

7 Revisão Bibliográfica

ALMEIDA, Dagoberto Alves. **Gestão da Produção**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ – UNIFEI Instituto de Gestão & Produção Coordenação de Pós-graduação em Engenharia de Produção Curso de Especialização em Qualidade & Produtividade.

BISSCHOP, Johannes ; HEERINK, Koos. **A One-Hour Tutorial for Beginners**. AIMMS 3.10. Paragon Decision Technology. December 2006.

CORREA, Henrigue Luiz.; GIANESI, Irineu G.N.; CAON, Mauro. **Planejamento, programação e controle da produção: MRP II/ERP: conceitos uso e implementação**. 4 a. ed. São Paulo: Atlas, 2001. 452 p. ISBN 8522427828.

DAVIS, Mark M. **Fundamentos da administração da produção**. 3a. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 598 p. ISBN 8573075244.

ENERGY EFFICIENT LIGHTING for Commercial Market, Artigo Business Green, em 7 de Maio de 2010 <<http://www.pikerresearch.com/research/energy-efficient-lighting-for-commercial-markets#>> Acesso em 10 de maio 2011.

FERNANDES, Flavio Cesar Faria; SANTORO, Miguel Cezar. Avaliação do grau de prioridade e do foco do Planejamento e Controle da Produção (PCP): modelos e estudos de casos. Gest. Prod., São Carlos, v. 12, n. 1, abr. 2005. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X200500010004&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 17 maio 2011. doi: 10.1590/S0104-530X2005000100004.

GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. **Administração da produção e operações**. 8a. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, C 2001. 598 p. ISBN 8522102376.

GONCALVES FILHO, Eduardo Vila; MARCOLA, Josadak Astorino. Uma proposta de modelagem da lista de materiais. Gest. Prod., São Carlos, v. 3, n. 2, ago. 1996. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo .php?script=sci_Arttext&pid=S0104530X1996000200003&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_Arttext&pid=S0104530X1996000200003&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em 17 maio 2011. doi: 10.1590/S0104-530X1996000200003.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: Campus, 1988.

KRAJEWSKI, Lee J.; RITZMAN, Larry P. **Operations management: strategy and analysis** /4th ed. - Reading, Mass.: Addison-Wesley, c1996. 878p. : ISBN 0201400162 (broch.).

LUSTOSA, Leonardo; MESQUITA, Marco A.; QUELHAS, Osvaldo; OLIVEIRA, Rodrigo. **Planejamento e controle da produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. xiv, 355 p. ISBN 9788535220261.

MAÇADA, Antonio Carlos Gastaud; FELDENS, Luis Felipe; SANTOS, André Moraes dos. Impacto da tecnologia da informação na gestão das cadeias de suprimentos: um estudo de casos múltiplos. Gest. Prod., São Carlos, v. 14, n. 1, Apr. 2007 . Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sciarttext&pid= S0104-530X2007000100002&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sciarttext&pid=S0104-530X2007000100002&lng=en&nrm=iso)>. access on 12 Aug. 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2007000100002>.

MARTINS, Petrônio G.; LAUGENI, Fernando P. **Administração da produção**. 2a. ed. rev. aum. e atual. São Paulo: Saraiva, 2005. xiv, 562 p. ISBN 8502046160.

MARTINS, Petrônio G.; LAUGENI, Fernando P. **Administração da produção**. São Paulo: Saraiva, 1998. 443p. ISBN 8502025023 (broch.).

McINTOSH, R. I.; CULLEY, S. J.; MILEHAM, A. R.; OWEN, G. W. **Improving Changeover Performance**. Butterworth Heinemann: Oxford, 2001.

MENEGUZZO, Júlio; RIZZON, Luiz Antenor. Sistema de Produção de Vinagre. Net, Bento Gonçalves, Dez./2006. Embrapa Uva e Vinho – Sistemas de produção. Disponível em: <<http://sistemasdeprodução.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Vinagre/SistemaProduçãoVinagre/custo.htm>>ISSN1678-8761

MORETTIN, Pedro Alberto; TOLOI, Clelia Maria de Castro. INSTITUTO DE MATEMÁTICA PURA E APLICADA (BRASIL); COLÓQUIO BRASILEIRO DE MATEMÁTICA (13. : 1981 : Poços de Caldas, MG). **Modelos para previsão de séries temporais**. Rio de Janeiro: IMPA, 1981. 2 v.

NASCIMENTO, Cíntia L. **Avaliação de Desempenho em Programas Através da Análise de Seus Benefícios: Um Exemplo do Programa TV Digital Para as Áreas Rurais, Dissertação**. Rio de Janeiro, 2010. 98p. Dissertação de mestrado – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial.

