

Impacto de variações nos tempos de produção no resultado de um plano mestre de produção

Fabio Favaretto <professor.favaretto@gmail.com>

Milena Chang Chain <milenachain@gmail.com>

Ângelo Márcio Oliveira Sant'Anna <angelo.santanna@pucpr.br>

Resumo: Um fator relevante para o planejamento e controle da produção é a qualidade das informações produzidas no processo, tais como: tempos de produção, quantidades em estoque e disponibilidade de recursos. Ademais, atrasos em entregas, falhas nos recursos e outros tipos de imprevistos podem dificultar o atendimento da demanda planejada. Este artigo objetiva identificar os impactos de variações nos tempos de produção no resultado de um plano mestre de produção. Foi desenvolvido um projeto de experimentos de produção de cinco produtos, seis componentes e doze períodos de tempo para analisar os erros nos tempos de produção. A partir do modelo desenvolvido podemos concluir que os erros nas informações sobre os tempos de produção geram um impacto relevante na demanda de produção não atendida.

Palavras-chave: qualidade da informação; planejamento de produção; variações nos tempos.

Impact of variations in the production times about a master production plan output

Abstract: A significant factor for the production planning and control is produced information quality in the process, such as: production times, inventory quantities and availability of resources. Moreover, delays in deliveries, failures and other types of resources may hinder the unexpected demand service planned. This paper aims to identify the impacts of variations in the production times in the output of a master production plan. We developed a design of experiments for the production of five products, six components and twelve periods of time to analyze the errors in production times. From the developed model we can conclude that errors in the information on production times can to generate a significant impact on the unmet demand of production.

Keywords: information quality, production planning, variations in time.

1. Introdução

A diversidade de fatores envolvidos e de objetivos a serem cumpridos impõe ao planejamento da produção uma grande complexidade. Um dos objetivos é o atendimento da demanda prevista ou existente. Dificuldades como atrasos em entregas, falhas nos recursos e outros tipos de imprevistos podem dificultar o atendimento da demanda planejada. Neste contexto é discutido também o papel da qualidade das informações utilizadas para a realização deste planejamento, que é dependente de informações como: tempos de produção, quantidades em estoque e disponibilidade de recursos. Caso estas informações tenham problemas de qualidade (incorretas, inacuradas, atrasadas e outros) o planejamento da

produção pode ser afetado.

Vários autores discutem as necessidades de boas informações para a realização do planejamento da produção. Historicamente é aceito que sistemas de planejamento detalhado da produção (MRP – *Materials Requirements Planning*) somente funcionam adequadamente quando as informações sobre a posição dos estoques tiverem uma acuracidade superior a 98% (CORRÊA e GIANESI, 1996). Exemplos de problemas em algumas informações de planejamento da produção são apresentados em Drohomeretski (2009). A pesquisa apresentada em Bonjour *et al.* (1997) também relata problemas nas informações dos tempos de produção e seus efeitos na programação da produção. A maioria destes relatos de problemas nas informações usadas no planejamento da produção apresenta necessidades ou qualificações para que as informações sejam utilizadas. No entanto, poucos trabalhos apresentam uma quantificação dos efeitos da utilização de informações de baixa qualidade no planejamento da produção, sendo esta deficiência o problema de pesquisa que motivou o desenvolvimento deste artigo. O objetivo principal deste artigo é identificar os impactos de variações nos tempos de produção no resultado de um plano mestre de produção.

O artigo está estruturado como se segue. Para se atingir o objetivo proposto, será feito um levantamento na literatura de pesquisas anteriores que mostram problemas nas informações de planejamento da produção, seus impactos e formas de análise. A seguir será apresentado um modelo de otimização do planejamento mestre da produção, que será utilizado neste trabalho para simular ambientes produtivos. A próxima seção apresentará a metodologia a ser empregada para configuração, simulação e análise dos resultados. Posteriormente os resultados serão apresentados e serão feitas as considerações pertinentes. Por fim, serão apresentadas as conclusões obtidas.

