

## **DIMENSIONAMENTO DE LOTES NA PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO DE UMA EMPRESA DE EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL**

**José Roberto Dale Luche**

Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, UNESP – Univ. Estadual Paulista  
Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333, Guaratinguetá, SP – CEP: 12.516-410  
dluche@feg.unesp.br

**Fatima A. Priorno**

FAMA – Ind. E Com. De Equipamentos de Segurança Ltda.  
Distrito Industrial, Ibaté, SP  
fatima.priorno@gmail.com

### **RESUMO**

Este trabalho apresenta um estudo da programação da produção em uma empresa do setor de confecção de equipamentos de proteção individual (EPI), que produz quantidades variadas de diversos tipos de produtos sob demanda. Programar a produção nesta empresa é bastante complicado, principalmente devido à quantidade variada de produtos/quantidades demandadas num certo horizonte e, ainda neste, a necessidade de atender a demanda nas datas previamente combinadas. Um modelo de Programação Linear Inteira Mista foi desenvolvido e para programar a produção foram utilizados a IDE GAMS e o solver CPLEX 12.

**PALAVRAS CHAVE. Dimensionamento de Lotes, Programação da Produção, Equipamentos de Proteção Individual.**

### **ABSTRACT**

This paper presents a study of production planning in a company in the manufacture of personal protective equipment (PPE), which produces varying amounts of different types of products on demand. Schedule production company this is quite complicated, mainly due to the varied amount of products / quantities demanded a certain horizon and also this, the need to meet the demand on the dates previously combined. A model of Mixed Integer Linear Programming has been developed and production scheduling used the IDE GAMS and the solver CPLEX 12.

**Keywords. Lot sizing, Production planning, Personal protective equipment.**

## 1. Introdução

O estudo neste trabalho é dirigido a um problema de planejamento e controle da produção, um estudo de caso foi realizado na Fama Ind. e Com. de Equipamentos de Segurança Ltda, localizada na região central do estado de São Paulo, no Distrito Industrial da cidade de Ibaté. Tem como atividade principal a confecção de equipamentos para proteção individual (EPIs), tais como luvas e vestimentas utilizadas pelos operadores de segmentos de metalurgia, fundições, colheita de laranjas, corte de cana, eletricidade, entre outros. A empresa conta com um quadro de colaboradores formado por 20 pessoas, mais 12 pessoas de mão de obra terceirizada que prestam o serviço de costura. Seu volume de produção atual é de 25000 pares/mês de luvas e 5000 peças/mês de vestimentas.

Segundo Lachtermacher (2004), a tomada de decisão é o processo de identificar um problema ou uma oportunidade e avaliar qual linha de ação seria a melhor para resolvê-lo. Um problema surge quando a situação é diferente do estado desejado, e a oportunidade surge quando as circunstâncias oferecem a chance de ultrapassar seus objetivos.

Para Arenales *et al.* (2007), a classe de problemas de planejamento e programação de produção é ampla, e muitos desses problemas podem ser modelados por meio de otimização linear. A Programação Linear (PL) na indústria visa, entre outras aplicações, alcançar programas ótimos de produção, utilizando recursos limitados para satisfazer objetivos variados, tais como custo, lucro, tempo, volume de produção, etc; mais especificamente, eles tratam de situações onde um número de recursos, tais como homens, materiais e máquinas estão disponíveis de maneira limitada e devem ser combinados para produzir um ou mais produtos. Além dos recursos de produção, restrições de demanda do mercado também devem ser levadas em conta e a produção em excesso de algum produto deverá ser penalizada incorrendo custos ou totalmente restringida. Mesmo satisfazendo todas as restrições, poderão existir muitas soluções possíveis. A par de todas as soluções viáveis, é desejável determinar aquela ou aquelas que maximizam ou minimizam alguma quantidade numérica definida em sua função objetivo. Alguns dos problemas resolvidos por PL são mostrados na sequência:

- Problemas de *Mix* de produção aparecem em várias situações reais e tem por objetivo decidir quais produtos e quanto fabricar de cada produto;
- Problemas de seleção de processos surgem quando a empresa fabrica vários produtos em um período e, para isso, dispõe de processos alternativos;
- Problemas de dimensionamento de lotes surgem nas empresas de manufatura que fabricam diversos tipos de produtos solicitados por diferentes clientes, na maioria das vezes em grande quantidade, e que devem estar prontos para entrega em diferentes datas previamente agendadas.

