

4 Conclusão

4.1 Problema de Transferência de Cargas - PTC

4.1.1 Resultados obtidos

Os resultados obtidos na resolução deste problema são muito bons. Com a utilização do Network Simplex o tempo de execução nunca ultrapassou o tempo de uma hora, o que permite fazer uma análise mais profunda do problema prático. Podem-se simular cenários e observar os vários comportamentos possíveis dos atendimentos.

O sistema pode ser utilizado não somente para aplicar o problema real e implementar a solução obtida como também para acrescentar novos veículos, novas filiais e transformar cidades não filiais em filiais. Com isso, a empresa transportadora pode avaliar o impacto destas modificações sem ter de colocá-las efetivamente em prática, evitando assim custos operacionais e avaliações de médio e longo prazo. Conjuntamente com as alterações já indicadas pode-se avaliar o desempenho da frota e da rede de filiais para diversos perfis de demanda e o impacto de operar em novas cidades.

Vimos neste estudo que as restrições adicionais implementadas não quebraram muito o modelo de multifluxos. As soluções obtidas após a relaxação contínua eram quase inteiras permitindo uma rápida resolução do MIP associado. Em geral, e quando for possível, é interessante formular um problema pelo modelo de multifluxos quando as suas restrições adicionais não quebrarem muito a integralidade da solução da relaxação contínua. Os resultados obtidos costumam ser muito bons e rápidos (outros resultados práticos deste tipo de formulações podem ser vistas em Fukasawa [1]).

Outro ponto importante a ser analisado é a comparação dos métodos de resolução da relaxação contínua do problema. O impacto, no tempo de resolução, da escolha do método pode ser muito grande, como foi visto na tabela de

resultados do *PTC*. Dependendo da estrutura do problema um método pode ser mais apropriado do que outro. Pode-se, inclusive, definir o método de resolução em função de alguma característica da instância. No caso do *PTC*, poderíamos utilizar a seguinte estratégia: para instâncias até 7 dias usar o método de Barreiras sem Crossover e nos outros casos utilizar o Network Simplex. A diferença de tempo nas instâncias até 7 dias não é tão impactante mas poderia ser em outros problemas e instâncias. É sempre importante fazer uma análise, mesmo que rápida, dos métodos de resolução para várias instâncias, para poder encontrar os métodos e definir a estratégia de resolução para cada problema.

4.1.2

Trabalhos futuros

Os resultados obtidos no estudo do *PTC* podem ser melhorados com a implementação de novos pré-processamentos e de cortes válidos, podendo o tempo de execução da relaxação contínua ser melhorado significativamente. Os cortes melhoram o resultado da relaxação contínua, podendo diminuir o tempo de resolução do MIP. Com melhores limites inferiores é possível melhorar o critério de corte de nós por limite inferior e ficarmos mais próximos do fechamento do *gap* da árvore de branching. Uma heurística inicial também seria interessante para melhorar ainda mais o corte de nós por limite inferior.

Os motoristas poderiam ser considerados individualmente com a inserção de novas malhas no modelo. Haveria uma malha para cada motorista e só seriam gerados arcos para os cavalos que cada motorista pode conduzir. Poderiam ser levadas em conta várias restrições como horas de trabalho semanal, horas extras etc. Os problemas desta formulação seriam o elevado número de variáveis a serem consideradas e a avaliação do impacto das restrições dos motoristas na resolução do problema geral.

4.2

Problema de Atribuição de Cargas - PAC

4.2.1

Resultados obtidos

Os resultados obtidos na Formulação Compacta do *PAC* mostraram uma diferença significativa no pré-processamento do CPLEX 7.0 para o CPLEX 8.0. O impacto desta melhora foi muito grande na resolução do problema. O pré-processamento do CPLEX é feito em cima da estrutura do modelo que é inserido.

Com estes resultados vemos que é sempre interessante fazer pré-processamentos conceituais antes de inserir o modelo no resolvedor. Com pré-processamentos conceituais acrescentados aos pré-processamentos estruturais do resolvedor é possível diminuir consideravelmente o tamanho dos problemas e, com isso, diminuir significativamente o tempo de resolução.