PIZZOLATO, Nélio D. **Introdução à contabilidade gerencial. 2ªed. revisada e ampliada**. São Paulo: Pearson Makron Books, 2007.

POCHET, Y.; WOLSEY, L.A., 2006. *Production Planning by Mixed Integer Programming*. Springer.

REIS, Mário Eduardo Pauka; ALVES, João Murta. Um método para o cálculo do benefício econômico e definição da estratégia em trabalhos de redução do tempo de setup. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 17, n. 3, 2010. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2010000300011&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 17 maio 2011. doi:10.1590/S0104-530 X201000300011.

REVISTA PANORAMA AUDIOVISUAL, www.panoramaaudiovisual.com.br, edição 1 ano 1 Março de 2011. Publicação periódica.

RIBEIRO, A. R. **Previsão de demanda: estudo de caso na cadeia de suprimentos**. Rio de Janeiro, 2009. Dissertação de mestrado - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

RITZMAN, Larry P.; KRAJEWSKI, Lee J. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Pearson/Prentice Hall, 2004. 431 p. ISBN 8587918389.

SILVA, Fábio Molina da.; FERNANDES, Flávio César Faria. Proposta de um sistema de controle da produção para fabricantes de calçados que operam sob encomenda. **Gestão da Produção**, v. 15, n. 3, p. 523-538, set.-dez. 2008 São Carlos.

SILVER, E. A., PIKE, D. F.; PETERSON, R., **Inventory Managemen and Production Planning and Scheduling**, 3. Ed. Wiley, Nova York: 1998.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2007. 526 p. Reescrito.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 747 p. ISBN 8522432503.

STELLWAGEN, Eric. A.; GOODRICH, Robert L., **Business Forecast System, Inc. 1992-2008 Manual FPW Forecast Pro V5 Statistical Reference Manual**.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**, 3ª Edição, Bookman, 2006 – Tradução da obra original Case Study Research: Design and Methods, 3rd. Ed. Sage, Newbury Park, CA, 2003.

Apêndice I

I.I Previsão dos produtos

Previsão para o produto 24

O relatório gerado pelo Forecast Pro referente ao produto 24, *Prolite 77 BS*, código 603, é apresentado na Tabela 29. A linha marcada no relatório de previsão refere-se ao modelo, juntamente com a técnica de determinação dos parâmetros, com melhor indicador de desempenho ou menor erro: modelo sazonal com tendência linear e técnica de Winters.

Tabela 1: Indicadores para o modelo do produto 24

	PRODUTO 24	ESPECIF. Prolite 77 BS	CODIGO 603			
MODELO	R-SQUARE	FORECAST ERROR	MAPE	MAD	P	BIC
Exponential Smoothing						
Simple						
No trend, No Seasonality	0	10.65	0.8687	7.656	0.2844	11.25
Holt						
Linear trend, No seasonality	0	11	0.8952	7.71	0.413	12.24
Winters						
Linear Trend, Additive Seasonality.	0.7567	5.405	0.2782	2.37	0.282	6.318
Linear Trend, Multiplicative Seasonality.						
No trend, Additive Seasonality.	0.7405	5.379	0.2348	2.265	0.2031	5.984
No trend, Multiplicative Seasonality						
Damped trend, No Seasonality	0	11.31	0.9066	7.638	0.5456	13.22
Damped trend, Additive Seasonality	0.7563	5.631	0.2807	2.361	0.3817	6.896
Damped trend, Multiplicative Seasonality						
Box-Jenkins	0	0.654	0.597	6.75	0.3336	7.242
Dynamic Regression						
Simple Moving Average						
automatic	0	10.2	0.6936	7.233	0.06457	9.641
moving average						
random walk						
Discrete Data	0	11.03	0.8687	7.656	0.3737	12.27

A combinação do coeficiente de rendimento alto e MAD e MAPE baixos permitem admiti-lo como preciso. A distribuição dos dados coletados e a previsão gráfica estão presentes na Figura 15.

