



Felipe Kaiuca Castelo Branco Khoury

**Minimização de custos de produção via
programação inteira mista: estudo de caso de
planejamento de produção de luminárias**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Produção do Departamento
de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientadora: Profa. Fernanda Maria Pereira Raupp

Rio de Janeiro
Junho de 2011



Felipe Kaiuca Castelo Branco Khoury

**Minimização de custos de produção via
programação inteira mista: estudo de caso de
planejamento de produção de luminárias**

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Produção do Departamento
de Engenharia Industrial da Puc-Rio.

Prof. Fernanda Maria Pereira Raupp

Orientadora

Departamento de Engenharia Industrial – PUC - Rio

Prof. Marcia Helena Costa Fampa

COPPE/UFRJ

Prof. Adriana Leiras

Departamento de Engenharia Industrial – PUC - Rio

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico – PUC - Rio

Rio de Janeiro, 29 de Junho de 2011

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização do autor, do orientador e da universidade.

Felipe Kaiuca Castelo Branco Khoury

Graduou-se em Engenharia de Produção na PUC - Rio (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro) em 2008. Realizou estudo de caso da empresa sobre as atividades principais da empresa Multibloco, fabricante de bloco de concretos. Atua na área de planejamento e gestão de sistemas produtivos.

Ficha Catalográfica

Khoury, Felipe Kaiuca Castelo Branco

Minimização de custos de produção via programação inteira mista : estudo de caso de planejamento de produção de luminárias / Felipe Kaiuca Castelo Branco Khoury ; orientadora: Fernanda Maria Pereira Raupp. – 2011.

114 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2011.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Gestão da produção. 3. Planejamento da produção. 4. Minimização de custos. 5. Otimização. 6. Previsão da demanda. 7. MPS. 8. Modelagem. 9. Programação inteira mista. I. Raupp, Fernanda Maria Pereira. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. IV. Título.

CDD: 658.5

Agradecimentos

À minha família por todo o amor, união e dedicação nessa vida.

À Fernanda, pela orientação e atenção em todas as fases deste trabalho.

À CAPES pelo suporte financeiro.

Resumo

Khoury, Felipe Kaiuca Castelo Branco; Raupp, Fernanda Maria Pereira (Orientadora). **Minimização de custos de produção via programação inteira mista: estudo de caso de planejamento de produção de luminárias.** Rio de Janeiro, 2011. 114p. Dissertação de Mestrado – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial.

O presente trabalho representa um estudo realizado sobre a gestão da produção e operações, tendo em vista o planejamento da produção de um conjunto de itens independentes num horizonte de curto prazo de uma empresa de varejo do setor eletrônico, via minimização de custos. O estudo iniciou-se a partir da necessidade de uma interface entre o setor de produção e o de vendas, e é focado na otimização da produção de luminárias da empresa *Energia*, a qual abastece o mercado de emissoras de televisão e produtores cinematográficos, em sua maioria. Para o planejamento, é necessário conhecer a série histórica da demanda dos itens dos últimos períodos. Porém, somente os dados históricos disponíveis – os dados de vendas dos itens - foram manipulados no *software* de previsão *Forecast Pro*, com o intuito de simular a previsão de demanda desses produtos no horizonte de planejamento de curto prazo. Em seguida, a modelagem matemática do problema de planejamento da produção desagregado – o modelo MPS para itens acabados - foi realizada a partir de entrevistas com responsáveis por setores distintos na empresa estudada. Por fim, utilizou-se o *software* de otimização *AIMMS 3.10*, capaz de solucionar problemas difíceis, para encontrar o plano ótimo de produção desagregado. Os resultados obtidos pelo software para o planejamento de curto prazo são as quantidades de luminárias a serem produzidas e estocadas em cada período, assim como decisões de produzir ou não em cada período. Esses resultados foram usados como base para analisar novos cenários, gerando informações suficientes para auxiliar a tomada de decisão por parte dos gerentes da empresa, como por exemplo, expandir os recursos produtivos.

Palavras Chave

Gestão da produção; Planejamento da produção; Minimização de custos; Otimização; Previsão da demanda; MPS; Modelagem; Programação inteira mista.

Abstract

Khoury, Felipe Kaiuca Castelo Branco; Raupp, Fernanda Maria Pereira (Advisor). **Minimizing production costs via mixed interger programming: case study of production planning of luminaries.** Rio de Janeiro, 2011. 114p. M Sc. Dissertation – Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial.

