

HEURÍSTICAS PARA O DIMENSIONAMENTO DE LOTES E SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO

Caio Fujimori Namba

Eli Angela Vitor Toso (Orientadora)

Universidade Federal de São Carlos – *Campus* de Sorocaba
Rodovia João Leme dos Santos, Km 110 - SP-264 Bairro do Itinga
CEP 18052-780 Sorocaba - São Paulo - Brasil
caioww@gmail.com
eli@ufscar.br

RESUMO

Este trabalho propõe uma heurística construtiva para o problema integrado de dimensionamento de lotes e de sequenciamento da produção na indústria de nutrição animal. Como o problema integrado é bastante complexo, o objetivo da heurística é oferecer uma solução mais pragmática, usando *software* livre. Inicialmente construiu-se uma heurística para o dimensionamento de lotes baseada na idéia de antecipar a produção sempre que o limite de capacidade produtiva em algum período for excedido, buscando evitar a utilização de horas extras. Em uma próxima etapa, desenvolveu-se uma heurística de sequenciamento integrada à primeira, contemplando as particularidades do problema em relação à contaminação da linha de produção. Foram realizados experimentos com dados reais de uma fábrica de suplementos para nutrição animal, e os resultados foram comparados com a solução ótima apresentada em trabalhos anteriores.

PALAVRAS CHAVE. Heurísticas. Dimensionamento de lotes. Sequenciamento da produção. Problema Integrado.

ABSTRACT

This work proposes a constructive heuristic for the lot sizing and production sequencing integrated problem in the animal feed industry. Due to integrated problem complexity, the objective is offer a pragmatic solution, using free software. First of all, a constructive heuristic for the lot sizing was built within the idea of anticipate the production whenever the productive capacity is exceeded in some period, trying to avoid overtime utilization. As next step, a sequencing heuristic integrated to the first one was developed, considering the problem particularities in relation to production line contamination. Experiments were realized using real data from an animal feed plant, and its results were compared to optimal solution presented in previous works.

KEYWORDS. Heuristics. Lot sizing. Production sequencing. Integrated Problem.

1. Introdução

O setor de planejamento e controle da produção de uma empresa, entre outras funções, deve decidir o quê, quando, quanto, e como produzir seus bens da melhor forma possível (Jonhson e Montgomery, 1974; Slack *et al.*, 1999). É nesse contexto que se encontram os problemas do dimensionamento de lotes e do sequenciamento da produção.

Drexl e Kimms (1997) e Karimi *et al.* (2003) afirmam que esses dois problemas são frequentemente tratados tanto na literatura e quanto na prática separadamente, uma vez que a etapa de sequenciamento da produção geralmente é feita no chão de fábrica e após o dimensionamento dos lotes.

De acordo com Toso e Morabito (2005), Toledo *et al.* (2002), Rangel e Ferreira (2003), na indústria de nutrição animal e de refrigerantes, ao tratar esses problemas de forma isolada e independente, criam-se dificuldades para que a produção torne-se flexível às mudanças do mercado e para que se obtenham soluções boas e factíveis com base na capacidade disponível e nos prazos de entregas estabelecidos.

Para tratar essas questões de maneira integrada, podem-se utilizar modelos matemáticos para representar o problema. Segundo Drexl e Kimms (1997), Bruno e Downey (1978), muitos desses modelos matemáticos quando o número de famílias é arbitrário são classificados como “NP-hard”, necessitando altos esforços computacionais.

Assim, seguindo a idéia de Ackoff (1977) e Eilon (1977), é interessante o uso e desenvolvimento de heurísticas para que se consiga retratar adequadamente o problema, a fim de obter soluções boas em um tempo computacional relativamente pequeno. Isso porque para conseguir soluções ótimas de modelos matemáticos complexos, geralmente tem-se que fazer considerações simplificadoras, o que pode não retratar a realidade.

