Zhou-Jing W., Xiaodong L. **A backtracking search hyper-heuristic for the distributed assembly flow-shop scheduling problem**. Swarm and Evolutionary Computation, p. 124-135, 2017.
- John P., Yi M., Su N., Gang C., Mengjie Z. **An investigation of ensemble combination schemes for genetic programming based hyper-heuristic approaches to dynamic job shop scheduling**. Applied Soft Computing, p. 72-86, 2018.
- Liu, Y., Mei, Y., Zhang, M., Zhang, Z. **Automated heuristic design using genetic programming hyper-heuristic for uncertain capacitated arc routing problem**. Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO '17). ACM, New York, NY, USA, 290-297, 2017.
- Keller, R. E. and Poli, R. **Linear genetic programming of parsimonious metaheuristics**. In 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation, p. 4508–4515, 2007.
- Koohestani, B. and Poli, R. **A hyper-heuristic approach to evolving algorithms for bandwidth reduction based on genetic programming**. In Bramer, M., Petridis, M., and Nolle, L., editors, SGA1 Conf., p. 93–106. Springer, 2011.
- Koulinas, G. and Anagnostopoulos, K. **A new tabu search-based hyper-heuristic algorithm for solving construction leveling problems with limited resource availabilities**. Automation in construction, 31:169–175, 2013.

Koulinas, G., Kotsikas, L., and Anagnostopoulos, K. **A particle swarm optimization based hyper-heuristic algorithm for the classic resource constrained project scheduling problem.** *Information Sciences*, 277:680 – 693, 2014.

Kumar, R., Joshi, A. H., Banka, K. K., and Rockett, P. I. **Evolution of hyperheuristics for the biobjective 0/1 knapsack problem by multiobjective genetic programming.** In *Proceedings of the 10th Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation, GECCO'08*, p. 1227–1234, New York, NY, USA. ACM, 2008.

Li, D., Meng, X., Li, M., and Tian, Y. **An aco-based intercell scheduling approach for job shop cells with multiple single processing machines and one batch processing machine.** *J. Intelligent Manufacturing*, 27(2):283–296, 2016.

Martins, M. S. R., El Yafrani, M., Delgado, M. R. B. S., Wagner M., Ahiod, B., and Ricardo. **HSEDA: a heuristic selection approach based on estimation of distribution algorithm for the travelling thief problem.** In *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference*. ACM, New York, NY, USA, p. 361-368, 2017.

Mateja Đ., Dominik Š., Rebeka Č., Domagoj J. **Evolving priority rules for resource constrained project scheduling problem with genetic programming.** *Future Generation Computer Systems*, Volume 86, 2018, p. 211-221.

Nguyen, S., Zhang, M. **A PSO-based hyper-heuristic for evolving dispatching rules in job shop scheduling.** *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, San Sebastian, pp. 882-889, 2017.

Ntombela, N. and Pillay, N. **Evolving construction heuristics for the symmetric travelling salesman problem.** In *Proceedings of the Annual Conference of the South African Institute of Computer Scientists and Information Technologists, SAICSIT '16*, p. 30:1– 30:5, New York, NY, USA. ACM, 2016.

Oltean, M. and Dumitrescu, D. **Evolving TSP Heuristics Using Multi Expression Programming**, p. 670–673. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2004.

Pillay, N., Özcan, E. **Automated generation of constructive ordering heuristics for educational timetabling.** *Annals of Operations Research*, Setembro 2017.

Özcan, E., Parkes, A. J. **Policy matrix evolution for generation of heuristics.** In *Proceedings of the 13th Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation, GECCO '11*, p. 2011–2018, New York, NY, USA. ACM, 2011.

Park, J., Mei, Y., Chen, G., and Zhang, M. **Niching genetic programming based hyperheuristic approach to dynamic job shop scheduling: An investigation into distance metrics.** In *Proceedings of the 2016 on Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion, GECCO '16 Companion*, p. 109–110, New York, NY, USA. ACM, 2016.

Pillay, N. and Banzhaf, W. **A Genetic Programming Approach to the Generation of Hyper-Heuristics for the Uncapacitated Examination Timetabling Problem**, p. 223–234. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2007.