Pudemos observar que existe um trabalho de programação grande por trás de um processo de Geração de Colunas. Este trabalho parte da definição da estrutura das colunas, de um problema Mestre e de seus sub-problemas. No caso do *PAC* os sub-problemas foram resolvidos por Programação Dinâmica devido ao elevado número de restrições e a possível dificuldade de resolução destes problemas pelo CPLEX, dada a complexidade do modelo tratado. Os limites inferiores obtidos pela Geração de Colunas foram muito melhores do que os obtidos pela Formulação Compacta utilizando o CPLEX 7.0. Dados os pré-processamentos já citados a melhora dos limites inferiores em relação ao CPLEX 8.0 não foram tão impactantes.

A heurística baseada em Geração de Colunas obteve resultados muito bons e, certas vezes, chegou mesmo a obter soluções ótimas. Com as colunas geradas no nó raiz já é possível obter soluções boas e viáveis, além de obter um bom limite inferior para o MIP. Heurísticas baseadas em Geração de Colunas podem, portanto, ser muito boas para problemas com muitas restrições e que possam ser facilmente tratadas em sub-problemas.

O Branch & Price se mostrou competitivo quando comparado com uma formulação com limites inferiores significativamente inferiores. O processo de Branch & Price é muito trabalhoso de ser realizado. Devemos ter uma Geração de Colunas funcional e controlar todo o processo de resolução da árvore de Branching. Isso inclui a gerência da memória, os critérios de escolha do próximo nó, os critérios de branching, tratamento de cortes da árvore entre muitos outros pontos. Para partir para essa abordagem de resolução devemos estar muito conscientes do que será resolvido e de como isso será realizado. Nos casos onde a Geração de Colunas obtém limites inferiores bem superiores as outras formulações o Branch & Price pode se tornar um método muito bom de resolução. Para outros problemas, com limites inferiores mais apertados, só se deve partir para esta abordagem conhecendo profundamente o problema e tendo uma estratégia bem definida para superar os problemas de resolução que ocorrerão.

4.2.2 Trabalhos futuros

Para melhorar os resultados de todos os métodos de resolução implementados deverá ser encontrada uma melhor heurística inicial. A heurística inicial atual obteve resultados ruins e o impacto de uma heurística melhor pode ser muito grande em todos os tempos de resolução. Esta nova heurística poderá ser baseada na já existente acrescentando uma busca local ao final da execução da atual. Outra abordagem pode ser a implementação de uma metaheurística como uma *Busca Tabu* ou um *Algoritmo Genético* (descrições destas metaheurísticas podem ser encontradas em Reeves [9]).

Os resultados do Branch & Price também podem ser melhorados com o desenvolvimento de cortes para o nó raiz e cortes para cada nó da árvore.

4.3 Conclusão Final

Muitos problemas da vida real podem ser resolvidos por técnicas de otimização. Com o aprimoramento dos solvers de resolução e o desenvolvimento das técnicas de otimização tornou-se possível resolver rapidamente vários problemas que antes demoravam muito tempo. Últimamente, têm-se observado uma maior procura deste tipo de sistemas pelas empresas graças a esse avanço de tecnologia. Já é possível aplicar tais soluções em um tempo aceitável pelas empresas. Mas mesmo com problemas complexos, e que demoram a serem resolvidos, podemos encontrar boas soluções em um tempo curto, viabilizando a implantação de tais sistemas de Apoio à Decisão em casos práticos.

No escopo das empresas a solução ótima é sempre desejada mas, em geral, uma boa solução já é muito melhor do que os processos manuais existentes. Este tipo de sistemas tende a aparecer cada vez mais no dia-a-dia das empresas. Podemos esperar, portanto, um grande desenvolvimento da área de Otimização para as próximas décadas e, cada vez mais, uma integração maior nas empresas em problemas estratégicos, táticos e operacionais.