O foco deste trabalho é desenvolver uma heurística para os problemas integrados de dimensionamento de lotes e sequenciamento da produção. Este estudo foi dividido em duas etapas: a primeira consiste na elaboração de uma heurística construtiva para o dimensionamento dos lotes. A segunda consiste na elaboração de uma heurística para o sequenciamento da produção e procedimentos de integração desta com a primeira. Sempre buscando minimizar os custos totais (de estocagem e de horas extras), além dos tempos gastos na preparação das linhas de produção. Como se trata de uma pesquisa em andamento, vale ressaltar que se encontra na segunda etapa e melhorias estão sendo estudadas.

Este artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2 é apresentada uma revisão bibliográfica sobre heurísticas e modelagens matemáticas para o problema de dimensionamento de lotes e sequenciamento da produção, na seção 3 são mostrados os procedimentos propostos para o problema integrado. Na seção 4 são apresentados alguns resultados da heurística de dimensionamento de lotes e da completa, juntamente com uma comparação com solução ótima gerada pelo GAMS/CPLEX. Conclusões e próximos passos dessa pesquisa são apresentados na seção 5.

2. Revisão Bibliográfica

Segundo a definição dada por Foulds (1983), uma heurística é um conjunto de passos claramente definidos para obter uma solução boa em relativo pouco tempo computacional. Essa resposta gerada, mesmo que não garanta otimalidade, é compatível com as restrições e limitações impostas ao modelo, sendo uma alternativa quando, por exemplo, uma prioridade maior é dada ao tempo de obtenção do que à qualidade da mesma.

Para Karimi *et al.* (2003), as heurísticas mais comuns para o dimensionamento de lotes consistem na determinação do tamanho do lote, verificação de factibilidade, e operações de melhorias. De acordo com Maes e Van Wassenhove (1988), elas são classificadas em “heurísticas período-a-período” (construtivas) e “heurísticas de melhorias”, além das baseadas em programação matemática.

Na concepção de Silver (2002), as heurísticas podem ser dos tipos que geram soluções aleatoriamente, que decompõem o problema, que reduzem o espaço de soluções factíveis, que utilizam métodos indutivos, aproximados, construtivos, melhorias locais e metaheurísticas. No

caso deste trabalho, foram elaboradas heurísticas construtivas e estuda-se a possibilidade da aplicação de metaheurísticas para melhorar a solução final.

Este mesmo autor defende a utilização de procedimentos heurísticos devido à facilidade de implementação, obtenção rápida de resultados, resultados não muito sensíveis a mudanças de parâmetros (robustez) e a possibilidade de utilização conjuntamente a rotinas de otimização.

Sikora (1996) apresenta uma abordagem de integração do dimensionamento de lotes com decisões de sequenciamento em uma linha de fluxo contínuo com múltiplas máquinas realizando um conjunto de tarefas. Na visão de De Boldt *et al.* (1984) e Karimi, *et al.* (2003), para selecionar a melhor heurística dentre as diversas existentes (que variam de acordo com as características de cada situação), deve-se analisar fatores como a variabilidade da demanda e a estrutura de custos. Além disso, consideram muito difícil escolher uma heurística para uma aplicação específica.

Uma abordagem interessante para o problema do sequenciamento de produção foi feita por Crauwels, Potts e Wassenhove (1996). Estes desenvolveram heurísticas de busca local para o problema de sequenciamento de tarefas em uma máquina, onde existem tempos de preparação entre a troca de produção entre as famílias de produtos. Resultados bons foram obtidos a partir da utilização de algoritmos genéticos.