Para Moraes & Santos (2012), o problema de dimensionamento de lotes, de forma geral, consiste em planejar a quantidade de itens a ser produzida em cada período ao longo de um horizonte de tempo finito, de modo a atender a demanda e otimizar um critério, por exemplo, minimizar custos ou maximizar a contribuição ao lucro. Feng & Cheng (1998) atentam que resolver problemas de dimensionamento de lotes é cada vez mais difícil devido às técnicas industriais em geral ficarem cada vez mais complexas. Eles apontam cinco dimensões de complexidade para os problemas de dimensionamento de lotes monoestágio:

- i. Disponibilidade limitada de múltiplos recursos;
- ii. Existência de vários produtos compartilhando os mesmos recursos;
- iii. Demanda variável período a período, e vários períodos no horizonte de planejamento;
- iv. Tempos de *setup* (ou preparação);

- v. Custos de *setup* para produzir um lote de um determinado produto. Segundo Maes *et al.* (1991), quando considerados tempos e custos de *setup*, os problemas de dimensionamento de lotes tornam-se NP-difíceis, podendo ser formulados como problemas de programação linear inteira mista com variáveis de decisão indicando a produção, ou não, de cada produto em cada período.

Revisões em problemas de dimensionamentos de lotes podem ser encontrados em Buschkuhl *et al.* (2010), Drexl & Kimms (1997) e Jans & Degraeve (2008). Alguns estudos recentes incluem os trabalhos de Akbalik & Penz (2009), Gicquel *et al.* (2009), Lobo *et al.* (2007). Na indústria, alguns trabalhos procuraram otimizar a programação da produção, são os casos de Araujo *et al.* (2004) que estudou o problema em uma fundição de pequeno porte, Clark *et al.* (2010) em uma empresa de rações, Ferreira *et al.* (2009) e Toledo *et al.* (2007) em empresas produtoras de refrigerantes.

Em Dessouky *et al.* (1999) é considerado o problema de programação da produção em uma indústria de processamento químico, procurando minimizar a penalidade por atraso e por antecipação da produção. As demandas são produzidas em lotes, cada lote pode atender a demanda de várias ordens de clientes, os lotes têm tamanho fixo e apenas um lote pode ser produzido por período. O tempo de *setup* é independente da sequência e o tempo de processamento dos lotes é idêntico.

No trabalho de Luche *et al.* (2009) é realizado um estudo de dimensionamento de lotes e de seleção de processos. O problema tratado consiste em encontrar um programa de produção que minimize a falta (em quilos) de itens demandados, baseado na escolha de apenas um processo de produção por período, onde cada processo (já definido pela empresa) é capaz de produzir um mix de produtos em diferentes quantidades.

As principais contribuições deste trabalho consistem em (i) delinear o cenário da indústria de equipamentos de segurança, seus principais produtos, processos, e dificuldades no planejamento e controle da produção. (ii) é comum um programa de produção precisar ser modificado várias vezes devido a imprevistos ou pedidos urgentes, o que reforça a importância de ferramentas capazes de gerar em tempo razoável, programas de produção eficientes. Neste sentido, foi revisitado em Luche *et al.* (2009), um modelo de Programação Linear Inteira Mista e uma adaptação deste modelo foi realizada para auxiliar particularmente nas decisões da programação da produção em empresas de EPI's. Os resultados obtidos com o modelo são comparados com duas instâncias da prática da empresa e mostram que o modelo é eficiente, reduzindo bastante a quantidade de itens não atendidos no prazo combinado.

De acordo com Bertrand & Fransoo (2002) e Morabito & Pureza (2010), esta pesquisa é empírica por ter sido motivada por uma aplicação real encontrada em visitas ao processo de produção de EPI's que ainda não se encontrava documentado na literatura. A pesquisa também é considerada normativa, porque prescreve soluções para o problema e compara o desempenho de diferentes estratégias de resolução.

