

# APLICAÇÃO DE PESQUISA OPERACIONAL NO PLANEJAMENTO DE PRODUÇÃO DE BENS DE CAPITAL SOB ENCOMENDA: UM ESTUDO DE CASO

<sup>1</sup>CARDOSO, Luiz Eneias Zanetti; <sup>2</sup>JOAQUIM JUNIOR, Celso Fernandes

<sup>1</sup>Logística e Transporte, Faculdade de Tecnologia, Botucatu, SP, Brasil. E-mail: [luizeiasfatec@gmail.com](mailto:luizeiasfatec@gmail.com)

<sup>2</sup>Faculdade de Tecnologia, Botucatu, SP, Brasil. E-mail: [cjunior@fatecbt.edu.br](mailto:cjunior@fatecbt.edu.br)

**PALAVRAS-CHAVE:** Capital. Pesquisa Operacional.

## INTRODUÇÃO

O presente trabalho visou, através de um estudo de caso, aplicar modelos matemáticos de otimização de recursos no desenvolvimento de uma ferramenta que permita a obtenção da melhor condição de planejamento produtivo de carteira de encomendas de empresa fabricante de equipamentos industriais, visando maximizar sua receita e permitir a distribuição do fluxo de caixa decorrente.

## MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se para o estudo, um notebook com processador Dual Core®, 3 GB de memória RAM, 320 GB de HD, com o sistema operacional Microsoft Windows 7 ® e Microsoft Office Excel 2007 ® contendo suplemento *Solver*®

Com base na teoria da Pesquisa Operacional, foi criado e aplicado um modelo de programação linear visando à

otimização da receita gerada com a entrega dos equipamentos, limitada pela disponibilidade de horas produtivas de cada setor da empresa em estudo. O modelo, descrito a seguir, foi resolvido através do suplemento *Solver*®.

### 1. Variáveis de decisão

São variáveis a serem equacionadas de forma a permitir-se maximizar a receita. Estão relacionadas às quantidades de cada equipamento a ser entregue em determinado período, em função das restrições do modelo e do faturamento específico de cada equipamento.

As variáveis são caracterizadas como “ $E_i$ ”, onde  $i$  caracteriza qual o equipamento em questão.

### 2. Função objetivo

Esta função, a ser maximizada, caracteriza a receita gerada (em milhares de reais) com o faturamento dos equipamentos entregues.

$$\text{MAX } 64,44E_1 + 315E_2 + 115E_3 + 160E_4 + 33E_5 + 14E_6 + 120E_7 + 130E_8 + 3,5E_9$$

### 3. Restrições

As restrições ao modelo são divididas em dois grupos:

Quantidades máximas a serem produzidas, e

Disponibilidades de horas por setores de produção.

Quantidades máximas a serem produzidas na 1ª entrega:

- $E_1 \leq 9$ ;  $E_2 \leq 2$ ;  $E_3 \leq 1$ ;  $E_4 \leq 5$ ;  $E_5 \leq 1$ ;  
 $E_6 \leq 1$ ;  $E_7 \leq 1$ ;  $E_8 \leq 2$  e  $E_9 \leq 1$

Para as demais entregas, deve-se considerar a diminuição da quantidade a ser produzida. Dessa maneira, para a 2ª e 3ª entregas têm-se:

Quantidades máximas a serem produzidas na 2ª entrega;

- $E_1 \leq (9 - E_{1 \text{ 1ª Entrega}})$ ;  $E_2 \leq (2 - E_{2 \text{ 1ª Entrega}})$ ;  $E_3 \leq (1 - E_{3 \text{ 1ª Entrega}})$ ;  $E_4 \leq (5 - E_{4 \text{ 1ª Entrega}})$ ;  $E_5 \leq (1 - E_{5 \text{ 1ª Entrega}})$ ;  $E_6 \leq (1 - E_{6 \text{ 1ª Entrega}})$ ;  $E_7 \leq (1 - E_{7 \text{ 1ª Entrega}})$ ;  $E_8 \leq (2 - E_{8 \text{ 1ª Entrega}})$ ;  $E_9 \leq (1 - E_{9 \text{ 1ª Entrega}})$