Outro trabalho encorajador foi dado por Narayanan e Robinson (2010), cuja pesquisa envolve a aplicação de heurísticas eficientes e eficazes para o problema capacitado e coordenado de dimensionamento de lotes. Como solução inicial considerou-se resultados provindos da chamada Heurística de Seis Fases (SPH), que de acordo com os autores consiste em colocar a produção antes ou depois do período demandado. Primeiramente, gera-se um plano de produção de menor custo possível com base na antecipação da produção (fase 1). Posteriormente tem-se uma fase de factibilização do problema (fase 2). Executa-se a fase 1 e 2 novamente (fases 3 e 4). Busca-se diminuir custos de estocagem, postergando-se a produção e mantendo a factibilidade (fase 5). Por fim, executa-se a fase 1 novamente. Para melhorar os resultados, foi aplicada a meta-heurística *Simulated Annealing*, obtendo-se então *gap* de otimalidade de até 1.53%. Este exemplo é interessante porque, desconsiderando a aplicação da meta-heurística, aborda o problema de forma semelhante ao que foi realizado até o presente momento nesta pesquisa. Assim, pode-se apresentar a heurística de dimensionamento de lotes deste trabalho como uma adaptação da heurística de seis fases.

O problema focado neste trabalho é uma variação do GLSP (Problema Geral de Dimensionamento de Lotes) e do CLSP (Problema Capacitado de Dimensionamento de Lotes). Na primeira fase considerou-se apenas o problema do dimensionamento de lotes da indústria de suplementos para nutrição animal, cujas características são: multi-item, mono estágio, uma máquina e com demanda dinâmica. Custos associados a tempos de preparação foram ignorados.

Para esta pesquisa foram utilizados dados reais de uma indústria de nutrição animal presentes nos trabalhos de Toso e Morabito (2005), e Toso *et al.* (2008). O modelo matemático completo utilizado para gerar a solução ótima pode ser visto em Toso e Morabito (2005).

3. Procedimentos Propostos

Em linhas gerais, os procedimentos propostos para a solução do problema deste trabalho são descritos abaixo.

INÍCIO:

Cálculo do plano de produção inicial lote por lote;
Execução SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO();
Contabilização dos tempos de preparação (*setups*) nos períodos;
Antecipação da produção através da agregação de lotes de produtos com *setups* em pelo menos dois períodos distintos;
Execução DIMENSIONAMENTO DE LOTES();
Cálculo dos custos totais e escolha do melhor plano de produção gerado;

FIM.

Partindo de um plano de produção inicial lote por lote, gerado a partir da demanda, da capacidade disponível e dos custos de horas extras, é realizado o procedimento de sequenciamento da produção, descrito a seguir.

INÍCIO SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO():

Ler de dados e ordenar produtos do menos para o mais contaminante da linha de produção;

Memorizar quanto tempo de preparação foi necessário na sequência feita;

FIM SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO().

O critério para escolha da sequência foi produzir primeiro os produtos que não resultam em tempo de preparação da linha após sua produção. Para escolhê-los, utiliza-se a matriz de tempos de preparação disponível em Toso e Morabito (2005). Quanto menor a quantidade de *setups* que uma família apresenta na produção de seus sucessores, menos contaminante ela é considerada.

Com a sequência feita, verifica-se quanto tempo de preparação é necessário em cada período em análise, e contabiliza-se esse valor no total de cada um. Esse é um dos *inputs* para a resolução do dimensionamento de lotes, descrito passo a passo posteriormente.

Após a etapa de sequenciamento, o algoritmo busca antecipar a produção de produtos em cuja sequência tenham pelo menos dois *setups*. Isso é feito em forma de agregação de lotes. É verificado o primeiro período em que esses produtos devem ser produzidos, e a quantidade nos períodos posteriores. Toda esta demanda é agregada e produzida no primeiro período em que é requisitado.