Este artigo está organizado como se segue. Na Seção 2 é apresentado de forma breve o processo de produção no qual este trabalho se baseia. A discussão é baseada na planta da empresa estudada nesta pesquisa, mas também se aplica a outras empresas deste setor. Na Seção 3 é descrito o modelo algébrico do problema. Na Seção 4, são analisados os resultados obtidos com o modelo proposto quando aplicado a duas instâncias da empresa. Finalmente, a Seção 5 discute as conclusões e próximos passos desta pesquisa.

## 2. Definição do Problema

A empresa FAMA Ltda, produtora de equipamentos de segurança individual, foi objeto de estudo para o entendimento do problema e o acompanhamento das operações coletando os dados no sistema de produção e da demanda de produtos.

Nesta pesquisa o foco é o processo de fabricação de luvas, onde o sistema de produção é intermitente e repetitivo: sempre ocorrem mudanças no modelo de luva fabricada, gerando grande variedade de luvas. O *layout* é definido por produto – as máquinas de corte e bancadas são arranjadas de acordo com a sequência de operações pelas quais as luvas passam. Como todos os modelos de luvas possuem praticamente a mesma sequência de operações, o padrão de fluxo no sistema de produção das luvas é basicamente um *flow-shop*.

### 2.1. Caracterização dos Produtos

Luvas: Podem ser fabricadas em vários modelos e vários materiais, suas características físicas devem estar de acordo com a NR6 – Norma regulamentadora do Ministério do Trabalho para equipamentos de proteção individual. De forma resumida, seu processo de fabricação se faz com corte em balancim, separação, colagem, gravação em baixo relevo, costura, viração, modelagem e embalagem.

Vestimentas: Aventais, Blusões, Calças, Perneiras, Mangotes, etc, podem ser fabricadas em vários modelos e vários materiais. Suas características físicas também devem estar de acordo com a NR6. Seu processo de fabricação se faz com corte manual por meio de moldes, separação, gravação em baixo relevo, costura (quando necessário), montagem (colocação de tiras e fivelas, quando necessário) e embalagem.

### 2.2. Caracterização do Processo de Produção

A Figura 1 apresenta o fluxograma do processo de produção de luvas e vestimentas na empresa. Como pode ser observado neste fluxograma, apenas duas operações estão presentes no processo de fabricação de luvas e fabricação de vestimentas.