Quantidades máximas a serem produzidas na 3ª entrega;

- $E_1 \leq (9 - E_{1 \text{ 1ª Entrega}} - E_{1 \text{ 2ª Entrega}})$ ;  $E_2 \leq (2 - E_{2 \text{ 2ª Entrega}} - E_{2 \text{ 3ª Entrega}})$ ;  $E_3 \leq (1 - E_{3 \text{ 3ª Entrega}} - E_{3 \text{ 2ª Entrega}})$ ;  $E_4 \leq (5 - E_{4 \text{ 4ª Entrega}} - E_{4 \text{ 2ª Entrega}})$ ;  $E_5 \leq (1 - E_{5 \text{ 5ª Entrega}} - E_{5 \text{ 2ª Entrega}})$ ;  $E_6 \leq (1 - E_{6 \text{ 6ª Entrega}} - E_{6 \text{ 2ª Entrega}})$ ;  $E_7 \leq (1 - E_{7 \text{ 7ª Entrega}} - E_{7 \text{ 2ª Entrega}})$ ;  $E_8 \leq (2 - E_{8 \text{ 8ª Entrega}} - E_{8 \text{ 2ª Entrega}})$

$$\text{Entrega)} ; E_9 \leq (1 - E_{9 \text{ 9ª Entrega}} - E_{9 \text{ 2ª Entrega}})$$

A disponibilidade de horas por setor foi determinada pela quantidade dos trabalhadores alocados nos mesmos e suas respectivas jornadas mensais. A Figura 1 mostra o valor das horas-homem necessárias para fabricação dos equipamentos, assim como das horas-homem mensais disponíveis, por setor.

Foram considerados no estudo três períodos para entrega, a partir da data do pedido: 1ª entrega em 30 dias; 2ª entrega em 45 dias; 3ª entrega em 60 dias.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	EQUIPAMENTOS	QTD. PEDIDOS	VALOR TOTAL FATORADO		CALDEIRARIA	SOLDA	USINAGEM	POLIMERIZ
2					Horas necessárias para fabricação das quantidades dos pedidos			
3	Equipamento 1	9	580.000,00		1700	820	740	580
4	Equipamento 2	2	630.000,00		1200	600	500	600
5	Equipamento 3	1	115.000,00		360	144	120	174
6	Equipamento 4	5	800.000,00		600	400	40	320
7	Equipamento 5	1	33.000,00		108	72	36	54
8	Equipamento 6	1	14.000,00		40	20	6	45
9	Equipamento 7	1	120.000,00		260	192	80	170
10	Equipamento 8	2	260.000,00		600	160	80	240
11	Equipamento 9	1	3.500,00		8	8	8	8
12			Disponibilidade horas/mês		1980	1080	900	900

Figura 1 – Planilha de dados da carteira de pedidos.

As restrições relacionadas à disponibilidade de horas de fabricação para o período de entrega de 30 dias são:

Setor de caldeiraria:

$$188,89E_1 + 600E_2 + 360E_3 + 120E_4 + 108E_5 + 40E_6 + 260E_7 + 300E_8 + 8E_9 \leq 1980$$

Setor de solda:

$$91,11E_1 + 300E_2 + 144E_3 + 80E_4 + 72E_5 + 20E_6 + 192E_7 + 80E_8 + 8E_9 \leq 1080$$

Setor de usinagem:  
 $82.22E_1+250E_2+120E_3+8E_4+36E_5+6E_6$   
 $+80E_7+40E_8+8E_9 \leq 900$

Setor de polimento:  
 $64.44E_1+300E_2+174E_3+64E_4+54E_5+45$   
 $E_6+170E_7+120E_8+8E_9 \leq 900$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo implementado permitiu maximizar o faturamento levando em consideração as horas necessárias para a produção da carteira de pedidos e as horas disponíveis em cada setor (para cada período de entrega), conforme mostra a Figura 2.