2. Pesquisas anteriores

Bonjour *et al.* (1997) apresentam quatro tipos de falta de acuracidade nos tempos de produção utilizados na programação da produção, listados a seguir:

1. Falta de atualizações regulares nos cadastros de tempos. Este problema gera erros aleatórios nos tempos cadastrados, fazendo com que os tempos reais possam ser maiores ou menores que os tempos cadastrados.
2. Melhorias do processo nos centros produtivos mais carregados. Melhorias pontuais nestes processos fazem com que os tempos reais sejam menores que os cadastrados.
3. Atividades de melhorias nas preparações (*set-up*). Melhorias nos tempos de preparação podem gerar tempos de produção menores que os cadastrados, sendo esta diferença aplicada a cada rodada de produção do componente, independente da quantidade produzida.
4. Aumentos nos tempos de processamento, devidos a alterações nos processos ou materiais.

Estes problemas nas informações dos tempos de produção são aplicados em diversos algoritmos de programação da produção e seus impactos analisados através de simulações.

Uma lista de problemas em informações usadas no planejamento da produção, principalmente tempos e posição de estoques, é apresentada em Drohomeretski (2009). O autor realizou diversos estudos de caso e levantou que as principais causas da falta de acuracidade das informações de posição dos estoques são erros no:

- Cadastro da estrutura de materiais.
- Registro de movimentação de materiais.
- Processo de recebimento de materiais.

- Processo de apontamento de materiais.
- Processo de expedição de materiais.

Os erros no cadastro da estrutura (árvore do produto ou lista de materiais) geram diversas conseqüências no planejamento da produção, entre elas quantidades incorretas de componentes e tempos incorretos de produção e suprimento. Ainda sobre a falta de acuracidade em registros de estoques, DeHoratius e Raman (2008) apresentam um interessante estudo onde são feitas correlações sobre condições (cenários) de lojas e o índice de acuracidade dos respectivos estoques.

O relacionamento do controle da produção com problemas nas informações de planejamento da produção é apresentado em Favaretto (2001). O autor cita o apontamento manual da produção como uma fonte de informações incorretas e atrasadas sobre quantidades e tempos de produção. Em Godinho Filho e Fernandes (2006) é apresentado um modelo de planejamento da produção para redução da instabilidade e melhoria do desempenho do sistema MRP, onde uma das causas de instabilidade é o cadastro de tempos incorretos (super dimensionados) e a falta de atualização.

O uso de informações estocásticas em modelos de otimização de planejamento da produção florestal foi usado por Volpi *et al.* (2000), onde informações sobre áreas, compra de material, demanda e volumes são incertas e foram perturbadas, e seu impacto no resultado final foi medido.

Em uma pesquisa sobre o impacto de informações não acuradas no desempenho de uma cadeia de suprimentos, Basinger (2006) apresenta uma série de informações que não são conhecidas de forma acurada a priori. Para a medição do desempenho em uma simulação, estas informações sofrem variações. Sobre os tempos de produção é dito que são dependentes de outros eventos (como a seqüência de produção) e não podem ser determinísticos, apresentando então limites (superior e inferior) usados em situações distintas.

Sintetizando esta seção, percebe-se a preocupação com a falta de acuracidade nas informações usadas no planejamento da produção, principalmente sobre tempos e quantidades (estoques). Outra preocupação é a identificação de situações mais propícias à ocorrência de problemas com a falta de acuracidade destas informações. Estas preocupações são as justificativas para o desenvolvimento do presente trabalho.

3. Modelo de plano mestre de produção utilizado

O modelo de planejamento mestre da produção utilizado neste trabalho foi apresentado em Chu (1995) como um modelo de programação linear que tem como objetivo de maximizar a receita obtida com a produção em um determinado horizonte de tempo. Existe um grupo determinado de componentes, que combinados em diferentes quantidades geram os diferentes produtos. A demanda dos produtos é considerada para todos os períodos do horizonte de planejamento. Cada produto possui um preço de venda. A quantidade produzida de cada produto em cada período multiplicada pelo respectivo preço deve ser máxima.

