

7

Considerações Finais

Este trabalho teve início com um levantamento bibliográfico sobre o *Team Orienteering Problem*. Nessa pesquisa, foram identificados alguns trabalhos que utilizam metaheurísticas puras como Tang e Miller-Hooks (TMH05), Archetti et al. (AHS07) e Vansteenwegen et al. (VSBO09) e um trabalho em especial que propôs um algoritmo *Branch-and-Price* para o problema (Boussier et al. (BFG07)).

O passo seguinte foi desenvolver as formulações apresentadas no capítulo 2 e obter limites superiores usando a relaxação da terceira formulação. Essa relaxação foi resolvida por geração de colunas. O subproblema de geração de colunas foi resolvido por programação dinâmica em tempo pseudo-polinomial. Este algoritmo gera rotas não elementares, que são rotas nas quais subciclos são permitidos. Enquanto que o trabalho de Boussier et al. (BFG07) utilizou rotas elementares, nesta tese, optou-se por utilizar rotas não elementares a fim de, no futuro, propor cortes e, com isso, obter limites melhores.

Evidentemente, os limites superiores obtidos sem usar cortes são maiores ou iguais aos limites encontrados por Boussier et al. (BFG07). Dada a necessidade de reduzir esses limites alguns cortes já propostos na literatura foram testados. Como exemplo, pode-se citar os *Triangle Clique Cuts* propostos por (PPU09). Todavia, esses cortes surtiram pouco efeito no sentido de encontrar limites superiores menores.

Com a nova família de cortes, denominada *min-cut*, foi possível encontrar bons limites superiores compatíveis com os melhores da literatura em alguns casos. Esses cortes funcionam como uma eliminação de subciclos e assim, compensam o fato das rotas serem não elementares.

O passo seguinte foi desenvolver o algoritmo *Branch-Cut-and-Price*. Primeiramente, foi testado o *branching* sobre as variáveis de visitação dos vértices. Posteriormente, foi testado *branching* sobre as variáveis de arcos. Com os cortes e o BCP, os limites encontrados melhoraram significativamente, conforme discutido no capítulo 6.

Todavia, surgiu outro problema: encontrar as soluções inteiras. O algoritmo BCP foi capaz de encontrar excelentes limites superiores, de provar a

otimalidade de alguns resultados encontrados por heurísticas da literatura, chegou a encontrar soluções inteiras melhores do que as já publicadas, mas, para boa parte das instâncias de Chao et al. (CGW96) encontrar uma solução inteira ainda era muito difícil.

Nesse momento, surgiu a idéia de usar o BCP como uma busca local capaz de explorar grandes vizinhanças. Foram então definidas as vizinhanças circulares e elipsoidais, conforme descrito no capítulo 5. As vizinhanças elipsoidais foram mais promissoras. Todavia, a dificuldade de se encontrar soluções inteiras persistia também nas buscas dessas vizinhanças. A maior parcela do tempo computacional gasto é na geração de colunas. Como o tempo máximo de duração das rotas foi tratado com a precisão de duas casas decimais, os valores ficaram muito altos (pois foram multiplicados por 100 para serem tratados como números inteiros) e isso aumenta também o tamanho do problema de geração de colunas. Para encontrar soluções inteiras ao longo da execução das buscas que utilizam BCP, uma heurística foi proposta para gerar uma solução inteira a partir da solução fracionária obtida nos nós pela relaxação linear.

Com isso, finalmente foi possível obter soluções inteiras de qualidade, como foi apresentado no capítulo 6. Essa abordagem mostrou-se muito promissora e pode ser utilizada tanto para gerar soluções de qualidade como para polir soluções encontradas por outros métodos.

7.1 Trabalhos Futuros

Este trabalho abre um leque de possibilidades de trabalhos futuros. As buscas locais que exploram grandes vizinhanças podem ser incorporadas a outras metaheurísticas como VNS, Grasp, Busca Tabu e vir a dar bons resultados.

Na abordagem heurística pretende-se desenvolver outras heurísticas para gerar soluções inteiras de qualidade a partir da solução fracionária. É provável que resultados ainda melhores possam ser obtidos se esse arredondamento for realizado de forma mais eficiente.

Para contornar o fato de que a maior parcela do tempo ser gasto no subproblema de geração de colunas, pode-se desenvolver *pricings* heurísticos e utilizar o exato apenas quando necessário para provar que não há mais rotas com custo reduzido positivo.

Além disso, outra gama de opções de trabalhos pode ser desenvolvida na linha de generalizar tanto a abordagem exata como a abordagem heurística para outros problemas semelhantes como o CTOP e o CPTP descritos no capítulo 1.