Outro mecanismo para adequar capacidade de produção e demanda no dimensionamento de lotes consiste em antecipar a produção dos produtos com menores custos de estocagem sempre que o limite de capacidade produtiva em cada período for excedido. Caso não seja possível, serão utilizadas horas extras (que também possuem um limite pré-estabelecido). Para o problema da indústria de nutrição animal em questão, o horizonte de planejamento é de quatro semanas e os produtos estão agregados em famílias. O funcionamento da mesma é descrito a seguir:

O algoritmo faz a leitura de dados e ordena os produtos em ordem crescente de custo de estocagem. Então, calcula quanto tempo é utilizado inicialmente para a produção em cada período (já incluindo os *setups* necessários provindos do sequenciamento da produção), e calcula os excedentes de capacidade. Considerou-se como plano de produção inicial para o dimensionamento de lotes a solução gerada após a antecipação por agregação de lotes de produtos mais contaminantes.

Quando há capacidade disponível nos períodos anteriores, é possível adiantar a produção da demanda de um período subsequente. A verificação de antecipação da produção é feita do último período para os anteriores. Para escolher o produto que terá sua produção adiantada, identifica-se o produto com o menor custo de estocagem, e verifica se ao adiantar esta produção, a capacidade agregada disponível de todos os períodos não será excedida. Caso seja, a produção não é antecipada.

Os procedimentos da heurística para o dimensionamento de lotes podem ser vistos de forma resumida abaixo:

INÍCIO DIMENSIONAMENTO DE LOTES():

ordena produtos de forma crescente dos custos de estocagem (CE);

Para PERÍODO de T até T-2 **faça:**

verificação de capacidades disponíveis;

Se (CONDIÇÕES PARA ADIANTAR A PRODUÇÃO FOREM CUMPRIDAS) **faça:**

Antecipa o máximo de produtos possíveis para o período anterior;

Atualiza excedentes de tempo do período anterior;

Fim Se;

Atualização do total de tempo utilizado em cada período e seu excedente;

Calcula os custos totais de cada plano de produção gerado por cada iteração;

Compara o custo total do plano atual com o acumulador de custo total;

Fim Para;

Executar programa novamente arredondando valores para cima nas iterações;

FIM DIMENSIONAMENTO DE LOTES().

Após cada iteração, são calculados os custos de estocagem e de horas extras. Como o tamanho de lotes no problema da indústria de nutrição animal deve ser inteiro, o algoritmo de dimensionamento foi executado duas vezes: na primeira, os cálculos da quantidade de produtos que podem ter sua produção adiantada são arredondados para baixo e na segunda, para cima. Então, são gerados planos de produção diferentes com seus respectivos custos. Por fim, a heurística escolhe o plano de produção com os menores custos totais.

4. Resultados

Os procedimentos propostos na seção anterior foram implementados em linguagem C e compilada no ambiente Windows 7 64-bits através do Dev-Cpp. O modelo matemático para o problema foi codificado em GAMS e resolvido através do *solver* CPLEX (versão 7.0).

A heurística de dimensionamento de lotes foi executada utilizando como parâmetros nove conjuntos de dados reais (resultados diferentes de zero são mostrados na tabela 1): demandas para quatro períodos; tempos de produção por produto; capacidade produtiva disponível para cada período; custos de estocagem por produto; custos e limites de horas extras. Estes dados estão disponíveis no trabalho de Toso *et al.* (2008). Na situação atual da pesquisa, para a heurística completa considerou-se apenas a demanda do mês mA.

TABELA 1 – Comparação de respostas obtidas pelo método exato e pela heurística (dados reais).

Mês	Modelo Exato	Heurística
	Custo Total	Custo Total
mA	288.28	552.39
mB	1542.448	1661.15
m2	29.86	31.36
m5	77.82	82.32
m6	109.18	115.13

Observa-se que para os meses m1, m3, m4 e m7, não é necessário antecipar a produção e nem utilizar horas extras, diferentemente dos trabalhos de Toso e Morabito (2005), Toso *et al.* (2008), onde existem custos associados a esses períodos. Isso ocorre porque neste trabalho não são considerados os tempos de preparação, que consomem significativa capacidade de produção.

Note que nas instâncias dos meses mB, m2, m5 e m6, os valores encontrados pela heurística são bem próximos dos valores encontrados pelo método exato. Desconsiderando o mês mA, em média os valores gerados pela heurística são cerca de 6% maiores que os valores ótimos.