O modelo está sujeito a três restrições. A primeira restrição diz respeito ao fornecimento de componentes, onde cada período possui um fornecimento específico para cada componente. O somatório das necessidades de um determinado componente em um determinado período deve ser menor ou igual ao seu fornecimento (1). As necessidades do componente vêm das quantidades planejadas de produtos. A segunda restrição é relacionada a demanda de cada produto por período. A produção do produto no período deve ser menor ou igual a demanda total do produto (2). A última restrição é relacionada à capacidade. A

quantidade de tempo (capacidade) disponível nos recursos em cada período é conhecida. Existe uma quantidade de tempo necessária para se produzir cada produto. Assim, a quantidade de trabalho necessária para se produzirem todos os produtos em um determinado período deve ser menor ou igual à quantidade de trabalho disponível (3). Além disso, todas as quantidades a serem produzidas (de produtos por períodos) devem ser maiores ou iguais a zero (4). Não é feita restrição para que as variáveis resposta sejam inteiras.

A seguir é feita uma apresentação do modelo matemático.

Os produtos são indexados por $i = 1, 2, \dots, I$; os componentes são $k = 1, 2, \dots, K$; e os períodos de planejamento são definidos por $j = 1, 2, \dots, J$. O relacionamento entre os produtos e seus componentes é dado por uma lista de materiais (BOM – *Bill of materials*) com elementos b_{ik} , que representam a quantidade de componentes k no produto i . Outra especificação é o tempo padrão h_i necessário para se produzir uma unidade do produto i . A variável de decisão x_{ij} é a quantidade do produto i a ser produzida no período j . Cada produto possui um preço de venda, representado por p_i . O fornecimento de cada componente k em cada período j é apresentado por s_{kj} ; a demanda de cada produto i é dada por d_i e a quantidade de tempo padrão disponível em cada período é dada por g_j .

O modelo matemático é apresentado a seguir.

Maximizar $\sum_i p_i \sum_j x_{ij}$

Sujeito a

$$\sum_j \sum_i b_{ik} x_{ij} \leq \sum_j s_{kj} \quad (1)$$

$$\sum_j x_{ij} \leq d_i \quad (2)$$

$$\sum_i h_i x_{ij} \leq g_j \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (4)$$

4. Metodologia

Para se atender o objetivo deste artigo foi utilizado o método experimental. As variáveis do modelo são conhecidas e seus valores serão modificados para se verificar a resposta do modelo.

A principal variável a ser testada é aquela relacionada ao erro dos tempos de fabricação. Considera-se que os tempos padrão necessários para a fabricação de cada componente são registrados em bancos de dados. A falta de acuracidade (erro) destes tempos pode ser resultado de qualquer um dos motivos apresentados anteriormente. Assim, em muitos casos o erro incide sobre os tempos registrados. Este erro será considerado de forma homogênea para todos os tempos, e medido em porcentagem. Por exemplo, um erro de 10% significa que os tempos efetivamente considerados no MPS são todos 10% maiores que os tempos registrados. Para se obter sensibilidade sobre o cenário de atuação dos erros, duas outras variáveis serão consideradas. A *média dos tempos* de fabricação dá uma indicação comparativa da grandeza dos tempos de produção considerados. A outra variável considerada é a *dispersão dos tempos*, medida através do desvio padrão dos tempos. Em alguns casos os tempos podem ser todos iguais (sem dispersão) ou variarem a partir de uma média.

Modificações nas três variáveis apresentadas serão medidas através da variável resposta demanda não atendida. Apesar do modelo ser para maximização da receita, esta não será utilizada por ser dependente em grande parte do preço de venda de cada produto e este não é um aspecto central do planejamento da produção. A variável resposta escolhida é uma medida da qualidade do planejamento realizado.