Poli, R., Woodward, J. R., and Burke, E. K. **A histogram-matching approach to the evolution of bin-packing strategies.** In *Proceedings of the IEEE Congress on*

Evolutionary Computation, CEC 2007, 25-28 Setembro 2007, Singapore, p. 3500–3507, 2007.

Ross, P. **Search Methodologies: Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques**, capítulo Hyper-Heuristics, p. 529–556. Springer: Berlin, 2005.

Silva, L. M., Gonzaga de Oliveira, S. L. **Uma visão geral sobre hiper-heurísticas baseadas em meta-heurísticas aplicadas em problemas de otimização combinatória**. Encontro Nacional de Modelagem Computacional, SBMAC, 2017. *Aceito para publicação*.

Sim, K., Hart, E. **A combined generative and selective hyper-heuristic for the vehicle routing problem**. In Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference 2016, GECCO '16, p. 1093–1100, New York, NY, USA. ACM, 2016.

Sosa-Ascencio, A., Ochoa, G., Terashima-Marin, H., and Conant-Pablos, S. E. **Grammar-based generation of variable-selection heuristics for constraint satisfaction problems**. Genetic Programming and Evolvable Machines, 17(2):119–144, 2016.

Tay, J. C., Ho, N. B. **Evolving dispatching rules using genetic programming for solving multi-objective flexible job-shop problems**. Computers & Industrial Engineering, 54(3):453 – 473, 2008.

Tian, Y., Li, D., Zhou, P., Guo, R., and Liu, Z. **An aco-based hyperheuristic with dynamic decision blocks for intercell scheduling**. Journal of Intelligent Manufacturing, p. 1–17, 2016.

Van Lon, R. R. S., Branke, J., Holvoet, T. **Optimizing agents with genetic programming: an evaluation of hyper-heuristics in dynamic real-time logistics**. Genetic Programming and Evolvable Machines, p. 93-120, Junho 2018.

Wang, H. **An adaptive hyper-heuristics genetic algorithm for stochastic job shop scheduling problem**. In Mechatronics Engineering, Computing and Information Technology, volume 556 of Applied Mechanics and Materials, p. 3956–3960. Trans Tech Publications, 2014.

Wolpert, D. H. and Macready, W. G. **No free lunch theorems for optimization**. Trans. Evol. Comp, 1(1):67–82, 1997.

Yahyaoui, H., Krichen, S., Derbel, B., and Talbi, E.-G. **A hybrid ils-vnd based hyperheuristic for permutation flowshop scheduling problem**. In Ding, L., Pang, C., Leong, M.-K., Jain, L. C., and Howlett, R. J., editors, KES, volume 60 of Procedia Computer Science, p. 632–641. Elsevier, 2015.

Yan, J. and Wu, X. **A genetic based hyper-heuristic algorithm for the job shop scheduling problem**. In Proceedings of the 2015 7th International Conference on Intelligent HumanMachine Systems and Cybernetics - Volume 01, IHMSC '15, p. 161–164, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society, 2015.

Yska, D., Mei, Y., Zhang, M. **Genetic Programming Hyper-Heuristic with Cooperative Coevolution for Dynamic Flexible Job Shop Scheduling**. Genetic Programming, Springer International Publishing, 2018.

Zalilah, A. A. **The effect of pheromone in ant-based hyper-heuristic**. In Advanced Research in Material Science and Mechanical Engineering, volume 446 of Applied

Mechanics and Materials, p. 1202–1206. Trans Tech Publications, 2014.

Zamli, K. Z., Alkazemi, B. Y., and Kendall, G. **A tabu search hyper-heuristic strategy for t-way test suite generation**. Appl. Soft Comput., 44(C):57–74, 2016.

Zhi, L., Yunna, T., Dan, Z., Zhaohe, L., and Dongni, L. **An artificial bee colony based hyper-heuristic approach for inter-cell scheduling considering transportation capacity**. In 2015 34th Chinese Control Conference (CCC), p. 2645–2650, 2015.