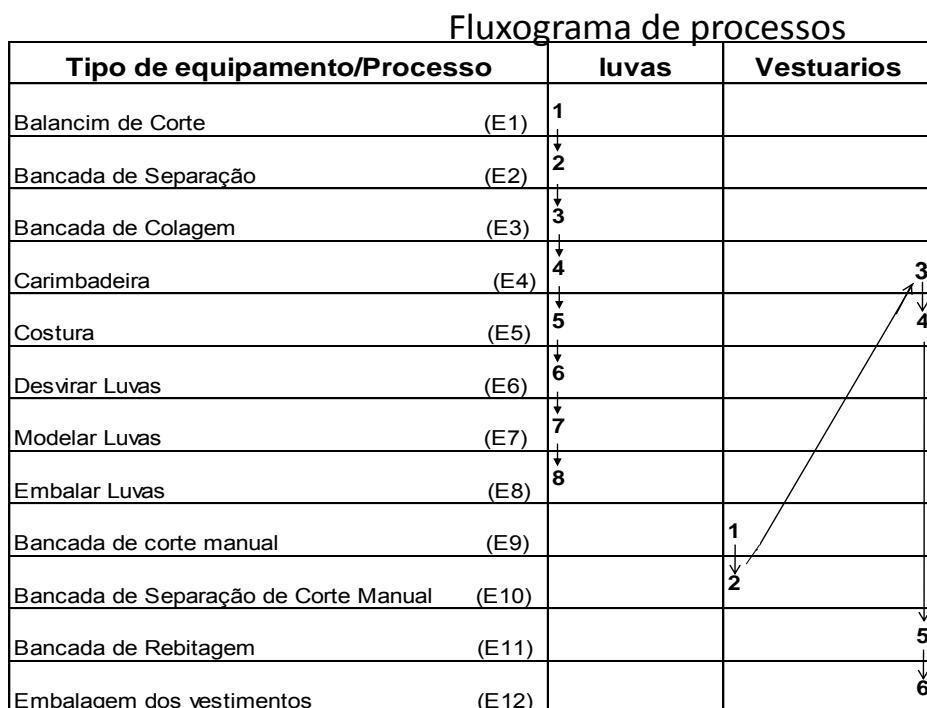


Figura 1. Fluxograma de processos

Como a empresa é de pequeno porte, não tem um departamento de PCP. A programação da produção é feita a partir da entrada dos pedidos. Em geral os prazos para entrega dos pedidos são sempre urgentes, variando entre vinte a trinta dias úteis a partir da data de realização. O processo de fabricação das luvas apresentado no fluxograma da Figura 1 requer dez dias.

Alguns pedidos são atendidos parcialmente para que os clientes não fiquem sem o produto. Pedidos urgentes também podem afetar a programação já realizada, estes, quando atendidos, podem alterar a data e/ou quantidade de entrega já acertada com outro cliente. Em períodos de demanda muito alta, a empresa considera incluir horas extras no turno de trabalho.

A produção mensal é de aproximadamente 25000 pares de luvas, independente dos modelos, considerando que no horário normal de trabalho os operadores cortam em média 1000 pares de luvas por dia, verifica-se que em torno de 20% da produção total, ou seja, em torno de 5000 pares são produzidos em horas extras, que de acordo com a convenção trabalhista da categoria, cada hora deve ser acrescida em 100%, que reflete no custo de mão de obra do produto e que a empresa absorve este custo extra, a fim de atender o cliente no prazo combinado.

Os produtos são identificados conforme a nomenclatura a seguir:

- P1 - Luva de Raspa com costura no dorso.
- P2 – Luva de raspa com dorso lona e punho de malha.
- P3 – Luva de raspa sem costura no dorso.
- P4 – Luva de raspa modelo reversível.
- P5 – Luva de raspa sem costura no dorso e punho curto.
- P6 – Luva de raspa com dorso e punho de lona.
- P7 – Luva de raspa com forro.
- P8 – Luva de vaqueta sem costura no dorso.
- P9 – Luva de vaqueta com dorso de raspa.
- P10 – Luva de vaqueta com punho de raspa.

A capacidade de produção diária da linha, quando concentrada na fabricação de um único item durante o turno todo, é mostrada na Tabela 1, onde a primeira coluna refere-se ao produto e a segunda coluna à quantidade que a empresa é capaz de produzir daquele item em um dia normal de trabalho.

**Tabela 1. Capacidade de produção para um único produto em um período**

Produto	Pares/dia
P1	900
P2	1100
P3	1000
P4	1000
P5	1100
P6	900
P7	450
P8	1200
P9	1000
P10	950

Note que alguns itens dispendem maior tempo de fabricação, pois são produzidos em menor quantidade. Isso se deve a quantidade de material utilizado e à complexidade exigida para a fabricação de cada item do produto.

### 3. Modelagem do Problema

Alinhado à meta inicial da empresa, que é atender melhor as datas de entrega combinadas com os clientes, e devido a dificuldade em estimar bem os custos de Falta, um modelo que minimiza a Falta de produção (em kg) apresentado por Luche *et al.* (2009) foi adaptado para este caso, minimizando a Falta em unidades (pares). A proposta do modelo é a de otimizar a produção, de forma a procurar atender os pedidos dentro dos prazos acertados com o cliente, programando a produção da empresa para distribuir, de acordo com sua capacidade de produção, os modelos a serem fabricados e respectivas quantidades ao longo do horizonte de planejamento, tipicamente de um mês.