Para melhor analisar o desempenho da heurística de dimensionamento de lotes isoladamente, geraram-se valores aleatórios de demandas. Todos os outros parâmetros foram mantidos. Alguns resultados podem ser observados na tabela 2.

TABELA 2 – Comparação de respostas obtidas pelo método exato e pela heurística (dados aleatórios).

Mês	Modelo Exato	Heurística
	Custo Total	Custo Total
rand1	387.2	584.26
rand2	51.9	181.07
rand3	168.88	492.42
rand4	386.64	386.64
rand5	176.3	187.52

Note na tabela com os resultados a partir de dados aleatórios que o desempenho da heurística é pior do que com os dados reais. Este resultado indica que as particularidades da estrutura de

dados do problema real são contempladas pela heurística, mas que para uma aplicação mais genérica a heurística precisaria de melhorias.

Com relação à heurística completa, foi feita uma comparação entre o resultado para o mês mA do modelo ótimo e o do procedimento aqui proposto. Abaixo se encontram as diferenças entre os lotes ótimos e os fornecidos pela heurística.

TABELA 3 – Planos de produção heurístico e ótimo para o mês mA.

Produtos	Tamanho do lote por período - Mês mA							
	Plano da heurística				Plano de produção ótimo			
	t = 1	t = 2	t = 3	t = 4	t = 1	t = 2	t = 3	t = 4
fam[9]	56	57	41	2	40	34	32	50
fam[15]	2	0	0	0	1	1	0	0
fam[19]	0	6	0	0	2	0	0	4
fam[20]	4	0	4	1	4	5	0	0
fam[21]	35	38	46	47	39	48	65	14
Tempo de produção	60.9	64.2	62.5	62.5	59.9	62.2	64	64
Setup (horas)	0	0	1.67	1.67	3.34	1.67	0	0
Tempo total	60.9	64.2	64.17	64.17	63.24	63.87	64	64
Capacidade disponível	64	64	64	64	64	64	64	64
Horas extras	0	0.2	0.17	0.17	0	0	0	0

Analisando os resultados fica claro que a heurística buscou antecipar a produção dos produtos com menores custos de estocagem, movimento este também realizado pela otimização através de modelagem matemática. Quanto ao agregamento de lotes, pode-se tomar como exemplo a família de produtos fam15 (a que possui o menor custo de estocagem): foi demanda uma unidade tanto no período t=1 quanto no período t=2. A lógica da heurística foi agregar estes lotes e realizar a produção no primeiro período demandado.

No que diz respeito à utilização de recursos, a solução heurística necessitou de horas extras, uma vez que a capacidade total a ser utilizada é superior à capacidade de 64 horas. Isso implica em custos maiores, já que na solução ótima consegue-se cumprir a produção sem extrapolar essa limitação. Abaixo estão mostrados os sequenciamentos gerados tanto pela heurística quanto pelo modelo ótimo.

TABELA 4 – Sequenciamento da produção da solução heurística para o mês mA.

	Sequenciamento da produção da solução heurística para o mês mA										
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°
t=1	7	8	9	10	12	15	16	17	21	11	3
t=2	7	8	9	10	12	13	15	17	21	11	3
t=3	7	8	9	10	12	13	17	21	11	3	4
t=4	7	8	9	10	13	17	21	11	3	5	14
	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°	21°	
	5	14	2	20	-	-	-	-	-	-	
	5	14	2	19	-	-	-	-	-	-	
	5	14	2	19	20	-	-	-	-	-	
	2	19	20	-	-	-	-	-	-	-	

TABELA 5 – Sequenciamento da produção da solução ótima para o mês mA.