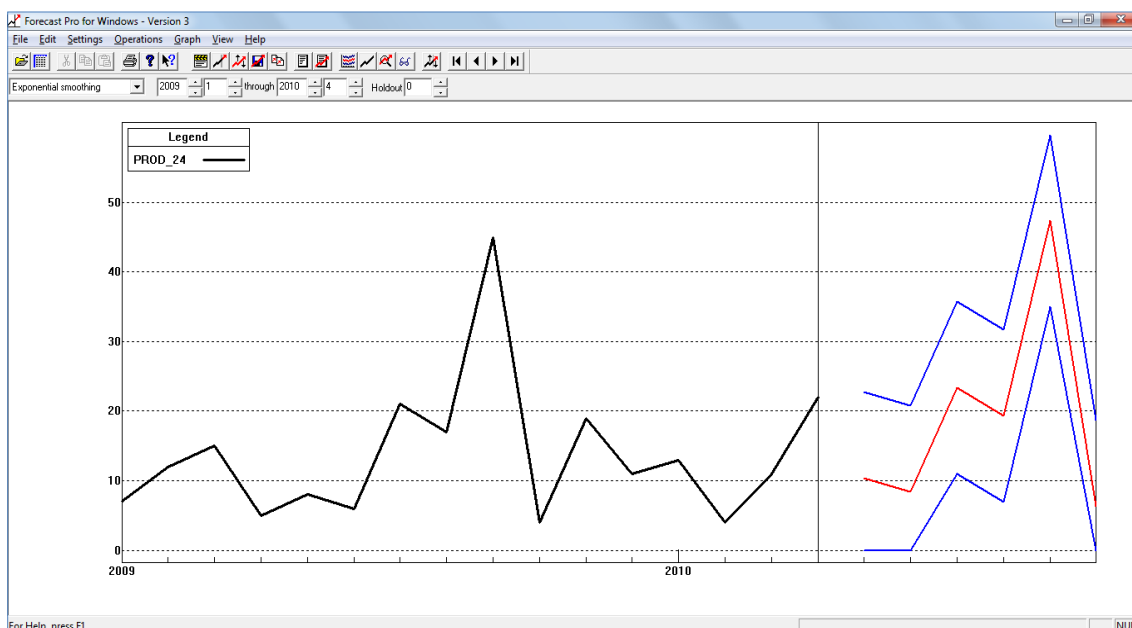


Figura 1: Gráfico de previsão do software para o produto 24

O relatório da previsão da demanda para o produto 24 para os meses de maio de 2010 a outubro de 2010 é apresentado na Tabela 30.

Tabela 2: Previsão do software para o produto 24

Forecasted Values						
Date	2.5 Lower	Forecast	Quarterly	Annual	97.5 Upper	97.5 Safety
2010-05	0	10		23	12	
2010-06	0	8	41	21	18	
2010-07	11	23		36	22	
2010-08	7	19		32	25	
2010-09	35	47	90	60	28	
2010-10	0	6		19	31	

Previsão para o produto 25

Para a *prolite* 77 BP, produto 25 e código 566, o modelo de previsão sazonal com tendência e técnica de Winters para determinação dos parâmetros apresentou o maior coeficiente de determinação. O relatório de previsão gerado pelo Forecast Pro para o produto 25 é apresentado na Tabela 31.

Tabela 3: Indicadores para o modelo do produto 25

PRODUTO	ESPECIF.	CODIGO
25	Prolite 77 BP	566

MODELO	R-SQUARE	FORECAST ERROR	MAPE	MAD	P	BIC
Exponential Smoothing						
Simple						
No trend, No Seasonality	0	5.647	0.6038	4.556	0.2085	5.962
Holt						
Linear trend, No Seasonality	0	5.842	0.6101	4.547	0.2807	6.498
Winters						
Linear Trend, Additive Seasonality.	0.4436	4.348	0.2012	1.805	0.06829	5.083
Linear Trend, Multiplicative Seasonality.	0.4090	4.481	0.1796	1.796	0.08149	5.239
No trend, Additive Seasonality	0.4092	4.318	0.1514	1.603	0.02121	4.803
No trend, Multiplicative Seasonality	0.4091	4.318	0.1608	1.668	0.02773	4.803
Damped trend, No Seasonality	0	6.011	0.6151	4.497	0.3191	7.027
Damped trend, Additive Seasonality	0.4397	4.542	0.1946	1.756	0.1258	5.562
Damped trend, Multiplicative Seasonality	0.4088	4.665	0.1851	1.833	0.1521	5.714
Box-Jenkins	0	5.254	0.5517	4.422	0.1163	5.254
Dynamic Regression						
Simple Moving Average						
automatic	0	5.438	0.5435	4.809	0.008364	5.14
moving average						
random walk						
Discrete Data	0	5.845	0.6038	4.556	0.288	6.502

Na Figura 16 é apresentada a distribuição dos dados históricos do produto 25 juntamente com a distribuição prevista da demanda para os próximos seis meses.

