

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

**APPLICATION OF OPERATIONS RESEARCH ON PRODUCTION  
PLANNING OF A MANUFACTURER OF CAPITAL GOODS UNDER ORDER:  
A CASE STUDY**

**EMPLEO DE PESQUISA OPERACIONAL EN EL PLANEAMIENTO DE  
PRODUCCIÓN DE BIENES DE CAPITAL BAJO ENCOMIENDA:  
ESTUDIO DE CASO**

CELSON FERNANDES JOAQUIM JUNIOR<sup>1</sup>

GILSON EDUARDO TARRENTO<sup>2</sup>

DANIEL RIBOLDY<sup>3</sup>

LUIZ ENÉIAS ZANETTI CARDOSO<sup>4</sup>

RAFAEL ROMAGNOLI<sup>5</sup>

Recebido em maio de 2010. Aprovado em junho de 2010.

---

<sup>1</sup> Professor Pleno da Faculdade de Tecnologia de Botucatu. Graduado em Engenharia Mecânica pela UNESP, Mestre em Engenharia Industrial pela UNESP e Doutor em Engenharia Química pela Unicamp.

<sup>2</sup> Professor Assistente da Faculdade de Tecnologia de Botucatu e da Faculdade Sudoeste Paulista. Graduado em Tecnologia de Gerência de Produção pela Unesp, Mestre em Engenharia de Produção pela Unesp, MBA em Gestão Empresarial pela FGV. Pós-Graduando em Didática do Ensino Superior.

<sup>3</sup> Graduando do Curso de Logística e Transporte da Faculdade de Tecnologia de Botucatu.

<sup>4</sup> Graduando do Curso de Logística e Transporte da Faculdade de Tecnologia de Botucatu.

<sup>5</sup> Graduando do Curso de Logística e Transporte da Faculdade de Tecnologia de Botucatu.

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

**RESUMO**

O presente trabalho baseou-se em dados da carteira de encomendas de uma empresa fabricante de bens de capital do interior do estado de São Paulo. Técnicas de programação linear e ferramentas de otimização de recursos foram aplicadas com uso do programa Microsoft Excel com o objetivo de permitir a visualização e a análise da melhor condição de planejamento produtivo da carteira de encomendas, visando, não somente maximizar a receita, como também, permitir a distribuição uniforme do fluxo de caixa decorrente. Como resultado, obteve-se uma ferramenta de gestão que permitirá o planejamento produtivo em cada período de carteira, de acordo com a melhor correlação de necessidade e disponibilidade de recursos, com a máxima receita, preenchendo uma importante lacuna no processo de gerenciamento produtivo de empresas fabricantes de bens de capital sob encomenda, sobretudo naquelas de pequeno e médio porte.

**PALAVRAS-CHAVE:** Otimização. Pesquisa Operacional. Planejamento de produção. Programação Linear.

**APPLICATION OF OPERATIONS RESEARCH ON PRODUCTION  
PLANNING OF A MANUFACTURER OF CAPITAL GOODS UNDER ORDER:  
A CASE STUDY**

**ABSTRACT**

This work was based on data from the portfolio of orders of a manufacturer of capital goods in the State of São Paulo. Linear programming techniques and tools for optimizing resources were applied using the program Microsoft Excel in order to allow the visualization and analysis of the condition better production planning of the portfolio of orders, aiming not only maximize financial income, but also allow the even distribution of cash flow arising. As a result, it was obtained a management tool that will allow the production planning for each period of portfolio, according to the best correlation of need and resource availability, with the highest cash income, filling an important gap in the process of productive management of manufacturer companies of capital goods under orders, particularly those of small and medium sizes.

**KEYWORDS:** Linear Programming. Operations research. Optimization. Production planning.

**EMPLEO DE PESQUISA OPERACIONAL EN EL PLANEAMIENTO DE  
PRODUCCIÓN DE BIENES DE CAPITAL BAJO ENCOMIENDA:  
ESTUDIO DE CASO**

**RESUMEN**

Este trabajo se fundamentó en datos de la cartera de encomiendas de una empresa fabricante de bienes de capital del interior del estado de São Paulo. Técnicas de programación lineal y herramientas de optimización de recursos fueron aplicadas con uso del programa *Microsoft Excel* con el objetivo de permitir la visualización y el análisis de la mejor condición de planeamiento productivo de la cartera de encomiendas, visando, no solamente maximizar el ingreso, como también, permitir a distribución uniforme del flujo de caja derivado. Como resultado, se obtuvo una herramienta de gestión que permitirá el planeamiento productivo en cada período de cartera, de acuerdo con la mejor correlación de necesidad y disponibilidad de recursos, con la máxima receta, rellenando una importante laguna en el proceso de gerencia productiva de empresas fabricantes de bienes de capital bajo encomienda, sobretudo en aquellas de pequeño y medio porte.