#### Modelo algébrico – Minimiza a quantidade de Falta de produção (em pares) entre períodos

Índices :

- $i$  item  $\{1, \dots, m\}$ ;
- $t$  período de produção  $\{1, \dots, T\}$ ;

Variáveis:

- $x_{it}$  quantidade (inteiro) do item  $i$  produzida no período  $t$  ( $i = 1, \dots, m; t = 1, \dots, T$ );
- $I_{it}^-$  falta do produto  $i$  ao final do período  $t$  ( $i = 1, \dots, m; t = 1, \dots, T$ );
- $I_{it}^+$  excesso (estoque) do item  $i$  ao final do período  $t$  ( $i = 1, \dots, m; t = 1, \dots, T$ );

Parâmetros:

- $m$  quantidade de produtos;
- $T$  horizonte de programação (em períodos de produção);
- $a_i$  quantidade máxima do produto  $i$  a ser produzida em um período ( $i = 1, \dots, m$ );
- $d_{it}$  demanda do produto  $i$  no período  $t$  ( $i = 1, \dots, m; t = 1, \dots, T$ );
- $c_t$  fração do dia que a linha estará disponível no período  $t$  ( $c_t \geq 0; t = 1, \dots, T$ ).

$$\text{Min } z = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m I_{it}^- \quad (1)$$

$$I_{it-1}^+ - I_{it-1}^- + x_{it} - I_{it}^+ + I_{it}^- = d_{it} \quad \forall i, t \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m \frac{x_{it}}{a_i} \leq c_t \quad \forall t \quad (3)$$

$$x_{it}, I_{it}^-, I_{it}^+ \geq 0 \quad \forall i, j, t \quad (4)$$

$$\text{com } I_{i0}^- = I_{i0}^+ = 0$$

A função objetivo (1) minimiza a falta de produção dos produtos que possuem demanda. As restrições de demanda (2) incluem variáveis de folga (excesso de produção e de falta) para cada produto  $i$  em cada período  $t$ . Assim, a quantidade total produzida de um produto em um período  $t$  subtraído de sua falta e somado ao seu excesso no período  $t-1$  e adicionado a sua falta e subtraído de seu excesso no período  $t$  deve ser igual a sua demanda no período  $t$ . As restrições (3) impõem que o total de tempo utilizado em cada período não ultrapasse a capacidade do período, e as restrições (4) estabelecem a não negatividade das variáveis.

Observe que para  $c_t > 1$  a empresa estará utilizando hora extra, por exemplo, se para um turno de oito horas  $c_t = 1$ , então, para  $c_t = 1,25$  o turno será de dez horas. Esta notação permite que o gerente aloque maior ou menor capacidade para determinados períodos, tais como sábados, onde a empresa costuma operar apenas meio turno.

O modelo visa, portanto, minimizar a falta de produção para não haver acúmulo de itens faltantes de um período para o outro, o que torna a penalidade cada vez maior, como por exemplo: se faltarem 10 unidades de determinado produto no período 5 e essa falta for atendida no período 6, a função objetivo assume o valor 10, mas se a falta for atendida somente no período 7, a função objetivo assumirá o valor 20 e assim sucessivamente. Note que, o modelo não considera o sequenciamento da produção dos lotes num período, mas sim, em que período deve-se produzir cada lote.

Para o caso da empresa penalizar não só a Falta, mas também o Excesso de produção (ambos em quilos), o modelo a seguir poderá ser considerado.

### Modelo que minimiza a Falta e o Excesso:

Novo Parâmetro:

$h_i$  custo de estocagem do item  $i$  (fração a ser considerada de  $I_{it}^+$  na função objetivo).

$$\text{Min } z = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m (I_{it}^- + I_{it}^+ h_i) \quad (5)$$

$$I_{it-1}^+ - I_{it-1}^- + x_{it} - I_{it}^+ + I_{it}^- = d_{it} \quad \forall i, t \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m \frac{x_{it}}{a_i} \leq c_t \quad \forall t \quad (3)$$

$$x_{it}, I_{it}^-, I_{it}^+ \geq 0 \quad \forall i, j, t \quad (4)$$

$$\text{com } I_{i0}^- = I_{i0}^+ = 0$$

A função objetivo (5) agora minimiza a quantidade em falta de produção dos produtos que possuem demanda e também penaliza o excesso de produção, note que  $h_i$  representa a fração de  $I_{it}^+$  que será considerada, opcionalmente  $h_i$  poderá representar o custo em moeda ao invés da quantidade em quilos. As demais restrições se mantêm, por isso, também obedece à numeração do modelo anterior.