This work represents a study on the production and operations management, in order to plan the production of a set of independent items in a short-term horizon of a retail company of the electronics industry, by minimizing costs. As a necessity of understanding between sales and production the study is focused on optimizing production of lamps of the company *Energia*, which supplies to mostly the market for television and film producers. For planning, it is necessary to know the historical series of product demands of the items in recent past periods. However, the only available data – the product sales data -were handled in prediction *Forecast Pro* software to simulate the demand sales of the items for the short-term planning horizon. Then, the mathematical modeling of disaggregate production planning problem - the MPS model for finished items - was built, from interviews with managers of different sectors of the studied company. Finally, the optimization software *AIMMS 3.10*, capable of solving complex problems, was used to find the optimal production plan. The obtained results for short-term planning are the quantities of items to be produced and to be stocked in each period, as well as the decision to produce or not in each period. These results were used as the basis to analyze new scenarios, generating sufficient information to assist decision makers of the company, as for example, expand the productive resources.

Keywords

Production Management; Production Planning; Minimizing Cost; Optimization; Demand Forecast; MPS- Master Production Schedule; Modeling; Mixed Interger Programming.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Contextualização	13
1.2	Objetivos	14
1.2.1.	Objetivo principal	14
1.2.2.	Objetivos Intermediários	14
1.3	Metodologia de pesquisa	14
1.4	Estrutura da dissertação	15
2	GESTÃO DA PRODUÇÃO	17
2.1	Origem e evolução	17
2.2	Administração da produção e de operações	19
2.3	Principais Funções	21
2.4	Planejar e Controlar a Produção	23
2.4.1.	Atividades de planejamento e controle	26
2.4.1.1.	Carregamento	26
2.4.1.2.	Seqüenciamento	27
2.4.1.3.	Programação	28
2.4.1.4.	Controle	28
2.4.2.	Foco do planejamento e controle	29
2.5	Estratégias de Curto, Médio e Longo Prazo	29
2.6	Programa Mestre da Produção (MPS)	31
2.7	Classificação ABC	36
2.8	Estoques	36
2.9	Custos de produção	38
2.9.1.	Custo Unitário de Produção	39
2.9.2.	Custo de preparação ou de <i>setup</i>	39
2.9.3.	Custos de manter em estoque ou armazenar	40
3	PREVISÃO DA DEMANDA	42

3.1	A importância da previsão	42
3.2	Características da demanda	43
3.3	Etapas da Previsão de Demanda	44
3.4	Modelos de Previsão	44
3.4.1.	Métodos quantitativos	45
3.4.1.1.	Modelo constante	45
3.4.1.2.	Modelo linear	47
3.4.1.3.	Modelo sazonal	48
3.4.1.4.	Regressão linear	48
3.5	Indicadores ou erros de previsão	50
3.5.1.	Erro percentual absoluto médio - MAPE	50
3.5.2.	Erro absoluto médio - MAD	51
3.5.3.	Erro quadrático médio – EQM	51
3.6	Softwares	52
4	EMPRESA	53
4.1	Apresentação da Empresa	53
4.2	Mercado	54
4.3	Clientes	54
4.4	Principais atividades da empresa	54
4.5	Processo de produção	57
4.6	Organização Funcional	59
4.7	Apresentação dos produtos	61
4.7.1.	Classificação dos produtos	63
5	ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA	67
5.1	Planejamento da produção via Programação Inteira Mista	67
5.2	Previsão da demanda dos produtos classe A	68
5.2.1.	Sumário da previsão	70
5.3	Modelagem Matemática	70
5.3.1.	Dados ou parâmetros do problema de planejamento	71

5.3.1.1.	Demanda	71
5.3.1.2.	Preços de Vendas dos produtos	72
5.3.1.3.	Custos	72
5.3.1.4.	Recursos	73
5.3.1.5.	Estoque de segurança	74
5.3.1.6.	Capacidade máxima de Produção	74
5.3.1.7.	Capacidade máxima de recursos	75
5.3.1.8.	Capacidade máxima média de produção	75
5.3.1.9.	Capacidade Máxima Média de Estoque	75
5.3.2.	Modelagem Matemática	76
5.3.2.1.	Construindo o modelo MPS ajustado	78
5.4	Utilização do software de Otimização	82
5.5	Resultados	82
5.5.1.	Quantidades produzidas de cada item em cada período	82
5.5.2.	Decisão de produção dos itens em cada período	83
5.5.3.	Quantidades estocadas de cada item nos períodos	83
5.5.4.	Função Objetivo	84
5.6	Análise dos resultados	85
5.7	Análise de cenários	87
5.7.1.	Variação nos custos	88
5.7.2.	Variação da mão-de-obra e demanda 30% maior	90
6	CONCLUSÃO	92
7	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	94
APÊNDICE I		98
I.I	Previsão dos produtos	98
	Previsão para o produto 24	98
	Previsão para o produto 25	99
	Previsão para o produto 16	101
	Previsão para o produto 17	103
	Previsão para o produto 14	104
	Previsão para o produto 19	106
I.II	Software de otimização e resultados	108