**PALABRAS-CLAVE:** Optimización. Pesquisa Operacional. Planeamiento de Producción. Programación Linear.

## 1 INTRODUÇÃO

Com o fenômeno da globalização, a busca pela eficiência em todos os setores industriais tornou-se fundamental para a sobrevivência empresarial.

Evidentemente, esta realidade não é diferente para uma empresa de bens de capital sob encomenda.

A produção sob encomenda dificulta o planejamento do processo produtivo, assim como a plena utilização dos recursos envolvidos na fabricação.

Em muitos dos casos, cada encomenda é um projeto próprio, senão exclusivo, demandando levantamento de custos específicos de matérias-primas e de mão de obra a ser empregada, normalmente baseada em índices históricos ou estatísticos de cada empresa.

Portanto, a carga produtiva demandada de cada setor da empresa depende da composição dos pedidos em carteira no período, exigindo planejamentos e alocações de recursos específicos, analisados caso a caso.

O presente trabalho baseou-se em dados da carteira de encomendas de uma empresa fabricante de bens de capital do interior do estado de São Paulo. Técnicas e ferramentas de otimização de recursos foram aplicadas com o objetivo de permitir a visualização e a análise da

melhor condição de planejamento produtivo, visando, não somente maximizar a receita, como também permitir a distribuição uniforme do fluxo de caixa decorrente.

Como resultado, obteve-se uma ferramenta de gestão que permitirá o planejamento produtivo em cada período de carteira, de acordo com a melhor correlação de necessidade e disponibilidade de recursos, com a máxima receita, preenchendo uma importante lacuna no processo de gerenciamento produtivo de empresas fabricantes de bens de capital sob encomenda, sobretudo naquelas de pequeno e médio porte.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

De acordo com Lago et al. (1979), bens de capital podem ser definidos como:

“o conjunto de máquinas e equipamentos que servem para a produção de outros bens ou para prestação de serviços produtivos. Essa definição engloba, portanto, máquinas em geral, estacionárias ou não, equipamentos e máquinas de transportes, máquinas e equipamentos de geração e transmissão de energia elétrica, máquinas e equipamentos de informações e máquinas de calcular. Não compreende, porém, os bens intermediários utilizados nos diversos processos produtivos que, com os bens de capital, formam a categoria mais ampla de bens de produção” (Lago et al., 1979, p. 1).

As transformações tecnológicas somadas à intensificação da concorrência não apenas em nível local, mas, sobretudo global, têm forçado as empresas a desenvolverem novos produtos mais complexos, de forma mais rápida, de melhor qualidade e a um menor custo. Embora também seja reconhecido que o desenvolvimento eficiente de novos produtos pode proporcionar novas oportunidades para as empresas, o risco de desenvolvê-los e lançá-los não deve ser negligenciado (GRIFFIN, 1997; ERNST, 2002; KAHN et al., 2006)

A importância de pesquisas acadêmicas em torno do tema decorre das evidências dessas oportunidades de riscos, pois além de apontarem boas práticas de gestão que minimizem esses riscos, podem, ao mesmo tempo, contribuir para a melhoria da condução desse processo, otimizando, dessa forma, o desempenho da empresa.

A indústria de bens de capital que, de acordo com Vermulum (1995), caracteriza-se por fornecer máquinas e equipamentos para todas as indústrias, é básica para o desenvolvimento industrial de qualquer nação, afinal, faz parte do início da cadeia produtiva, e, assim, pode influenciar com uma cultura de inovação tecnológica e competitividade as cadeias industriais, por exemplo: outras

empresas de bens de capital, empresas de bens de consumo e de infraestrutura.

Porém, apesar da importância dessa indústria para o desenvolvimento industrial, estudos apontam que as empresas brasileiras de bens de capital têm apresentado sensíveis dificuldades em suas atividades de inovação, desenvolvimento de novos produtos e principalmente no prazo de entrega de suas mercadorias (VERMULUM, 1995; VERMULUM E ERBER, 2002). Isso se deve, de acordo com Vermulum (1995), à insuficiente capacitação dessas empresas em suas atividades de desenvolvimento de novos produtos.