#### 4. Análise dos Resultados

O computador utilizado nos testes possui processador Intel I5 com 4 GB de memória RAM. Na programação do modelo, foi utilizado o software de modelagem algébrica *GAMS* com o *solver* para programação inteira mista *CPLEX* 12 utilizando quatro *Threads* de processamento. A coleta de dados para esta pesquisa é referente a dois meses de produção na empresa, e foram tratados como duas instâncias: “Mês 1” e “Mês 2”.

Apesar de não haver registros dos tempos dispendidos para a obtenção das soluções da prática da empresa, em geral, seus funcionários necessitam de várias horas (até mesmo dias) para encontrar um programa de produção satisfatório para uma dada carteira de pedidos.

A Tabela 2 mostra os resultados obtidos na programação realizada pela empresa no “Mês 1” e no “Mês 2” *versus* os resultados obtidos pelo modelo que Minimiza a Falta. Esses dados são referente à falta real encontrada no último período de produção e a penalidade gerada pela função objetivo do modelo.

**Tabela 2. Resultados obtidos com a programação de duas instâncias**

	Mês 1		Mês 2	
	Empresa	Modelo	Empresa	Modelo
Falta no último período de produção	2.230	337	2.020	146
Falta pela função objetivo do modelo	34.830	7.663	27.500	1.403
Tempo necessário para obter a solução	Várias horas	12 min	Várias horas	17 min

O programa realizado pela empresa, ao final do horizonte de planejamento de 27 períodos no “Mês 1”, apresentou falta de 2.230 pares, onde o mesmo programa de produção quando calculado como na função objetivo do modelo, gera o valor de penalidade de 34.830. Nos resultados reportados com o modelo obteve-se uma falta de 337 pares de luvas no último período, já na função objetivo do modelo, a melhor solução encontrada foi de 7.663 em apenas doze minutos de execução, provando sua otimalidade.

Para o “Mês 2”, o programa realizado pela empresa apresentou falta de 2.020 pares ao final do horizonte de planejamento de 31 períodos, o valor de penalidade da função objetivo foi de 27.500. Com o modelo, obteve-se uma falta de 146 pares de luvas do modelo 7 no último período; para a função de penalidade do modelo obteve-se o valor de 1.403 em apenas dezessete minutos de execução, provando sua otimalidade.

Note na Tabela 3 que o modelo de luva P7 foi o que mais deixou de ser produzido, isso se deve ao produto ser o que demanda mais tempo para fabricação, como não há custos/lucros associados à função objetivo do modelo, este procurará produzir os itens que demandam menor tempo de fabricação.



**Tabela 3. Falta de produção.**

Produto	Quantidade não produzida	
	Mês 1	Mês 2
P2	1	-
P3	1	-
P5	1	-
P6	1	-
P7	332	146
P8	1	-

## 5. Conclusões e Perspectivas para Pesquisa Futura

Este trabalho abordou um problema de relevância prática no planejamento e controle da produção na indústria de EPI's. Com vistas à contextualização, foram inicialmente apresentadas as principais matérias-primas empregadas e produtos associados ao setor. Foram também descritos o processo de produção na indústria de EPI's e, em particular, a discussão associada ao problema de dimensionamento de lotes de produtos.

A abordagem de solução proposta para o problema da programação da produção de luvas analisada neste estudo foi a utilização de um modelo de Programação Linear Inteira Mista que tem como objetivo a penalidade pela falta da entrega do produto no prazo combinado. O modelo se demonstrou útil nos testes realizados, pois, como observado, é capaz de otimizar a produção de forma a cumprir melhor os prazos, ou seja, diminuir o atraso na entrega dos produtos em um tempo muito pequeno comparado ao utilizado pelo pessoal da empresa.

O modelo empregado como ferramenta de apoio à tomada de decisão pode ser adaptado para ajudar a gerar vários cenários de produção, permitindo ao tomador de decisão escolher a melhor estratégia a ser seguida utilizando critérios não presentes no objetivo analisado pela ferramenta.

