

Conclusão

Esse capítulo fecha a dissertação apresentando algumas conclusões que podem ser tiradas a partir dos resultados apresentados e, além disso, mostra algumas possibilidades de trabalhos futuros para tentar melhorar ainda mais os resultados obtidos por algoritmos de BCP para o CVRP.

As figuras 7.1, 7.2 e 7.3 mostram as soluções ótimas para as instâncias E-n76-k10, E-n76-k14 e E-n101-k14. Cada cliente é representado como uma caixa contendo sua demanda. Resolver essas instâncias pela primeira vez pode ser visto como um feito considerável. As instâncias da classe E foram propostas em 1969 [19] e têm sido a principal referência para os algoritmos para o CVRP desde então, aparecendo em dezenas de publicações. Até esse trabalho, essas três instâncias em aberto eram consideradas muito distantes de serem resolvidas, como pode ser mostrado pelos comentários na conclusão de [46]:

In our view, the most pressing problem for research in this field is to understand why certain instances (such as the 'E' instances with 76 vertices) are so difficult. It is possible that there exists an unknown class of valid inequalities which would be effective for these instances. Finding such a class and devising a suitable separation algorithm for it remains a challenge.

(Em nossa visão, o problema mais importante a ser pesquisado nessa campo é o de entender porque certas instâncias (como as instâncias 'E' com 76 vértices são tão difíceis. É possível que exista alguma classe desconhecida de desigualdades válidas que seja eficaz para essas instâncias. Encontrar essa classe e desenvolver um bom algoritmo de separação para a mesma permanece como um desafio.)

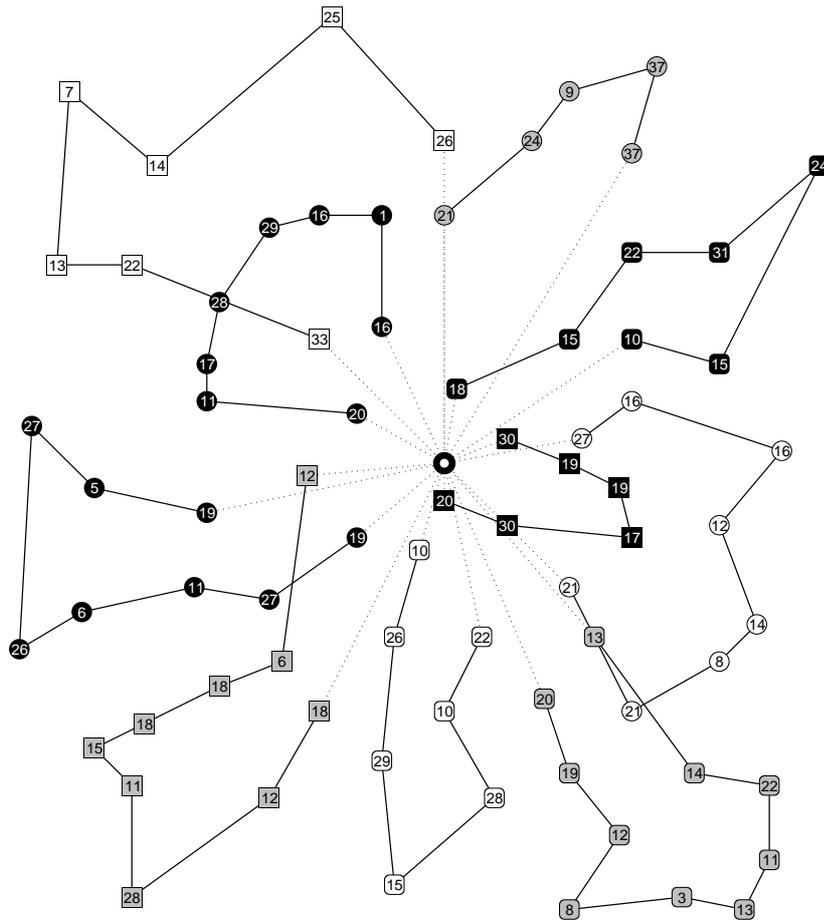


Figura 7.1: Solução ótima para E-n76-k10 (capacidade dos veículos = 140).

Essa dissertação mostrou que combinar cortes conhecidos com geração de colunas é um modo mais prático de melhorar os algoritmos para o CVRP do que procurar por famílias de desigualdades cada vez mais complicadas.

