

6 Conclusão

Sempre em movimento o futuro está.

GUERRA NAS ESTRELAS V – O IMPÉRIO CONTRA-ATACA, LUCASFILM, 1980

Este trabalho desenvolveu uma análise sistemática da operação de um pátio ferroviário, classificando-a em três etapas, apresentou a modelagem da terceira etapa deste planejamento e propôs e implementou um algoritmo de solução do problema identificado nesta etapa. Foi desenvolvido também um simulador de manobras com o objetivo de gerar instâncias de teste para ajuste fino dos parâmetros do algoritmo proposto e para análise da aplicabilidade dos resultados.

Com os testes computacionais desenvolvidos, os quais utilizaram dados de entrada gerados pelo simulador de pátio, foi possível concluir que o algoritmo YoYo é capaz de resolver o problema proposto, considerando as suas restrições mais importantes e com muito poucas simplificações do caso real. Foram obtidas boas soluções para instâncias com 60 ordens de serviço, consumindo, nestes casos, menos de 2 minutos de tempo de CPU de um computador pessoal AMD opteron® 244 com *clock* de 1,75 GHz e produzindo uma solução completa em menos de 3 minutos.

Comparado com os demais trabalhos publicados sobre este assunto e adicionando a este grupo o trabalho em Reimann (2002), esta pesquisa apresenta algumas contribuições importantes sob o ponto de vista acadêmico, metodológico e prático.

Considerando as pesquisas acadêmicas relacionadas:

- Charnes & Miller (1956) foi o primeiro trabalho (e durante décadas foi também o único) do qual se tem conhecimento sobre

programação de tarefas em pátios de manobras e, embora o autor apresente detalhes práticos muito importantes, sua abordagem de meados do século passado pode ser considerada apenas como uma pesquisa preliminar do modelo complexo de planejamento de rotas apresentado neste trabalho.

- A solução desenvolvida no presente trabalho se baseia nas idéias propostas em Reimann (2002) para planejamento de transporte de cargas. A partir destas idéias, foram mapeados objetos similares na rotina de pátios ferroviários e adicionadas novas estruturas, parâmetros e procedimentos para tratar as características e restrições específicas do PPOLM. Além disso, foi proposta uma nova regra de atualização de feromônios que se mostrou mais eficiente para tratar o PPOLM.
- Comparado à tese de doutorado Lübbecke (2001), o presente trabalho introduz uma nova abordagem para modelagem do problema, adiciona os requisitos operacionais e restrições que são próprias do pátio utilizado como referência para o estudo de caso e propõe um método de solução original para tratar desta classe de problemas. Particularmente, até o momento de conclusão desta tese não havia nenhuma outra aplicação conhecida de algoritmos ACO para resolver o PPOLM, a menos da pesquisa em Sabino (2004).
- Comparada à modelagem apresentada na dissertação de mestrado em Sabino (2004), este estudo estendeu a análise do PPOLM a mais que um problema de atribuição de locomotivas a manobras, pois considera os potenciais conflitos de alocação de linhas nas rotas das locomotivas de manobras. Além disso, a fase de testes computacionais recebeu uma contribuição significativa com o advento do programa gerador de manobras, o qual possibilitou uma análise mais detalhada dos resultados.

Sob o ponto de vista metodológico, esta pesquisa apresenta as seguintes contribuições:

- Em extensão à tradicional classificação hierárquica do planejamento ferroviário, este trabalho analisa mais detalhadamente o planejamento operacional de pátios e propõe a decomposição do mesmo em três etapas.
- Com relação ao método usado para resolver o PPOLM, é sabido que muitas implementações de ACO tratam de abstrações de problemas do mundo real, como o problema do caixeiro viajante, mas esta pesquisa foi motivada e realmente produz uma solução para um problema da vida real.
- Sobre a determinação das rotas mínimas, embora o método utilizado seja o conhecido algoritmo de Dijkstra, a modelagem e estrutura de dados utilizada, bem como a criação do conceito de distância variável no tempo e o tratamento dos conflitos de alocação de linhas constitui, por si só, uma das contribuições deste trabalho.

Finalmente, sob o aspecto prático, o projeto de aplicação do algoritmo aqui proposto é atualmente uma realidade. Encontra-se em andamento a implementação do YoYo como núcleo de uma ferramenta de suporte à decisão para o planejamento operacional de pátio ferroviário. A conclusão deste projeto concederá a este trabalho a oportunidade de implementação na vida real, contribuindo para a melhoria dos processos de negócio.

As seguintes iniciativas são possibilidades de extensão futura desta pesquisa:

- Refinamento da estimativa da velocidade de deslocamento da locomotiva, o que aumentaria a precisão da previsão de conflito por alocação de linhas nas rotas das locomotivas;
- Implementação e testes do algoritmo proposto para cálculo de rotas mínimas utilizando o custo variável dinâmico;
- Implementação de uma versão do algoritmo proposto utilizando processamento paralelo. Desta forma, é provável que seja possível obter soluções melhores em menor tempo de processamento e sem aumento considerável do custo dos recursos computacionais

necessários, já que nota-se uma proliferação de computadores com processadores de dois núcleos no mercado;

- Aperfeiçoamento do algoritmo do programa SOGY, com a introdução de variáveis aleatórias independentes para controlar o fluxo de vagões por cada área do pátio;
- Desenvolvimento de um método de aferição do grau de similaridade dos resultados do programa SOGY com manobras reais, possibilitando assim a avaliação da qualidade da simulação e fornecendo, portanto, uma referência para aprimoramento do programa;
- Verificação da viabilidade de modelagem do PPOLM como problema de programação inteira e implementação de novo algoritmo de solução para o mesmo, utilizando as melhores técnicas de obtenção de solução exata para este tipo de problema. O objetivo, neste caso, seria verificar se é possível obter a solução do PPOLM em um tempo razoável o bastante para a sua aplicação na vida real.
- Desenvolvimento de uma análise de impacto da implantação do algoritmo YoYo em um sistema ferroviário em operação, já que a melhoria das operações de um pátio, isoladamente, pode provocar gargalos em outros pátios ou em trechos da ferrovia. Esta análise de impacto pode identificar a necessidade de outras ferramentas para tornar viável a implantação da solução proposta em um pátio real.