A integração do modelo de programação da produção com o ERP (*Enterprise Resource Planning*) da empresa poderá ajudar também no controle dos estoques e, como consequência, fornecer maior confiabilidade nos dados de entrada.

Estudos sobre tempos e custos de *setup* devem ser realizados e incorporados ao modelo.

## Referencias

- Akbalik, A. e Penz, B.** (2009) Exact methods for single-item capacitated lot sizing problem with alternative machines and piece-wise linear production costs. *International Journal of Production Economics*, 119, 367-379.
- Araujo, S. A., Arenales, M. N. e Clark, A. R.** (2004) Dimensionamento de lotes e programação do forno numa fundição de pequeno porte. *Gestão & Produção*, 11, 165-176.
- Arenales, M., Armentano, V., Morabito, R. e Yanasse, H.** *Pesquisa Operacional*. Campus/Elsevier, Rio de Janeiro, 2007.
- Bertrand, J. W. M. e Fransoo, J. C.** (2002) Modelling and simulation – operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of operations & Production Management*, 22, 241-264.

- Buschkühl, L., Sahling, F., Helber, S. e Tempelmeier, H.** (2010) Dynamic capacitated lot-sizing problems: a classification and review of solutions approaches, *OR Spectrum*, 32, 231-261.
- Clark, A., Morabito, R. e Toso, E.** (2010) Production setup-sequencing and lot-sizing at an animal nutrition plant through ATSP subtour elimination and patching. *Journal of Scheduling*, 13, 111-121.
- Dessouky, M. M., Kijowski, B.A. e Verma, S.** (1999) Simultaneous batching and scheduling for chemical processing with earliness and tardiness penalties. *Production and Operations Management*, 8, 433-444.
- Drexel, A. e Kimms, A.** (1997) Lot sizing and scheduling: survey and extensions. *European Journal of Operational Research*, 99, 221-235.
- Feng, H. e Cheng, H.** (1998) Solving mixed integer programming production planning problems with setups by shadow price information. *Computers & Operations Research*, 25, 1027-1042.
- Ferreira, D., Morabito, R. e Rangel, S.** (2009) "Solution approaches for the soft drink integrated production lot sizing and scheduling problem", *European Journal of Operational Research*, 196, 697-706.
- Gicquel, C., Miegerville, N., Minoux, M. e Dallery, Y.** (2009) Discrete lot sizing and scheduling using product decomposition into attributes. *Computers & Operations Research*, 36, 2690-2698.
- Jans, R. e Degraeve, Z.** (2008) Modeling industrial lot sizing problems, a review. *International Journal of Production Research*, 46, 1619-1643.
- Lachtermacher, G.** *Pesquisa operacional na tomada de decisões*. 4.ed. Campus, Rio de Janeiro, 2004.
- Lobo, B.A., Klabjan, D., Carravilla, M.A. e Oliveira, J.F.** (2007) Single machine multi-product capacitated lot sizing with sequence-dependent setups. *International Journal of Production Research*, 45, 4873-4894.
- Luche, J.R.D., Morabito, R. e Pureza, V.** (2009) Combining process selection and lot sizing models for the production scheduling of electrofused grains. *Asia-Pacific Journal of Operations Research*, 26, 421-443.
- Maes, J., McClain, J.O. e Wassenhove, L.N.** (1991) Multilevel capacitated lot sizing complexity and LP-based heuristics. *European Journal of Operational Research* 53, 131-148.
- Morabito, R. e Pureza, V.** Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. Capítulo 8 – Modelagem e simulação. Campus, Rio de Janeiro, 2010.
- Moraes, L. C. C. e Santos, M. O.** (2012) Heurísticas relax-and-fix para o problema de dimensionamento de lotes com janelas de tempo de produção. *XLIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Rio de Janeiro, 3575-3585.
- Toledo, C. F. M., França, P. M., Morabito, R. e Kimms, A.** (2007) Um modelo de otimização para o problema integrado de dimensionamento de lotes e programação da produção em fábricas de refrigerantes. *Pesquisa Operacional*, 27, 155-186.