Isso não significa que o nosso algoritmo de BCP não possa ser beneficiado pela continuidade do estudo poliedral do CVRP. Atualmente, os *capacity cuts* são bastante eficazes, sendo que isso se deve em grande parte a sua eficiente heurística de separação. Outras famílias de desigualdades que funcionam bem em algoritmos puros de BC foram utilizadas: *framed capacities*, *multistars*, etc. No entanto, seu efeito foi bastante modesto na prática: apenas na instância E-n101-k8 o limite inferior no nó raiz foi melhorado em mais de duas unidades. Por isso, para que ocorram melhorias na parte de geração de cortes do algoritmo de BCP, novas famílias de desigualdades devem ser desenvolvidas. Infelizmente, procurar desigualdades que definam facetas pode não ser suficiente dentro do esquema de BCP, já que uma faceta para o poliedro do CVRP pode também ser uma faceta do poliedro induzido pela geração de colunas utilizando q -

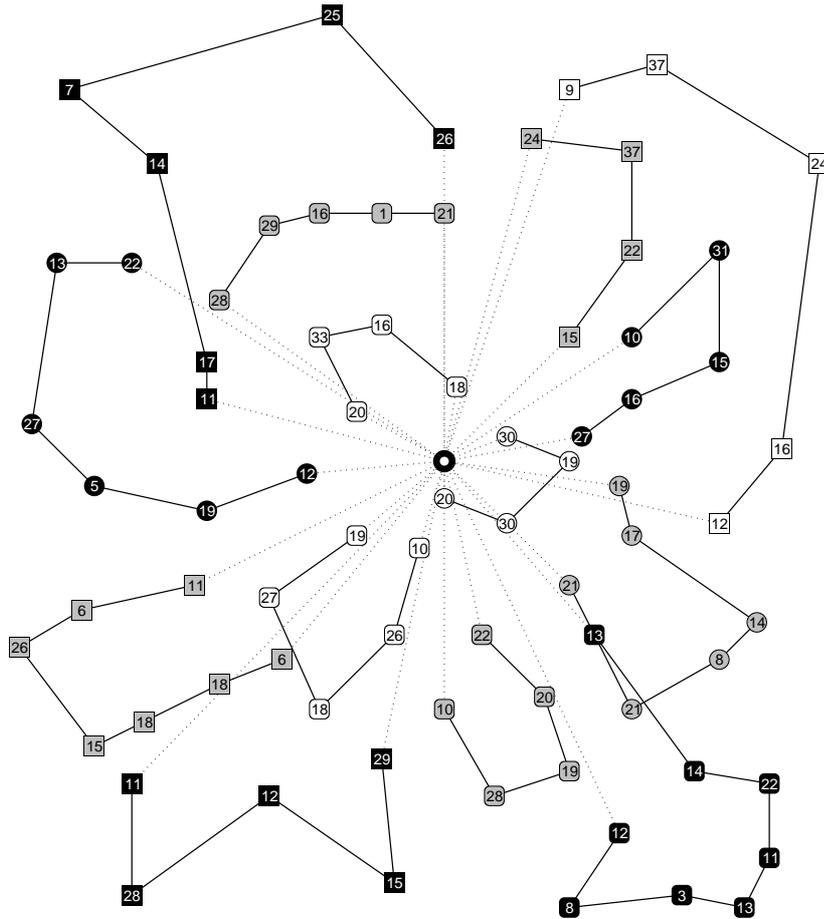


Figura 7.2: Solução ótima para E-n76-k14 (capacidade dos veículos = 100).

rotas. Por exemplo, Letchford e Salazar [50] recentemente provaram que as desigualdades *generalized multistar* são inúteis ao nosso algoritmo de BCP, já que elas não cortam P_2 .

A curto prazo, melhorias no algoritmo de BCP tendem a vir da geração de colunas. O objetivo é desenvolver formas de gerar colunas que estejam o mais próximo possível de q -rotas livres de ciclos. A abordagem de eliminação de s -ciclos escolhida neste trabalho foi eficaz, pelo menos para valores $s \leq 4$. Porém, outras alternativas de restringir as q -rotas podem ser tentadas. Pode-se, por exemplo, proibir q -rotas que visitem vértices em um pequeno conjunto S mais de uma vez. Esse conjunto poderia ser escolhido dinamicamente de forma a eliminar q -rotas com ciclos longos que atrapalham particularmente a qualidade do limite.