Além disso, conforme observado por Davies e Hobday (2005), as empresas de bens de capital possuem peculiaridades em relação à gestão do Projeto e Desenvolvimento do Produto (PDP), pois, normalmente, estão envolvidas em atividades de projetos e entrega de produtos complexos do ponto de vista da engenharia, e, portanto, o risco associado a esses projetos tende a ser alto. Desta forma, um de seus principais objetivos é minimizar o risco com prejuízos financeiros e com a imagem da empresa.

Cabe destacar que a integração funcional contribui com o desenvolvimento de produtos nas empresas, pois as pessoas trazem

consigo diferentes perspectivas, ocorrendo, portanto, maior troca de experiência e conhecimento o que pode proporcionar uma melhor previsão e consequente planejamento das atividades do PDP (Planejamento e Desenvolvimento do Produto) e, se aplicado na fase de pré-desenvolvimento, minimiza problemas típicos que normalmente aparecem em fases mais avançadas desse processo.

Neste contexto, faz-se mister o uso de ferramentas que facilitem o processo de tomada de decisões gerenciais, como a Pesquisa Operacional.

De uma maneira geral, conforme afirma Andrade (1998), todas as disciplinas que constituem a pesquisa operacional se apóiam em quatro ciências fundamentais: economia, matemática, estatística e informática. Pode-se direcioná-la a três diferentes focos, dependendo da necessidade: aplicabilidade gerencial (aspectos econômicos e administrativos); métodos matemáticos e estatísticos para a obtenção das soluções; construção de modelos e algoritmos computacionais.

“Pesquisa Operacional é um método científico de tomada de decisões, que, em linhas gerais, consiste na descrição de um sistema organizado com o auxílio de um modelo e, através da experimentação com o modelo, na descoberta da melhor maneira de operar o sistema” (SILVA et al., 1998, p. 11).

De acordo com Goldbarge (2002), a pesquisa operacional baseia-se na criação de modelos matemáticos para resolução de problemas reais e pode-se dividir em dois grupos: programação linear e programação não-linear.

A programação linear (PL) pode ser aplicada nas mais diferentes áreas. Para Moreira (1998, p. 39), “a programação linear caracteriza-se pela maximização ou minimização de alguma combinação de variáveis, que pode ser a venda de dois ou mais produtos ou seu custo de fabricação”. Consiste na solução de um sistema de equações lineares de 1º grau representados por uma reta e busca a solução ótima (máximo ou mínimo) do problema. A PL é muito utilizada para auxiliar os administradores na tomada de decisões.

“(…) estudos estatísticos têm mostrado que a PL é hoje uma das técnicas mais utilizadas da pesquisa operacional. É comum encontrar aplicações de PL fazendo parte de rotinas diárias de planejamento das mais variadas empresas, tanto nas que possuem uma sofisticada equipe de planejamento como nas que simplesmente adquiriram um software para algumas funções de planejamento” (PRADO, 1999, p.15).

De acordo com Prado (1999), problemas de programação linear são resolvidos com a ajuda de programas computacionais. Entre os existentes, aponta Montini (2004), destaca-se o Solver, devido à facilidade de utilização e por estar disponível a todos os usuários

do Excel. Ainda, conforme Montini (2004), o Excel é uma poderosa ferramenta capaz de realizar cálculos e sistematizar dados, e vai além de construir planilhas de controle de despesas domésticas ou relatórios sobre um projeto. Possibilita integrar e automatizar sistemas inteiros de gerenciamento de empresas e indústrias.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Materiais

Utilizou-se para o estudo um notebook com processador AMD Athlon, 1 GB de memória RAM, 120 GB de HD, com o sistema operacional Microsoft Windows XP e Microsoft Office Excel 2007 contendo suplemento *Solver*.

O *Solver* faz parte de um conjunto de programas chamados de ferramentas de análises de hipotética. Através dele, pode-se localizar um valor ideal para uma fórmula em uma célula destino. Pode-se trabalhar com um grupo de células relacionadas direta ou indiretamente com a fórmula na célula destino, ajustando os valores na célula das variáveis a serem especificadas. Podem-se aplicar restrições para valores que o *Solver* poderá usar no modelo e as restrições podem se referir às outras

células que afetem a fórmula da célula destino.