Para este trabalho serão considerados 5 produtos ($i = 5$), 6 componentes ($k = 6$) e 12 períodos de tempo ($j = 12$). Os demais valores são fixos e foram definidos para que o cenário mais simples (menores tempos sem dispersão) apresentasse uma demanda não atendida que permitisse sensibilidade suficiente para medir as respostas. O modelo matemático foi implementado usando-se o *software Lingo 12*. A geração dos dados foi feita em planilha eletrônica *MS Excel*, assim como o registro dos resultados. A análise estatística foi feita com o *software Minitab 15*.

Para análise dos resultados (impacto dos erros nos tempos de produção) foi feita uma análise de regressão que indicou quais variáveis possuem impacto significativo na resposta e quanto da variação no resultado é explicada pelas variáveis analisadas. Os cenários escolhidos são baseados em dois fatores. O primeiro é o tamanho das ordens, sendo um cenário com média dos tempos igual a 4 e outro igual a 16. Com isso espera-se representar ambientes produtivos com tempos distintos no processo. O segundo fator considerado é a dispersão dos tempos, onde um cenário não tem dispersão (todos os tempos são iguais) e o segundo possui uma dispersão de 25% do valor da média, resultando em uma dispersão de valor 1 para os tempos com média igual a 4 e de valor 4 para os tempos com média igual a 16. A combinação destes fatores resulta em 4 cenários distintos, apresentados na Tabela 1.

Cenário	Média dos tempos	Dispersão dos tempos
1	4	0
2	4	1
3	16	0
4	16	4

Tabela 1 – Cenários a serem utilizados no experimento

Para cada cenário foi feito o MPS primeiramente sem considerar erros nos tempos registrados ($erro = 0$) e depois considerando diferentes valores para estes erros (-10%, -5%, 5% e 10%). Sendo testados estes erros em cada cenário em 20 experimentos e 30 replicações.

5. Resultados

O estudo experimental desenvolvido é apresentado na Tabela 2. A demanda média não atendida representa a média das 30 replicações realizadas.

A seguir foi feita a análise de regressão linear múltipla dos dados. Uma medida da adaptação (*fit*) dos coeficientes encontrados é dada pelo valor de R^2 . Quanto mais próximo a 1 melhor é a adaptação obtida. Neste caso foi encontrado $R^2 = 0,994$ com nível de significância menor que 1% ($p < 0,001$), o que indica uma excelente adaptação. Os coeficientes obtidos são apresentados na Tabela 3.

Coefficiente	Valor
Constante	2,157
Média dos tempos	29,1864
Dispersão dos tempos	-4,844
Erro dos tempos	2,84

Tabela 3 – Coeficientes da regressão.

Estes coeficientes são utilizados para se definir a equação da reta que relaciona as variáveis estudadas (média dos tempos, dispersão dos tempos e erro nos tempos) com o resultado de demanda não atendida. O coeficiente constante (intersecção) indica onde a reta corta o eixo da demanda não atendida. O coeficiente da *média dos tempos* indica que o

incremento de cada unidade nesta média incrementa 29,1864 unidades na demanda não atendida. O coeficiente de *dispersão dos tempos* indica que o incremento de cada unidade no desvio padrão dos tempos diminui 4,844 unidades de demanda não atendida. Por último, o incremento de uma unidade no erro dos tempos incrementa 2,84 unidades na demanda não atendida. A equação resultante (5) é apresentada como:

$$\text{Demanda não atendida} = 2,157 + 29,1864 * \text{Média dos tempos} - 4,844 * \text{Dispersão dos tempos} + 2,84 * \text{Erro dos tempos} \quad (5)$$