A princípio, muitas relaxações para o CVRP - como (usa-se os termos em inglês) *k-degree center trees*, *K-trees*, ou *b-matchings* - poderiam ser usadas em substituição (ou até mesmo em adição) às q -rotas. Porém,

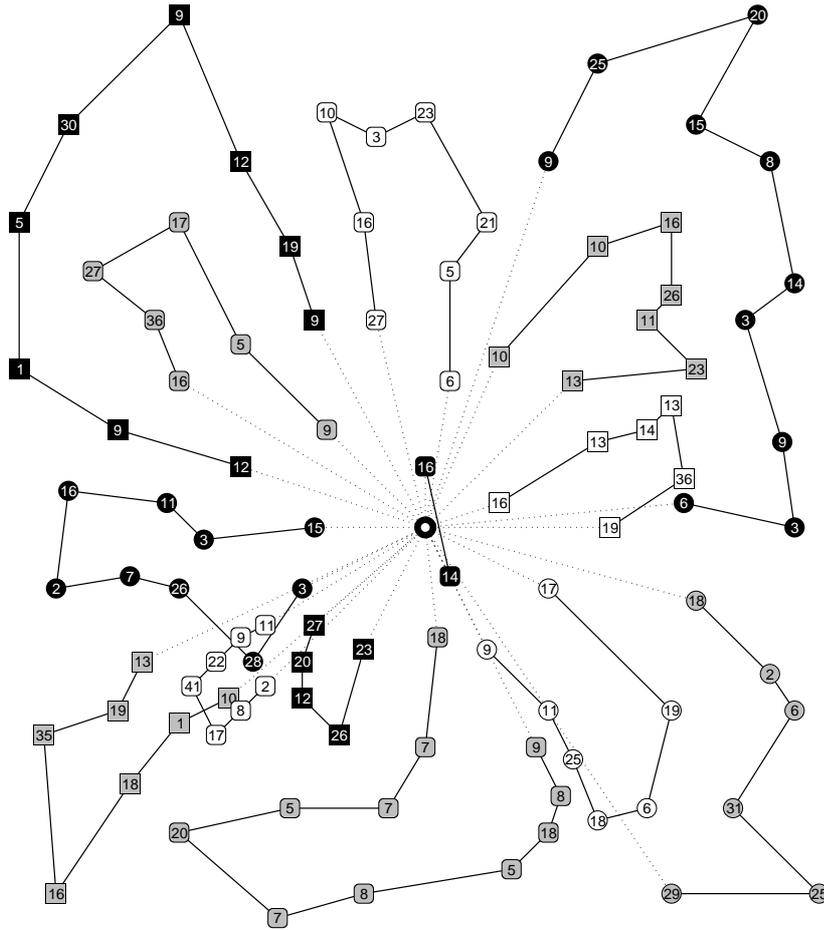


Figura 7.3: Solução ótima para E-n101-k14 (capacidade dos veículos = 112).

acredita-se que isso não teria grande impacto, por duas razões. Primeiro, entre as relaxações para mencionadas acima, somente as q -rotas consideram as demandas dos clientes e a capacidade dos veículos. Esses elementos numéricos é que tornam o CVRP mais difícil na prática que um problema puramente de grafos como o TSP. Parece que as famílias de desigualdades conhecidas para o CVRP, a maioria inspirada em trabalhos anteriores para o TSP, não lidam bem com esse aspecto numérico. As desigualdades dadas implicitamente por P_2 fazem isso melhor. A segunda razão para não utilizar as alternativas acima é que somente as q -rotas levam a um subproblema de geração de colunas que é superpolinomial, mas permanece tratável. Os politopos associados a subproblemas de geração de colunas polinomiais podem ser totalmente descritos e são eficientemente separados, o que geralmente torna um BC puro (ao invés de um BCP) uma alternativa mais rápida. Por exemplo, pode-se fazer a separação sobre o politopo do b -matching de maneira muito eficiente [49, 60]. A separação sobre o politopo das q -rotas, por outro lado, é possível somente de forma implícita, com

geração de colunas.

Mesmo que a geração de colunas e a geração de cortes sejam mantidas da maneira como estão, pode-se acelerar o algoritmo através de uma melhor integração. A tarefa de desenvolver, codificar e “calibrar” um algoritmo de *branch-and-cut* ou de *branch-and-price* é complexa, e requer experiência para escolher entre diversas estratégias possíveis. Além disso, às vezes, alguns “truques computacionais” são utilizados. Quando fala-se de um algoritmo de BCP, as possibilidades são multiplicadas e, logo, as dificuldades. Acredita-se que o algoritmo implementado é muito bom (os resultados mostram isso), porém, acredita-se também que diversas melhorias ainda no BCP ainda trarão resultados ainda melhores.