Portanto, esta ferramenta pode ser utilizada para determinar soluções de problemas envolvendo múltiplas variáveis e restrições, determinando a melhor solução. Pode representar economia de capital e recursos ao determinar as melhores e mais eficientes maneiras de alocá-los. Também pode economizar o tempo que se levaria buscando soluções por tentativas e erro.

#### 3.2 Estudo de Caso

O presente trabalho baseou-se em dados da carteira de encomendas de uma empresa fabricante de bens de capital do interior do estado de São Paulo.

A empresa, fabricante de equipamentos industriais, tem sua produção segmentada em quatro setores produtivos: caldeiraria, soldagem, usinagem e polimento.

A carteira de pedidos analisada neste estudo referiu-se às encomendas decorrentes de um período de dois meses.

Cada equipamento possui um determinado número de horas produtivas estimadas para ser fabricado, baseados em índices históricos de encomendas anteriores similares e em dados estatísticos da empresa.



Na Figura 1 é apresentada a planilha criada no *Solver* para inclusão dos dados relativos à carteira de pedidos do período analisado: equipamentos a serem produzidos, quantidades dos equipamentos, receitas geradas com os

faturamentos e número de horas orçadas e disponíveis por setor.

As horas disponíveis foram calculadas em função do quadro de funcionários de cada setor, considerando-se um total de 180 horas úteis por funcionário/mês.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	EQUIPAMENTOS	QTD. PEDIDOS	VALOR TOTAL FATURAMENTO		CALDEIRARIA	SOLDA	USINAGEM	POLIMENTO
2					Horas necessárias para fabricação das quantidades do 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.

Nas colunas **E**, **F**, **G** e **H** da Figura 1 são apresentadas as horas necessárias para produção total dos equipamentos por setor produtivo: caldeiraria, solda, usinagem e polimento, respectivamente.

Na Figura 2 é apresentada a planilha gerada no *Solver* com os valores unitários de produção dos equipamentos.

Também são informadas nas células **E12**, **F12**, **G12** e **H12** as horas mensais de produção disponíveis para os setores de caldeiraria, solda, usinagem e polimento, respectivamente.

EQUIPAMENTOS	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO FATURAMENTO	CALDEIRARIA	SOLDA	USINAGEM	POLIMENTO
			Horas necessárias para fabricação unitária			
Equipamento 1	1	64.444,44	188,89	91,11	82,22	64,44
Equipamento 2	1	315.000,00	600	300	250	300
Equipamento 3	1	115.000,00	360	144	120	174
Equipamento 4	1	160.000,00	120	80	8	64
Equipamento 5	1	33.000,00	108	72	36	54
Equipamento 6	1	14.000,00	40	20	6	45
Equipamento 7	1	120.000,00	260	192	80	170
Equipamento 8	1	130.000,00	300	80	40	120
Equipamento 9	1	3.500,00	8	8	8	8
		<b>Disponibilidade horas/mês</b>	<b>1980</b>	<b>1080</b>	<b>900</b>	<b>900</b>

Figura 2 – Planilha com valores unitários da carteira de pedidos.

A dificuldade gerencial do processo produtivo em análise consiste em se determinar qual a melhor apropriação de recursos produtivos, de forma que eles sejam empregados de maneira a majorar o faturamento total da empresa, dentro dos prazos de entregas acordados.

Algumas ferramentas comerciais são disponíveis no mercado e visam ao planejamento produtivo em sua forma global. Como por exemplo, o MRP (*Material Requirement Planning*), ERP (*Enterprise Resource Planning*), que são pacotes computacionais de gerenciamento que integram variados dados e processos de uma organização em um único sistema. Tais ferramentas são, entretanto, caras e complexas.

Visando obter-se uma ferramenta simples e objetiva, de fácil implementação em empresas de pequeno e médio porte, foram aplicadas técnicas e ferramentas de otimização de recursos em Programação Linear com o objetivo

de permitir a visualização e análise da melhor condição de planejamento produtivo, visando, não somente maximizar a receita com faturamentos, como também, equalizar o fluxo de caixa decorrente; outro obstáculo comum em empresas do setor, devido à necessidade de garantir o equilíbrio financeiro de cada encomenda.

A seguir, será apresentado o modelo matemático de programação linear aplicado à otimização da receita:

### **Função objetivo**

Esta função define o objetivo de maximizar a receita gerada (em milhares de reais) com o faturamento dos equipamentos entregues.

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

### **Variáveis de decisão**

São variáveis a serem equacionadas de forma a se permitir

maximizar a receita. Estão relacionadas às quantidades de cada equipamento a serem entregues em determinado momento, em função das restrições do modelo e do faturamento específico de cada um.

