

7

Conclusões e Trabalhos Futuros

Esta tese apresentou heurísticas para o problema das p -medianas conectadas. O estudo de modelos que unem as áreas de localização de facilidades e de projeto de redes é um tema recente de pesquisa, como observado na revisão bibliográfica.

Duas formulações de programação linear inteira foram apresentadas para o problema: um modelo baseado em fluxos em redes com várias comodidades e um modelo baseado em árvore geradora mínima restrita por grau. Comparações entre as duas formulações foram realizadas em 168 instâncias testes utilizando-se um resolvidor de programação inteira. As instâncias testadas são pequenas em termos de números de vértices e quantidade de facilidades a serem instaladas. Ambos os modelos encontraram a solução ótima para os 168 problemas, porém, o modelo por árvore resolveu à otimalidade as instâncias em um tempo de processamento bem menor do que o modelo por fluxos. Generalizando-se o problema das p -medianas conectadas, definiu-se também o problema de localização de facilidades não-capacitadas conectadas e um modelo baseado em árvore geradora mínima restrita por grau para o mesmo.

Uma estratégia de busca local híbrida foi proposta para o problema das p -medianas conectadas. Primeiramente executou-se uma busca local rápida, de qualidade inferior e, logo em seguida, uma busca local lenta, de qualidade superior. A estratégia de melhoria iterativa e a técnica de circularidade foram utilizadas com o objetivo de acelerar as iterações da busca local. Ganhos consideráveis foram obtidos em termos de tempo de processamento, incorporando-se um simples teste para evitar a execução da heurística construtiva Prim que possui um custo computacional muito alto.

Duas heurísticas também foram propostas e comparadas: um algoritmo GRASP e VNS acrescidos de uma estratégia de filtro e do procedimento de reconexão por caminhos. Ambos utilizaram a mesma heurística construtiva para gerar uma solução inicial e a mesma estratégia de busca local híbrida. Com o objetivo de tentar diminuir os elevados tempos de processamento apresentados pela busca local nas maiores instâncias, uma estratégia de filtro foi utilizada em ambos os algoritmos entre a busca local mais rápida e a busca local mais lenta. Testes computacionais mostraram que o filtro reduz o tempo de processamento às custas de perdas na qualidade média das soluções. Com

o objetivo de tentar melhorar a qualidade das soluções, utilizou-se reconexão por caminhos como estratégia de intensificação após a execução da busca local em ambas as heurísticas. Gráficos de distribuição de probabilidade mostraram a efetividade do procedimento tanto no GRASP quanto no VNS.

As comparações entre as heurísticas foram realizadas através de três testes diferentes: utilizando-se tempos distintos de execução, gráficos do tempo gasto para atingir o valor alvo e através de soluções ótimas encontradas pela formulação por árvore em 49 instâncias proporcionais. Em geral, nos três testes, os resultados mostraram uma pequena superioridade do GRASP em relação ao VNS. As heurísticas obtiveram a solução ótima em 42 problemas e uma análise minuciosa revelou a necessidade de incorporar um passo adicional em ambas as heurísticas. A adição do passo de pós-otimização se mostrou efetiva pois possibilitou as heurísticas encontrarem duas novas soluções ótimas e melhorarem a melhor solução conhecida em diversas instâncias.

A busca local concatenada obteve ganhos significativos nos tempos de processamento em relação à versão básica nas instâncias testadas. Porém, para os maiores problemas, a estratégia híbrida apresentou tempos de processamento elevados. Duas possíveis extensões poderiam ser estudadas com o objetivo de diminuir os altos tempos de processamento apresentados pelas heurísticas nas maiores instâncias: incorporar estimativas para o problema de Steiner na vizinhança dos algoritmos de busca local estudados, como apresentado em [51], com a finalidade de restringir ainda mais os vizinhos a serem avaliados, evitando-se, assim, a execução da heurística Prim a cada nova troca entre uma facilidade que não está na solução com uma facilidade que faz parte da solução. A outra vertente seria o desenvolvimento de implementações paralelas em *clusters* das heurísticas apresentadas nessa tese.

A formulação por árvore para o problema das p -medianas conectadas possibilitou a obtenção de soluções ótimas somente para as instâncias pequenas. Uma possível extensão a ser investigada é melhorar e integrar as formulações propostas para o problema em algoritmos do tipo *branch and bound* e *branch and price*, de modo a resolver instâncias de maior porte. Outra alternativa interessante é estudar a utilização da relaxação lagrangeana para a obtenção de limites inferiores para o problema ou mesmo para a construção de heurísticas lagrangeanas.

Finalmente, pode-se desenvolver algoritmos aproximados para o problema de localização de facilidades não-capacitadas conectadas, além de estudar extensões e variantes de ambos os modelos. Nos dois problemas apresentados na tese, as facilidades podem servir uma quantidade ilimitada de demanda. Uma possível variante introduziria limites na quantidade de demanda que as facilidades podem servir, isto é, as facilidades seriam consideradas capacitadas.