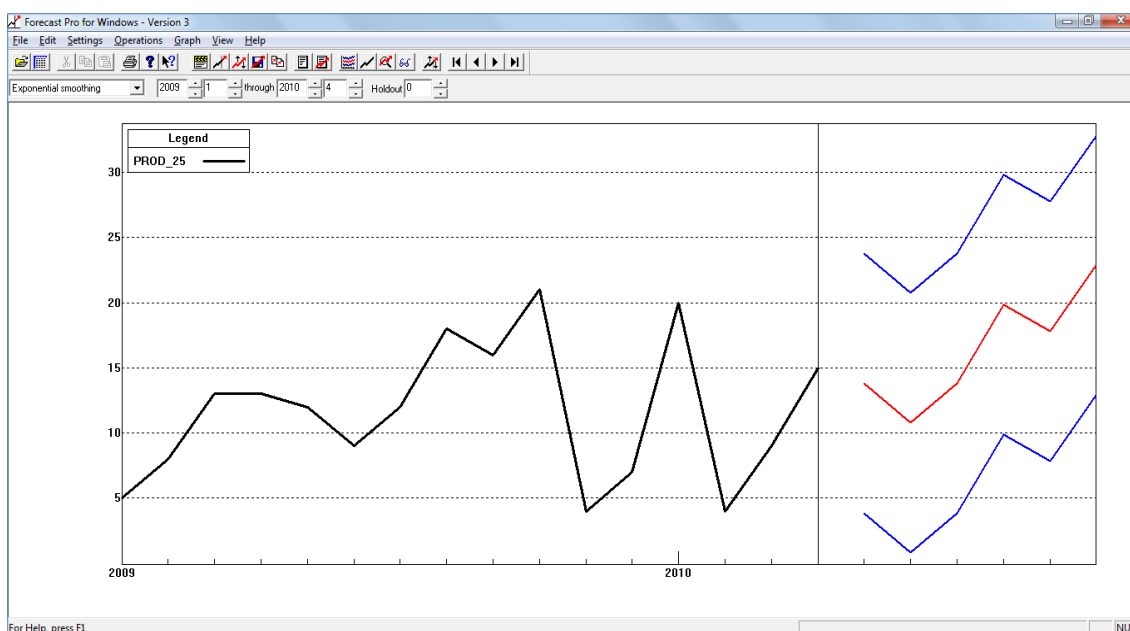


Figura 2: Gráfico de previsão do software para o produto 25

A Tabela 32 apresenta os resultados da previsão da demanda para o produto 25 para os meses de maio de 2010 a outubro de 2010.

Tabela 4: Previsão do software para o produto 25

Forecasted Values						
Date	2.5 Lower	Forecast	Quarterly	Annual	97.5 Upper	97.5 Safety
2010-05	4	14		24	10	
2010-06	1	11	40	21	14	
2010-07	4	14		24	17	
2010-08	10	20		30	20	
2010-09	8	18	51	28	22	
2010-10	13	23		33	25	

Previsão para o produto 16

Os resultados da previsão da demanda dados pelo *software* Forecast Pro a partir da série histórica de vendas do produto 16 encontra-se na Tabela 33. A linha marcada refere-se ao modelo e parametrização escolhida com menor erro encontrado. O produto 16 apresenta uma linha de tendência amortecida, mas com uma sazonalidade multiplicativa, seu coeficiente de rendimento, erro de previsão, MAP e MADE são os melhores dentre os possíveis.

Tabela 5: Indicadores para o modelo do produto 16

Tabela 8: Indicadores para o modelo de produto 16						
PRODUTO		ESPECIF.	CODIGO			
16		Prolite TV BS	1270			
MODELO	R-SQUARE	FORECAST ERROR	MAPE	MAD	P	BIC
Exponential Smoothing						
Simple						
No trend, No Seasonality	0	3.866	0.7637	3.144	0.8979	4.082
Holt						
Linear trend, No Seasonality	0	4.001	0.7654	3.143	0.931	4.451
Winters						
Linear Trend, Additive Seasonality.	0.7046	2.184	0.3416	1.446	0.8861	2.553
Linear Trend, Multiplicative Seasonality.	0.7354	2.067	0.3086	1.305	0.7031	2.416
No trend, Additive Seasonality	0.6542	2.277	0.4189	1.541	0.9732	2.533
No trend, Multiplicative Seasonality	0.6352	2.339	0.454	1.672	0.974	2.602
Damped trend, No Seasonality	0	4.141	0.7565	3.134	0.9694	4.84
Damped trend, Additive Seasonality	0.7052	2.271	0.3442	1.422	0.9368	2.781
Damped trend, Multiplicative Seasonality	0.7638	2.033	0.2909	1.257	0.9706	2.49
Box-Jenkins	0	0.6006	0.6182	3.266	0.9623	3.829
Dynamic Regression						
Simple Moving Average						
automatic	0	3.699	0.738	3.116	0.6821	3.497
moving average						
random walk						
Discrete						
Data Negative Binomial Distribution						
Parameters estimated via simple exponential smoothing	0	4.002	0.7637	3.144	0.9313	4.451

A Figura 17 apresenta a distribuição da série histórica do produto 16, e sua projeção para os seis meses seguintes.