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

Exemplo:  $E_1 \rightarrow$  Quantidade a ser produzida do equipamento 1.

### Restrições

As restrições ao modelo são divididas em dois grupos:

- quantidades máximas a serem produzidas e disponibilidades de horas por setores de fabricação;
- quantidades máximas a serem produzidas na 1ª entrega:

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

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:

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

As restrições relativas à disponibilidade de horas de fabricação para cada uma das três entregas são dadas pelo produto da disponibilidade de horas diárias de cada setor e a quantidade de dias para realização da entrega. Não foi imposta ao modelo a possibilidade de estoques.

Foram considerados três períodos para entrega, a partir da data do pedido:

1ª entrega em 30 dias (período de fabricação de 30 dias);

2ª entrega em 45 dias (período de fabricação de 15 dias);

3ª entrega em 60 dias (período de fabricação de 15 dias).

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

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:

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

As restrições para as demais entregas (2ª e 3ª), as quais ocorrerão em intervalos de 15 dias, são definidas a seguir:

Setor de caldeiraria:

$$188.89E_1+600E_2+360E_3+120E_4+108E_5+40E_6+260E_7+300E_8+8E_9 \leq 990$$

Setor de solda:

$$91,11E_1+300E_2+144E_3+80E_4+72E_5+20E_6+192E_7+80E_8+8E_9 \leq 540$$

Setor de usinagem:

$$82.22E_1+250E_2+120E_3+8E_4+36E_5+6E_6+80E_7+40E_8+8E_9\leq 450$$

Setor de polimento:

$$64.44E_1+300E_2+174E_3+64E_4+54E_5+45E_6+170E_7+120E_8+8E_9\leq 450$$

Os dados informados permitem que o *Solver* maximize a quantidade de faturamento em função da quantidade de cada item encomendado, levando em consideração as horas disponíveis em cada setor de fabricação (para cada período de entrega), bem como o valor unitário que cada item gera em faturamento e suas necessidades de horas setoriais de produção.

Considerou-se que cada item fabricado e, portanto entregue, gera automaticamente faturamento.

#### 4 RESULTADOS

Em função das horas vendidas serem superiores ao total de horas disponíveis no prazo total de 60 dias, não é possível atender plenamente a carteira de pedidos.

Dessa maneira, obteve-se por meio da utilização do *Solver* quais equipamentos devem ser produzidos e em quais quantidades para que, em cada uma das três entregas programadas, haja maximização do faturamento. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 3, conforme planilha de resultados do *Solver*.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
2	<b>MÁXIMO FATURAMENTO POSSÍVEL</b>									
3	1ª ENTREGA		2ª ENTREGA		3ª ENTREGA		TOTAL			
51	R\$ 1.417.000,00		R\$ 463.000,00		R\$ 374.538,65		R\$ 2.254.538,65			
52										
53	<b>ORDEM DE PRODUÇÃO</b>								<b>NÃO ATENDIDOS</b>	
54	1ª ENTREGA		2ª ENTREGA		3ª ENTREGA		TOTAL			
55	PROD.	QTD.	PROD.	QTD.	PROD.	QTD.	PROD.	QTD.	PROD.	QTD.
56	E1	0,00	E1	2,95	E1	3,75	E1	6,70	E1	2,30
57	E2	1,13	E2	0,87	E2	0,00	E2	2,00	E2	0,00
58	E3	0,00	E3	0,00	E3	0,00	E3	0,00	E3	1,00
59	E4	5,00	E4	0,00	E4	0,00	E4	5,00	E4	0,00
60	E5	0,00	E5	0,00	E5	0,00	E5	0,00	E5	1,00
61	E6	0,00	E6	0,00	E6	0,68	E6	0,68	E6	0,32
62	E7	0,00	E7	0,00	E7	1,00	E7	1,00	E7	0,00
63	E8	2,00	E8	0,00	E8	0,00	E8	2,00	E8	0,00
64	E9	0,00	E9	0,00	E9	1,00	E9	1,00	E9	0,00

Figura 3 – Planilha de resultados otimizados.

Os dados disponibilizados na Figura 3 representam a solução ideal do modelo matemático. Entretanto, para sua aplicação, faz-se necessário que apenas os valores inteiros das quantidades ótimas de equipamentos a serem produzidos sejam considerados, uma vez que equipamentos fracionados não podem ser faturados. Desta forma, através da elaboração de funções

adicionadas às planilhas, os valores fracionados de cada equipamento e, conseqüentemente, as horas a eles associadas foram disponibilizadas para utilização na produção dos equipamentos da entrega subsequente, de forma a minimizar a ociosidade da mão de obra em cada período em questão. A Figura 4 mostra os resultados reais encontrados.

