

Heurísticas para o Problema do Anel-Estrela Capacitado de Custo Mínimo

William Felipe C. Tavares¹

Jean P. T. Torres²

Edna A. Hoshino

Faculdade de Computação, UFMS, Campo Grande, MS

Dentre as variantes do clássico problema de roteamento de veículos, o problema dos anéis-estrelas capacitados (CmRSP), introduzido por Baldacci, Dell'Amico e González [1], possui aplicações em áreas de logística, telecomunicações e projetos de redes. Este problema consiste em encontrar um total de m anéis-estrelas (*rings-stars*) para conectar todos os clientes e um depósito a um custo mínimo respeitando-se a capacidade associada a cada anel-estrela. Como um exemplo de aplicação, considere o problema de distribuir produtos armazenados em depósitos a um conjunto de clientes geograficamente distribuídos utilizando-se uma frota de m veículos, cada um dos quais possuindo uma capacidade de carga limitada. Para realizar a distribuição, é necessário encontrar uma rota circular para cada um dos veículos, partindo do depósito, e determinar distribuições indiretas para clientes não visitados pelas rotas. As distribuições indiretas simulam as situações em que é mais vantajoso estocar produtos em clientes e, posteriormente, distribuir a outros clientes próximos por meios mais econômicos. Essa configuração circular da rota mais as distribuições indiretas formam a configuração de anéis-estrelas. Quando o CmRSP é resolvido por algoritmos exatos *branch-and-price*, surge a necessidade de se resolver um subproblema (comumente chamado de problema de *pricing*) para encontrar um único anel-estrela capacitado de custo reduzido mínimo (CRSP). O subproblema de *pricing* resolvido no algoritmo exato *branch-cut-price* proposto por Hoshino e de Souza [3] é computacionalmente caro, visto que o CRSP é NP-difícil, motivo pelo qual há um grande interesse no desenvolvimento de heurísticas para resolvê-lo.

Movidos por essa motivação, neste trabalho foram propostas duas heurísticas para resolver o CRSP, uma baseada na meta-heurística *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* (GRASP) e outra baseada na *Variable Neighborhood Search* (VNS) [2,4]. Na fase de construção da heurística GRASP proposta, foram consideradas inclusões de vértices em dois anéis-estrelas simultaneamente com a possibilidade de junção de ambos para formar um único anel-estrela de menor custo. Na fase de busca local, foram feitas operações que inserem vértices, trocam vértices de posições no ciclo do anel-estrela e alteram os vértices pendurados na configuração de estrela. O VNS utilizou o anel-estrela gerado pelo GRASP

¹Bolsista de Iniciação Científica do CnPq-UFMS

²Bolsista Capes

como solução inicial. Na fase de *shaking*, optou-se por remover vértices do anel-estrela. Para a definição das vizinhanças, utilizou-se as mesmas buscas locais projetadas para a heurística GRASP.

Para avaliar a qualidade das soluções geradas pelas heurísticas desenvolvidas, o CRSP foi modelado por programação linear inteira e um algoritmo exato *branch-and-bound* foi implementado utilizando-se a biblioteca SCIP e o resolvidor CPLEX³ para obter limitantes primais e duais para o problema. Foram realizados testes utilizando-se 40 instâncias da literatura nos três algoritmos. Enquanto o GRASP foi executado por mil iterações, tendo em média um tempo total de execução de 15,5 segundos, o VNS foi executado por 10 minutos mais o tempo do GRASP, e o exato por 5 horas. O gap de dualidade do exato foi de 9,62% na média, o que indica que há dificuldade do algoritmo exato em resolver as instâncias testes. Nos experimentos realizados, o GRASP obteve soluções com valores a uma distância média de 6,84% dos valores das soluções primais geradas pelo algoritmo exato e obteve soluções melhores que o exato, superando o valor dos limitantes primais em 4,22%. Como esperado, o VNS obteve resultados melhores, reduzindo a distância dos limitantes primais em 4,61% e obtendo soluções melhores em 20,00% das instâncias, superando em média 5,13%. Nas demais situações, a distância média do valor obtido do exato foi de apenas 3,09%, evidenciando a qualidade das soluções geradas pela heurística.

Nos testes analisados, a heurística VNS, proposta neste trabalho, obteve soluções com valores muito próximos, algumas vezes melhores que as das melhores soluções alcançadas por um algoritmo exato e a um baixo custo computacional. Observou-se que a heurística GRASP, que foi utilizada para produzir as soluções iniciais para a VNS, foi uma das responsáveis pela qualidade da solução gerada, uma vez que já produzia soluções de boa qualidade. Espera-se analisar a qualidade das soluções em outras instâncias da literatura e propor novas operações de *shaking* e explorar outras vizinhanças no VNS.

Referências

- [1] R. Baldacci, M. Dell'Amico, J. S. González. The capacitated m-ring-star problem. *Operations Research*, volume 55, issue 6, pages 1147-1162, 2007. ISSN: 0030-364X. DOI: 10.1287/opre.1070.0432.
- [2] T. A. Feo, M. G. C. Resende. Greedy randomized adaptive search procedures. *Journal of global optimization*, volume 6, issue 2, pages 109-133, 1995. ISSN: 0925-5001. DOI: 10.1007/BF01096763.
- [3] E. A. Hoshino, C. C. de Souza, A branch-and-cut-and-price approach for the capacitated m-ring-star problem. *Discrete Applied Mathematics*, volume 160, issue 18, pages 2728-2741, 2012. ISSN 0166-218X. DOI: 10.1016/j.dam.2011.11.029.
- [4] N. Mladenović, P. Hansen. Variable neighborhood search. *Computers & Operations Research*, volume 24, issue 11, pages 1097-1100, 1997. ISSN: 0305-0548. DOI: 10.1016/S0305-0548(97)00031-2.

³Os autores agradecem aos desenvolvedores do SCIP e à licença acadêmica do CPLEX.