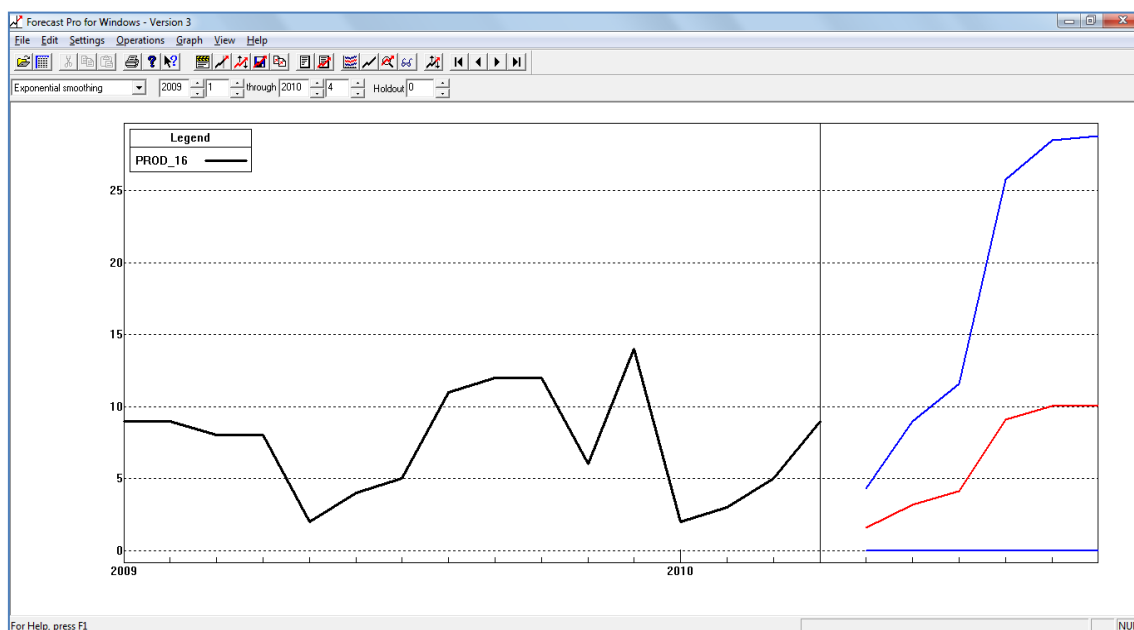


Figura 3: Gráfico de previsão do software para o produto 16

Os valores previstos pelo software para a demanda do produto 16 são apresentados na Tabela 34.

Tabela 6: Previsão do software para o produto 16

Forecasted Values						
Date	2.5 Lower	Forecast	Quarterly	Annual	97.5 Upper	97.5 Safety
2010-05	0	2	14	4	3	
2010-06	0	3		9	7	
2010-07	0	4		12	10	
2010-08	0	9		26	20	
2010-09	0	10	23	28	28	
2010-10	0	10		29	35	

Previsão para o produto 17

O produto 17 apresentou uma série com tendência linear e sazonalidade aditiva, definida pelo modelo de amortecimento exponencial. Neste caso, o coeficiente de rendimento apresentou valores idênticos para tendência, e os outros indicadores variaram pouco. Ao aplicar o software Forecast Pro para prever a demanda do produto 17, a partir dos dados históricos de vendas de janeiro de 2009 a abril de 2010, o modelo linear com parametrização de Winters foi escolhido. Porém, os modelos com tendência amortecida e sem tendência não afetariam os indicadores de desempenho da previsão, como pode ser visto na Tabela 35.