	Sequenciamento da produção da solução ótima para o mês mA										
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°
t=1	10	7	9	8	12	15	11	3	20	5	2
t=2	8	2	21	9	11	8	3	21	7	12	14
t=3	9	8	21	10	7	12	2	17	9	8	10
t=4	5	13	11	8	9	14	11	3	2	14	5

12 °	13 °	14 °	15 °	16 °	17 °	18 °	19 °	20 °	21 °
16	5	4	11	21	7	19	17	3	21
5	13	10	15	11	7	17	20	7	10
14	5	11	7	4	21	17	10	13	3
3	11	21	10	5	3	17	10	7	19

Nota-se que dentro do sequenciamento da solução ótima é permitido que a linha de produção seja preparada mais de uma vez em um período para a fabricação de determinados produtos, como a família 7 no período 1, requerendo preparação na 2ª e 17ª ordem. Isso já não ocorre no procedimento heurístico, o que pode ser considerado um ponto para análise futura.

Considerando os tempos de preparação, cuja idéia foi priorizar a produção de produtos que requerem menos *setup* após sua utilização na linha, pode-se citar como exemplo a família fam9, em que não é necessário limpar a linha para produzir qualquer outro produto posteriormente. Porém, nota-se que esse passo difere da solução ótima.

5. Conclusão e Próximos Passos

Este trabalho propõe uma heurística construtiva para o problema integrado de dimensionamento de lotes e sequenciamento da produção da indústria de nutrição animal. Primeiramente foi proposta uma heurística construtiva para o dimensionamento de lotes, cujos resultados são bastante próximos dos resultados ótimos.

Em uma segunda fase, foi proposta uma heurística para o sequenciamento da produção, contemplando as particularidades do problema na indústria de nutrição animal, bem como uma proposta de integração entre o dimensionamento e o sequenciamento.

Uma comparação entre os resultados da heurística proposta para o problema integrado com a solução ótima aponta direções de melhorias. Isto era esperado, devido à complexidade do problema tratado em trabalhos anteriores. Os próximos passos para melhoria dos resultados consistem na utilização de heurísticas de melhorias, como por exemplo, Busca Tabu, Algoritmos Genéticos ou *Simulated Annealing*.

Embora os resultados da heurística proposta ainda estejam distantes das soluções ótimas, do ponto de vista prático ainda apresentam soluções melhores que as praticadas na empresa. Além disso, considerando a aplicação, esta pode ser uma abordagem mais pragmática que utiliza *software* livre.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do PIADRD-PUIC/UFSCar dado a essa pesquisa.

Referências Bibliográficas

- ACKOFF, R. L.. Optimization + objectivity = opt out. *European Journal of Operational Research*. 1, p. 1-7, 1977.
- BITRAN, G. R., MAGNANTI, T. L., YANASSE, H. H. Approximation methods for the uncapacitated dynamic lot size problem. *Management Science*. 31, p. 1121-1140, 1984.
- BRUNO, J., DOWNEY, P. Complexity of task sequencing with deadlines, set-up times and changeover costs. *SIAM Journal on Computing*. 7, p. 393-404, 1978.
- CHURCHMAN, C. W.. Operations research as a profession. *Management Science*. 17, B37-B53, 1970.
- DE BODT, M. A.; GELDERS, L. F.; VAN WASSENHOVE, L. V. Lot sizing under dynamic demand conditions: a review. *Engineering Costs and Production Economics*. v.8, p. 165-187, 1984.
- CRAUWELS, H. A. J., POTTS, C. N., VAN WASSENHOVE, L. N.. Local search heuristics for single-machine scheduling with batching to minimize the number of late jobs. *European Journal of Operational Research*. 90, p. 200-213, 1996.
- DEMATTEIS, J. J., MENDOZA, A. G. An economic lot sizing technique. *IBM Syst. J*. 7, p. 30-46, 1968.
- DREXL, A., KIMMS, A. Lot sizing and Scheduling – Survey and extensions. *European Journal*

of *Operational Research*, p. 221-235, 1997.

EILON, S. More against optimization. *Omega*. 5, p. 627-633, 1977.