Experimento (cenário)	Média dos tempos	Dispersão dos tempos	Erro dos tempos	Demanda Média não atendida
1 (1)	4	0	10	130.000
2 (1)	4	0	5	124.902
3 (1)	4	0	0	122.360
4 (1)	4	0	-5	128.083
5 (1)	4	0	-10	114.110
6 (2)	4	1	10	107.500
7 (2)	4	1	5	106.266
8 (2)	4	1	0	108.594
9 (2)	4	1	-5	104.770
10 (2)	4	1	-10	95.849
11 (3)	16	0	10	467.500
12 (3)	16	0	5	466.177
13 (3)	16	0	0	465.920
14 (3)	16	0	-5	461.797
15 (3)	16	0	-10	458.785
16 (4)	16	4	10	452.500
17 (4)	16	4	5	452.246
18 (4)	16	4	0	455.476
19 (4)	16	4	-5	451.788
20 (4)	16	4	-10	435.148

Tabela 2 – Resultados dos experimentos.

6. Considerações finais

As diferenças nas médias obtidas entre os resultados dos cenários 1 e 2 e entre os cenários 3 e 4 mostram que aparentemente o modelo analisado obtém melhores resultados com tempos dispersos (com dispersão diferente de zero). Isso é explicado, pois o modelo procura oportunidades para alocar a maior quantidade de produção possível por período. Com tempos diferentes, os tempos menores podem ser “encaixados” com mais facilidade entre os tempos maiores. Isso permite que se obtenham melhores resultados em termos de atendimento de demanda.

Outra consideração é de que a quantidade de componentes de um produto não interfere no resultado, pois os tempos utilizados são associados ao produto. Em estudos futuros serão feitas alterações para que o modelo considere os tempos de cada componente de cada produto.

Na equação 5 percebem-se os diferentes impactos das variáveis consideradas. O aumento da média dos tempos tem uma influência 10 vezes maior na demanda não atendida que o erro dos tempos. Se pode dizer então que a demanda não atendida é menos sensível aos erros nos tempos que a média dos tempos. Ainda nesta equação pode-se perceber que a demanda não atendida é inversamente proporcional à dispersão dos tempos, ou seja, quanto mais dispersos os tempos menor a demanda não atendida. Isto pode ser explicado pela mesma consideração feita no início desta seção.

Deve-se ressaltar que estas considerações são válidas apenas para as condições pesquisadas e não podem ser extrapoladas para outras situações. Uma limitação deste trabalho é que não foram analisadas interações de segunda ordem (uma variável vezes a outra), por se considerar uma análise de regressão linear. Não estão descartadas estas interações, que serão analisadas em trabalhos futuros.

Concluindo, pode-se afirmar que, para o modelo analisado, os erros nas informações sobre os tempos de produção geram um impacto na demanda não atendida, na ordem apresentada na equação 5, atendendo assim o objetivo deste artigo.

Referências

BONJOUR, E.; BAPTISTE, P. P. ; LARCHEVÈQUE, D. Data Quality and Flowshop Scheduling Results. *Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*. Los Angeles, 1997. (pp.87-9)

CHU, S. C. K. A mathematical programming approach towards optimized master production scheduling. *International Journal of Production Economics*, Vol. 38, 1995. (pp. 269-279).

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N. *Just-in-time, MRP II e OPT: um enfoque estratégico*, Ed. Atlas, 1996.

DeHORATIUS, N.; RAMAN, A. Inventory Record inaccuracy: an empirical analysis. *Management Science*, Vol. 54, No. 4, 2008. (pp. 627-641)

DROHOMERETSKI, E. Um estudo do impacto das formas de controle de inventário na acuracidade de estoque. *Dissertação de mestrado*. Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2009.

FAVARETTO, F. Uma contribuição ao processo de gestão da produção pelo uso da coleta eletrônica de dados. *Tese de doutorado*. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2001.

GODINHO FILHO, M.; FERNANDES, F. C. F. Redução da instabilidade e melhoria de desempenho do sistema MRP. *Revista Produção*, Vol. 16, No. 1, 2006. (pp. 64-79).

VOLPI, N. M. P.; CARNIERI, C.; SANQUETTA, C. R. Uma análise da influência da estocasticidade das informações sobre um modelo de programação linear. *Revista Pesquisa Operacional*, Vol. 20, No. 1, 2000. (pp. 101-115).