Tabela 7: Indicadores para o modelo do produto 17

Tabela 7: Indicadores para o modelo do produto 17						
PRODUTO		ESPECIF.	CODIGO			
17		Prolite TV PT	1264			
MODELO	R-SQUARE	FORECAST ERROR	MAPE	MAD	P	BIC
Exponential Smoothing						
Simple						
No trend, No Sazonality	0	7.508	0.9773	4.225	0.0527	7.928
Holt						
Linear trend, No Seasonality	0	7.772	0.9911	4.247	0.09322	8.645
Winters						
Linear Trend, Additive Seasonality	0.9373	1.941	0.1944	0.6929	0.1815	2.27
Linear Trend, Multiplicative Seasonality.						
No trend, Additive Seasonality	0.9373	1.871	0.1963	0.709	0.1094	2.082
No trend, Multiplicative Seasonality						
Damped trend, No Seasonality	0	8.02	1.086	4.379	0.1982	9.375
Damped trend, Additive Seasonality	0.9373	2.021	0.1941	0.6907	0.2703	2.475
Damped trend, Multiplicative seasonality						
Box-Jenkins	0	0.8299	0.7353	3.915	0.2396	3.588
Dynamic Regression						
Simple Moving Average						
automatic	0	7.228	1.067	4.463	0.02133	6.832
moving average						
random walk						
Discrete Data Negative Binomial Distribution						
Parameters estimated via simple exponential smoothing	0	7.772	0.9773	4.225	0.08866	8.645

A distribuição da série histórica dos dados do produto 17, juntamente com previsão dos próximos seis meses dada pelo *software*, é apresentada na Figura 18.

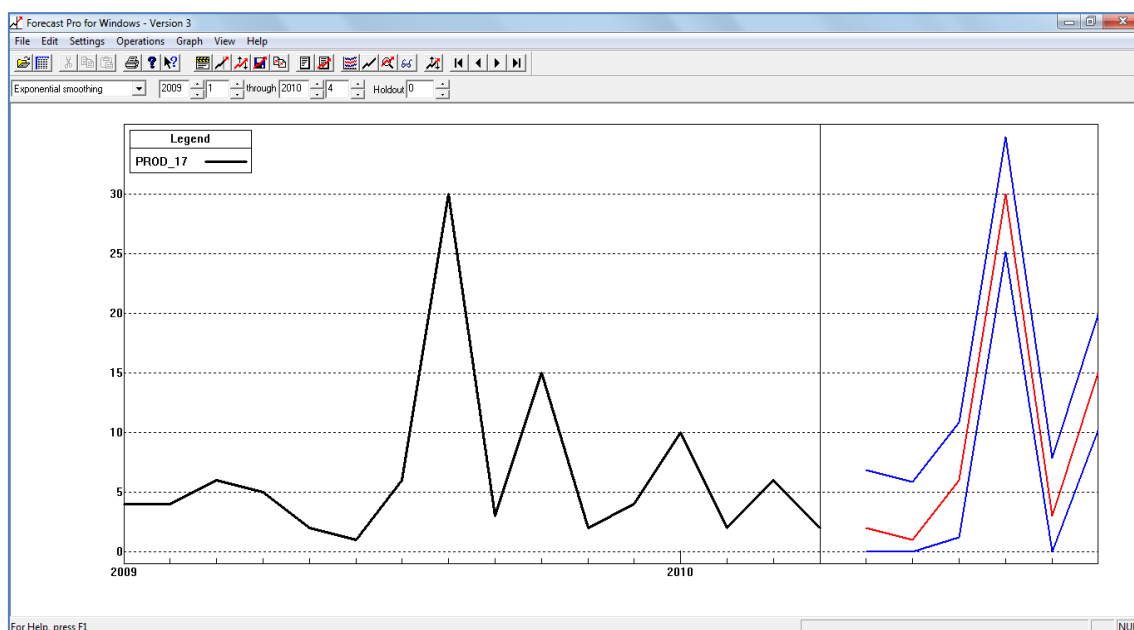


Figura 4: Gráfico de previsão do software para o produto 17

Os valores previstos para a demanda do produto 17 estão resumidos na Tabela 36.

Tabela 8: Previsão do software para o produto 17

Forecasted Values						
Date	2.5 Lower	Forecast	Quarterly	Annual	97.5 Upper	97.5 Safety
2010-05	0	2		6	4	
2010-06	0	1	5	5	6	
2010-07	2	6		10	8	
2010-08	26	30		34	9	
2010-09	0	3	39	7	10	
2010-10	11	15		19	11	

Previsão para o produto 14

O relatório de previsão gerado pelo software Forecast Pro a partir da série histórica de vendas do produto 14 encontra-se na Tabela 37, onde a linha marcada representa o modelo escolhido. Para o produto 14, *prolite* STV, código 1301, o modelo sazonal aditivo sem tendência com amortecimento exponencial de Winters apresentou o melhor coeficiente de rendimento.

