

8. Conclusões e Sugestões

8.1. Conclusão

O modelo apresentado no capítulo 6 mostrou-se bastante eficaz, porém limitado pela complexidade do problema à medida que o número de trabalhos aumenta.

A teoria apresentada para os modelos E/T trata, em sua maioria, com os problemas onde não se possui uma data prometida, nem há a inserção de tempos ociosos entre os trabalhos. Com isso, o grande objetivo é minimizar o tempo de conclusão máximo (*makespan*). Mesmo em alguns trabalhos com datas prometidas distintas, ainda não são levados em consideração os tempos ociosos entre os trabalhos e até nesses trabalhos já é percebida a dificuldade da busca pela solução ótima para um número de trabalhos maior que 20.

Dessa forma, o presente trabalho atingiu plenamente os objetivos inicialmente propostos e de maneira bastante satisfatória, atingindo-se um valor mínimo para as somas dos desvios em relação às datas prometidas, devidamente penalizados, para os 19 trabalhos, sequenciando de forma ótima todos os trabalhos.

Como mostrado em 7.5, a sequência ótima é dada por:

Fase 2 da peça 10 → Peça 4 → Peça 2 → Peça 9 → Peça 3 → Fase 1 da peça 10
→ Peça 8 → Peça 7 → Fase 1 da peça 5 → Fase 1 da peça 6 → Fase 2 da peça 6
→ Fase 2 da peça 5 → Peça 1

Além disso, todos os resultados encontrados no capítulo 7 são bastante coerentes, pois comprovam a teoria e chegam a um valor ótimo da função objetivo, minimizando os desvios em relação às datas prometidas, ou bem próximo do ótimo, como no caso da seção 7.7, para 19 trabalhos sem data prometida, onde foi feita uma aproximação da sequência dos tempos de processamento, tomando como base o Problema do Caixeiro Viajante.

O problema principal deste trabalho, resolvido na seção 7.5, que é achar a sequência ótima de produção através da minimização dos desvios devidamente ponderados em relação às datas prometidas distintas para 19 trabalhos com tempos de preparação de máquina entre os trabalhos, leva às seguintes conclusões:

- A inserção de tempos ociosos entre os trabalhos é fundamental, principalmente quando as datas prometidas são demasiadamente distantes umas das outras;
- O problema pode ser subdividido em vários subproblemas de acordo com as datas prometidas, ou seja, os trabalhos orbitam em torno de datas prometidas comuns ou próximas. No entanto, deve-se observar se não ocorrerá interferência entre os trabalhos agrupados pelas datas prometidas e caso isso aconteça, um estudo mais apurado deve ser feito;
- No caso de trabalhos com datas prometidas próximas ou iguais, a sequência ótima dependerá de todos os parâmetros do sistema (tempo de processamento, tempo de *setup* e das penalidades por antecipação e atraso).

8.2. Limitações do Modelo

Assim como o Problema do Caixeiro Viajante, o modelo apresentado é da classe NP-difícil, dessa forma não é possível garantir que a sequência de trabalhos ótima que minimize os desvios seja encontrada em tempo polinomial. (SOUZA, 2011)

No caso do problema com 19 trabalhos, não se tem um tempo de preparação simétrico, ou seja, $S_{ij} \neq S_{ji}$. Sendo assim, o número total de sequências possíveis é de $(n - 1)!$, ou seja, 18!. Supondo que um computador avalie cada sequência de trabalhos em 10^{-8} segundos, seriam necessários 741 dias para analisar todas as sequências!

As técnicas de *branch-and-bound* ou *branch-and-cut* têm por finalidade reduzir o número de soluções a serem analisadas. No entanto, dada a natureza combinatória do problema, pode ser que, no pior caso, todas as soluções tenham que ser analisadas. Este fato impede o uso exclusivo de métodos exatos, dado o tempo proibitivo de se encontrar a solução ótima.

Portanto, em problemas desta natureza, o uso de métodos exatos se torna bastante restrito. Por outro lado, na prática, em geral, é suficiente encontrar uma “boa” solução para o problema, ao invés do ótimo global, o qual, para esta classe de problemas, somente pode ser encontrado após um considerável esforço computacional.

Este é o motivo pelo qual os pesquisadores têm concentrado esforços na utilização de heurísticas para solucionar problemas deste nível de complexidade. Define-se heurística como sendo uma técnica inspirada em processos intuitivos que procura uma boa solução a um custo computacional aceitável, sem, no entanto, estar capacitada a garantir sua otimalidade, bem como garantir quão próximo está da solução ótima.

O desafio é produzir, em tempo reduzido, soluções tão próximas quanto possível da solução ótima. Muitos esforços têm sido feitos nesta direção e heurísticas muito eficientes foram desenvolvidas para diversos problemas. Entretanto, de um modo geral, a maioria das heurísticas são desenvolvidas para um problema particular, não sendo eficientes (ou mesmo aplicáveis) na resolução de uma classe mais ampla de problemas.

Somente a partir da década de 1980 intensificaram-se os estudos no sentido de se desenvolver procedimentos heurísticos com uma certa estrutura teórica e com caráter mais geral, sem prejudicar a principal característica destes, que é a flexibilidade.

Este objetivo tornou-se mais realista a partir da reunião de conceitos das áreas de Otimização e Inteligência Artificial, viabilizando a construção das chamadas melhores estratégias ou dos métodos “inteligentemente flexíveis”, comumente conhecidos como “metaheurísticas”.

Esses métodos, situados em domínios teóricos ainda pouco explorados pela literatura, possuem como característica básica estruturas com uma menor rigidez que as encontradas nos métodos clássicos de otimização sem, contudo, emergir em uma flexibilidade caótica.

Dentre os procedimentos enquadrados como metaheurísticas que surgiram ao longo das últimas décadas, destacam-se: Algoritmos Genéticos (AGs), Redes Neurais, Simulated Annealing (SA), Busca Tabu (BT), GRASP, VNS, Colônia de Formigas, etc.

8.3. Sugestões para Trabalhos Futuros

Como foi dito, devido à complexidade do problema, à medida que o número de trabalhos aumenta, o tempo gasto para busca da solução ótima através do método exato é demasiadamente grande e a programação torna-se inviável. Dessa forma, uma linha de pesquisa a ser seguida seria a implementação de uma das meta-heurísticas citadas e, uma vez ajustados os parâmetros iniciais das heurísticas e confrontando os resultados encontrados com a solução exata através do *software* AIMMS, poder-se-ia extrapolar o algoritmo para uma quantidade maior de trabalhos.

Uma característica que o modelo não leva em consideração e tornaria o sistema mais realístico é a variação das penalidades à medida que o desvio (tanto de antecipação quanto de atraso) em relação à data prometida aumenta. Para o caso de antecipação, pode-se pensar que o custo de se manter em estoque é muito baixo ou quase nulo para pequenas antecipações e esse custo vai aumentando à medida que o tempo de permanência do estoque aumenta. Em contrapartida, a penalidade por atraso também poderia ser considerada variável, um pouco mais difícil de ser mensurada, como dito em 3.2.1, já que leva em consideração o relacionamento com o cliente e um pequeno atraso não afetaria tanto esse relacionamento, no entanto, quanto maior for o atraso para a entrega do trabalho, maior seria a insatisfação do cliente.