MAXIMIZADO FATURAMENTO POSSIVEL									
1ª ENTREGA		2ª ENTREGA		3ª ENTREGA		TOTAL			
R\$ 1.375.000,00		R\$ 443.888,89		R\$ 381.277,78		R\$ 2.200.166,67			
ORDEM DE PRODUÇÃO REAL									
1ª ENTREGA		2ª ENTREGA		3ª ENTREGA		TOTAL		NÃO ATENDIDOS	
PROD.	QTD.	PROD.	QTD.	PROD.	QTD.	PROD.	QTD.	PROD.	QTD.
E1	0,00	E1	2,00	E1	4,00	E1	6,00	E1	3,00
E2	1,00	E2	1,00	E2	0,00	E2	2,00	E2	0,00
E3	0,00	E3	0,00	E3	0,00	E3	0,00	E3	1,00
E4	5,00	E4	0,00	E4	0,00	E4	5,00	E4	0,00
E5	0,00	E5	0,00	E5	0,00	E5	0,00	E5	1,00
E6	0,00	E6	0,00	E6	0,00	E6	0,00	E6	1,00
E7	0,00	E7	0,00	E7	1,00	E7	1,00	E7	0,00
E8	2,00	E8	0,00	E8	0,00	E8	2,00	E8	0,00
E9	0,00	E9	0,00	E9	1,00	E9	1,00	E9	0,00

Figura 2 – Planilha de resultados.

## CONCLUSÕES

Concluiu-se que o método utilizado é uma ferramenta aplicável no gerenciamento físico-financeiro da carteira de pedidos,

permitindo identificar o melhor escalonamento produtivo, visando à otimização do faturamento.

A ferramenta empregada possibilitou identificar a inadequação da capacidade produtiva ao período contratual de entrega, em jornada normal de trabalho. Em continuação a este estudo, os autores avaliarão os aspectos relacionados ao uso de horas-extras, objetivando a compatibilização das horas necessárias e disponíveis.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, Eduardo Leopoldino. **Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos a análise de decisão**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

DAVIES, A. HOBDDAY, M. **The business of projects: managing innovation in complex products and systems**. Cambridge University Press: Cambridge, 2005.

ERNST, H. Success factors of new products development: a review of the empirical literature. **International Journal of Management Reviews**, v.4, n.1, p.1-40, 2002.

GOLDBARG, Marco César. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

GRIFFIN, A. PDMA Research on new product development practices: updating trends and benchmarking best practices. **Journal of Product Innovation Management**, v.14, p. 429- 459, 1997.

KAHN, K. B.; BARCZAK, G.; MOSS, R. Perspective: establishing an NPD best practices framework. **The Journal of product innovation management**. v. 23, p. 106-116, 2006.

LAGO, L. C.A., Almeida, F.L., Lima, B. M. F. (1979). **A Indústria Brasileira de Bens de Capital**: origens, Situação recente e perspectivas. FGC/IBRE, Rio de Janeiro, 1a. edition.

MONTINI, Denis Ávila. **Universidade Excel**. São Paulo: Degerati, 2004.

MOREIRA, Daniel A. **Introdução à administração da produção e operações**. São Paulo: Pioneira, 1998.

PRADO, Darci. **Programação linear**. Belo Horizonte: MG, 1999.

SILVA, Ermes Medeiros da et. al. **Pesquisa operacional**: programação linear. Atlas, São Paulo, 1998.

VERMULUM, R. O setor de bens de capital. In: SCHWARTZMAN, S (org.). **Ciência e Tecnologia no Brasil**: Política Industrial, Mercado de Trabalho e Instituições de Apoio. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, p. 149-178, 1995.

VERMULUM, R.; ERBER, F. Cadeia: bens de capital. In: **Estudo da competitividade de cadeias integradas no Brasil**: impactos das zonas de livre comércio. Unicamp –IE – Neit, MDIC, Finep, 2002 (Nota Técnica Final), 1993.