Tabela 9: Indicadores para o modelo do produto 14

PRODUTO	ESPECIF.	CODIGO
14	Prolite STV AC	1301

MODELO	R-SQUARE	FORECAST ERROR	MAPE	MAD	P	BIC
Exponential Smoothing						
Simple						
No trend, No seasonality	0.4436	1.772	0.3848	1.063	0.368	1.871
Holt						
Linear trend, No seasonality	0.4431	1.835	0.3854	1.068	0.4633	2.041
Winters						
Linear Trend, Additive Seasonality.	0.8625	0.9461	0.145	0.5773	0.7294	1.106
Linear Trend, Multiplicative Seasonality	0.8788	0.8881	0.0728	0.2913	0.03696	1.038
No trend, Additive Seasonality	0.88	0.8518	0.08659	0.3552	0.03365	0.9475
No trend, Multiplicative Seasonality	0.8789	0.8555	0.07392	0.2974	0.01443	0.9516
Damped trend, No Seasonality	0.4444	1.902	0.3892	1.065	0.5723	2.223
Damped trend, Additive Seasonality	0.8794	0.922	0.07463	0.3008	0.06191	1.129
Damped trend, Multiplicative Seasonality	0.8789	0.924	0.07388	0.2957	0.05925	1.132
Box-Jenkins	0.5212	1.644	0.3924	1.157	0.63	1.735
Dynamic Regression						
Simple Moving Average						
automatic	0.4436	1.664	0.3848	1.063	0.2123	1.573
moving average						
random walk						
Discrete Data Negative Binomial Distribution						
Parameters estimated via simple exponential smoothing						

A Figura 19 apresenta a distribuição da série histórica do produto 14, e sua projeção para os seis meses seguintes.

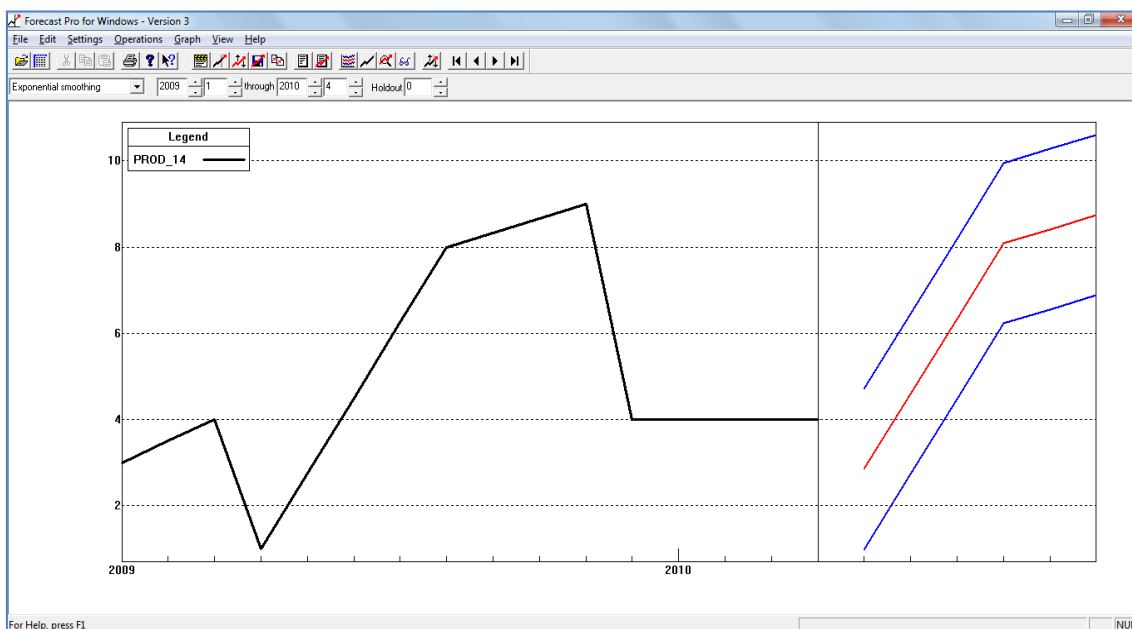


Figura 5: Gráfico de previsão do software para o produto 14

Os valores previstos pelo *software* para a demanda do produto 14 são apresentados na Tabela 38.

Tabela 10: Previsão do software para o produto 14

Forecasted Values						
Date	2.5 Lower	Forecast	Quarterly	Annual	97.5 Upper	97.5 Safety
2010-05	1	3		5	2	
2010-06	3	5	11	6	3	
2010-07	4	6		8	3	
2010-08	6	8		10	4	
2010-09	7	8	23	10	4	
2010-10	7	9		11	5	

Previsão para o produto 19

E por fim, para o produto 19, *prolite* DV BS, código 1175, o modelo de sazonal sem tendência com a técnica de Winters foi o escolhido, como mostra a Tabela 39.