	A	B	C	D	E	F	I	J	K	L
1										
2	<b>MAXIMO FATURAMENTO POSSIVEL</b>									
3	1ª ENTREGA		2ª ENTREGA		3ª ENTREGA		TOTAL			
51	R\$ 1.375.000,00		R\$ 443.888,89		R\$ 381.277,78		R\$ 2.200.166,67			
52										
53	<b>ORDEM DE PRODUÇÃO REAL</b>									<b>NÃO ATENDIDOS</b>
54	1ª ENTREGA		2ª ENTREGA		3ª ENTREGA		TOTAL			
55	PROD.	QTD.	PROD.	QTD.	PROD.	QTD.	PROD.	QTD.	PROD.	QTD.
56	E1	0,00	E1	2,00	E1	4,00	E1	6,00	E1	3,00
57	E2	1,00	E2	1,00	E2	0,00	E2	2,00	E2	0,00
58	E3	0,00	E3	0,00	E3	0,00	E3	0,00	E3	1,00
59	E4	5,00	E4	0,00	E4	0,00	E4	5,00	E4	0,00
60	E5	0,00	E5	0,00	E5	0,00	E5	0,00	E5	1,00
61	E6	0,00	E6	0,00	E6	0,00	E6	0,00	E6	1,00
62	E7	0,00	E7	0,00	E7	1,00	E7	1,00	E7	0,00
63	E8	2,00	E8	0,00	E8	0,00	E8	2,00	E8	0,00
64	E9	0,00	E9	0,00	E9	1,00	E9	1,00	E9	0,00

Figura 4 – Planilha de resultados reais.

Os resultados permitem realizar a programação dos períodos para entrega e, conseqüentemente, as entradas no fluxo de caixa, compatibilizando-as com os desembolsos que ocorrerão para custear a produção. A 1ª entrega ocorrerá no trigésimo dia após início da fabricação da carteira de pedidos. O valor máximo de faturamento real possível para esse período é de R\$ 1.375.000,00, conforme mostrado na Figura 4.

Assim, após a 1ª entrega, dispõe-se de quinze dias de fabricação para que seja realizada a 2ª entrega (quadragésimo quinto dia após início da fabricação), a qual resultou em um valor real otimizado de faturamento de R\$ 443.888,89. Após a 2ª entrega, têm-se mais quinze dias

para a fabricação do que ainda é possível produzir em relação à carteira de pedidos. O valor máximo de faturamento da 3ª entrega será de R\$ 381.277,78. Desta forma, obtém-se o faturamento máximo acumulado em 60 dias de fabricação, de R\$ 2.200.166,67. Este valor é inferior ao total do pedido em carteira, de R\$ 2.555.500,00 uma vez que o total de horas necessárias para a fabricação é superior às horas disponíveis em sessenta dias. Na Figura 5, é possível comparar-se o valor contratual com os valores otimizados ideal e real de faturamento.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2	<b>VALOR TOTAL DO CONTRATO</b>			<b>VALOR OTIMIZADO (IDEAL)</b>			<b>VALOR OTIMIZADO (REAL)</b>		
3	<b>R\$ 2.555.500,00</b>			<b>R\$ 2.254.538,65</b>			<b>R\$ 2.200.166,67</b>		
4									

Figura 5 – Planilha comparativa de valores de faturamento.

## 5 CONCLUSÃO

Concluiu-se que a planilha utilizada 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.

A técnica aplicada mostrou-se de fácil implementação, podendo ser uma ferramenta para a alocação de recursos no planejamento produtivo e consequente geração de fluxo de caixa em uma empresa fabricante de bens capital, podendo ser facilmente adequada a outros tipos de produção.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. L. **Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos à 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: Cambridge University Press, 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, M. C. **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**, vol. 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. **A indústria brasileira de bens de capital: origens, situação recente e perspectivas**. FGC/IBRE, Rio de Janeiro, 1a. edition, 1979.

MONTINI, D. A. **Universidade Excel**. São Paulo: Degerati, 2004.

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



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

SILVA, E. M. da et. al. **Pesquisa operacional**: programação linear. São Paulo: Atlas, 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, 1995, p. 149-178.

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).