ELMAGHRABY, S.E., The economic lot scheduling problem (ELSP): review and extensions, *Management Science* 24 p. 587-598, 1978.

ERLENKOTTER, D., Ford Whitman Harris and the economic order quantity model, *Operations Research* 38 p. 937- 946, 1990.

FOULDS, L. R. The heuristic problem-solving approach. *Journal of the Operational Research Society*. 34, p. 927-934, 1983.

HARRIS, E. W., How many parts to make at once, *Operations Research* 38 (1990) 947-950 (reprint from *Factory – The Magazine of Management* 10 p. 135-136, 152, 1913).

HSU, W.L., On the general feasibility test of scheduling lot sizes for several products on one machine, *Management Science* 29 p. 93-105, 1983.

JONHSON, L. A.; MONTGOMERY, D. C. *Operations research in production planning, scheduling and inventory control*. New York: John Wiley & Sons, 1974.

KARIMI, B. ,GHOMI, S.M.T.F, WILSON, J.M. The capacitated lot sizing problem: a review of models and algorithms. *Omega International Journal of Management Science* 31(5), p. 365-378, 2003.

MAES, J., VAN WASSENHOVE, L. N. Multi-item single-level capacitated dynamic lot-sizing heuristics: a general review. *Journal of the Operational Research Society* 39(11):991–1004, 1988.

NARAYANAN, A., ROBINSON, P. Efficient and effective heuristics for the coordinated capacitated lot-size problem. *European Journal of Operational Research*. 203, p. 583-592, 2010.

RANGEL, S.; FERREIRA, D. *Um modelo de dimensionamento de lotes para uma fábrica de refrigerantes*. Tema (Tendências Em Matemática Aplicada e Computacional). São José do Rio Preto, SP: v. 4, n. 2, p. 237-246, 2003.

ROGERS, J., A computational approach to the economic lot scheduling problem, *Management Science* 4 p. 264-291, 1958.

SIKORA, R. A Genetic Algorithm for integrating lot-sizing and sequencing in scheduling a capacitated flow line. *Computers industrial Engineering* Vol. 30, No. 4, p. 969-981, 1996.

SIKORA, R. Integrating the lot-sizing and sequencing decisions for scheduling a capacitated flow line. *Computers industrial Engineering* Vol. 30, No. 4, p. 659-679, 1996.

SILVER, E. A., MEAL, H. C. A heuristic selecting lot size requirement for the case of a deterministic time varying demand rate and discrete opportunities for replenishment. *Production inventory. Management* 14, p. 64-74, 1973.

SILVER, E. A. An Overview of heuristic solution methods. *Haskayne School of Business working paper*, 2002.

THIZY JM, VAN WASSENHOVE LN. Lagrangean relaxation for the multi-item capacitated lot-sizing problem: a heuristic implementation. *IIE Transactions*;17(4):308–1, 1985.

TOLEDO, C. F. M.; FRANÇA, P. M.; MORABITO, R. Proposta de um modelo conjunto de programação da produção e dimensionamento de lotes aplicado a uma indústria de bebidas. In: Encontro Nacional de Engenharia da Produção, 22, 2002, Curitiba-PR, *Anais...* 2002.

TOSO, E. A. V.; MORABITO, R.; CLARK, A. R. Combinação de Abordagens GLSP E ATSP para o Problema de Dimensionamento e Seqüenciamento de Lotes de Produção de Suplementos para Nutrição Animal. *Pesquisa Operacional*, 2008.

TOSO, E.A.V, MORABITO, R. Otimização no dimensionamento e seqüenciamento de lotes de produção: estudo de caso numa fábrica de rações. *Gestão & Produção*. São Carlos, v.12, n.2, 203-217, 2005.

JONHSON, L. A.; MONTGOMERY, D. C. *Operations research in production planning, scheduling and inventory control*. New York: John Wiley & Sons, 1974.