Lista de Tabelas

Tabela 1: MPS seguindo a demanda	33
Tabela 2: MPS nivelado	33
Tabela 3: MPS com quantidade disponível para vendas	34
Tabela 4: Lista de materiais da luminária <i>prolite77</i>	57
Tabela 5: Produto, código e especificação	62
Tabela 6: Vendas de luminárias entre janeiro de 2009 e abril de 2010	62
Tabela 7: Consumo, preço unitário e receita dos produtos	63
Tabela 8: Produtos ordenados em valor de consumo	64
Tabela 9: Classificação por quantidades e percentuais	65
Tabela 10: Classificação dos itens	65
Tabela 11: Produtos classe A de maior representatividade financeira nas vendas da empresa	66
Tabela 12: Série histórica de vendas dos produtos classe A	69
Tabela 13: Modelos de previsão e indicadores para cada produto	70
Tabela 14: Sumário da previsão da demanda dos produtos classe A	70
Tabela 15: Preços de venda por produtos	72
Tabela 16: Custos da produção por produto	72
Tabela 17: Tempos de produção unitário e de preparação	73
Tabela 18: Estoques de segurança	74
Tabela 19: Quantidade máxima produzida individualmente	74
Tabela 20: Capacidade do recurso mão-de-obra	75
Tabela 21: Quantidade média máxima de produção	75
Tabela 22: Quantidade máxima média de estoque	76
Tabela 23: Quantidades produzidas de cada item em cada período	83
Tabela 24: Decisão de produzir cada item em cada período	83
Tabela 25: Quantidade de itens estocados a cada período	84
Tabela 26: Resultado técnico final do programa	85
Tabela 27: Análise de cenário com demanda atual e redução de custos	89
Tabela 28: Análise de cenário com demanda 30% maior e acréscimo de mão-de-obra	91
Tabela 29: Indicadores para o modelo do produto 24	98
Tabela 30: Previsão do software para o produto 24	99
Tabela 31: Indicadores para o modelo do produto 25	100
Tabela 32: Previsão do software para o produto 25	101
Tabela 33: Indicadores para o modelo do produto 16	101
Tabela 34: Previsão do software para o produto 16	102
Tabela 35: Indicadores para o modelo do produto 17	103
Tabela 36: Previsão do software para o produto 17	104
Tabela 37: Indicadores para o modelo do produto 14	105

Tabela 38: Previsão do software para o produto 14	106
Tabela 39: Indicadores para o modelo do produto 19	106
Tabela 40: Previsão do software para o produto 19	107

Lista de Figuras

Figura 1: Atividades de planejamento e controle	26
Figura 2: Redução do tempo disponível para carga de trabalho	27
Figura 3: Dados de entrada para o programa mestre de produção	32
Figura 4: Principais atividades que explodem o MPS e iniciam o MRP	35
Figura 5: Clientes da empresa Energia	55
Figura 6: Luminária Prolite77	56
Figura 7: Fluxograma das atividades de produção de luminárias	58
Figura 8: Organograma da empresa	60
Figura 9: Gráfico de demanda, produção e estoque do produto 1	85
Figura 10: Gráfico de demanda, produção e estoque do produto 2	86
Figura 11: Gráfico de demanda, produção e estoque do produto 3	86
Figura 12: Gráfico de demanda, produção e estoque do produto 4	86
Figura 13: Gráfico de demanda, produção e estoque do produto 5	87
Figura 14: Gráfico de demanda, produção e estoque do produto 6	87
Figura 15: Gráfico de previsão do software para o produto 24	99
Figura 16: Gráfico de previsão do software para o produto 25	100
Figura 17: Gráfico de previsão do software para o produto 16	102
Figura 18: Gráfico de previsão do software para o produto 17	104
Figura 19: Gráfico de previsão do software para o produto 14	105
Figura 20: Gráfico de previsão do software para o produto 19	107
Figura 21: Página inicial do software AIMMS	108
Figura 22: Elementos declarados no software	109
Figura 23: Declaração da função objetivo no software	110
Figura 24: Quantidades produzidas de cada item a cada período	111
Figura 25: Solução das variáveis de produção de cada item em cada período	111
Figura 26: Decisão de produzir cada item em cada período	112
Figura 27: Solução das variáveis de decisão de produção de cada item em cada período	112
Figura 28: Quantidades de itens estocados a cada período	113
Figura 29: Solução das variáveis de decisão de produção de cada item em cada período	113
Figura 30: Valor ótimo da função objetivo	114
Figura 31: Resultado técnico final do programa.	114