Tabela 11: Indicadores para o modelo do produto 19

Tabela 17: Indicadores para o modelo de produto 19						
PRODUTO		ESPECIF.	CODIGO			
19		Prolite DV BS	1175			
MODELO	R-SQUARE	FORECAST ERROR	MAPE	MAD	P	BIC
Exponential Smoothing						
Simple						
No trend, No Sazonality	0	4.922	1.065	3.638	0.1256	5.197
Holt						
Linear trend, No seasonality	0	5.094	1.065	3.635	0.1865	5.667
Winters						
Linear Trend, Additive Seasonality.	0.9259	1.414	0.1515	0.501	0.2305	1.653
Linear Trend, Multiplicative Seasonality						
No trend, Additive Seasonality	0.9258	1.363	0.1554	0.5234	0.1565	1.517
No trend, Multiplicative Seasonality.						
Damped trend, No Seasonality	0	5.287	1.065	3.635	0.2675	6.18
Damped trend, Additive Seasonality	0.9259	1.472	0.1514	0.5022	0.3246	1.803
Damped trend, Multiplicative Seasonality						
Box-Jenkins	6,68E-06	0.8624	0.8542	3.187	0.5537	3.015
Dynamic Regression						
Simple Moving Average						
automatic	0	4.715	1.111	3.75	0.1419	4.457
moving average						
randon walk						
Discrete Data Negative Binomial Distribution						
Parameters estimated via simple exponential smoothing	0	5.094	1.065	3.638	0.1873	5.667

A Figura 20 apresenta a distribuição da série histórica do produto 19, e sua projeção para os seis meses seguintes.

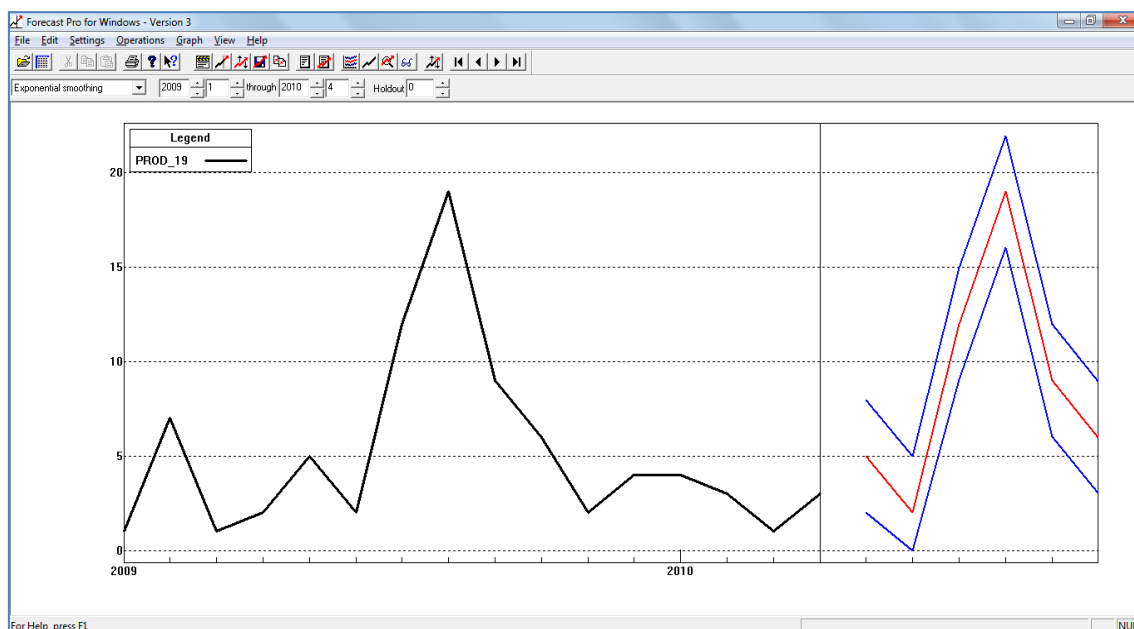


Figura 6: Gráfico de previsão do software para o produto 19

Os valores previstos pelo *software* para a demanda do produto 19 são apresentados na Tabela 40.

Tabela 12: Previsão do software para o produto 19

Forecasted Values						
Date	2.5 Lower	Forecast	Quarterly	Annual	97.5 Upper	97.5 Safety
2010-05	2	5		8	3	
2010-06	0	2	10	5	4	
2010-07	9	12		15	5	
2010-08	16	19		22	6	
2010-09	6	9	40	12	7	
2010-10	3	6		9	7	

I.II Software de otimização e resultados

A Figura 21 representa a página inicial do software AIMMS utilizado para realizar a modelagem do problema estudado neste trabalho.

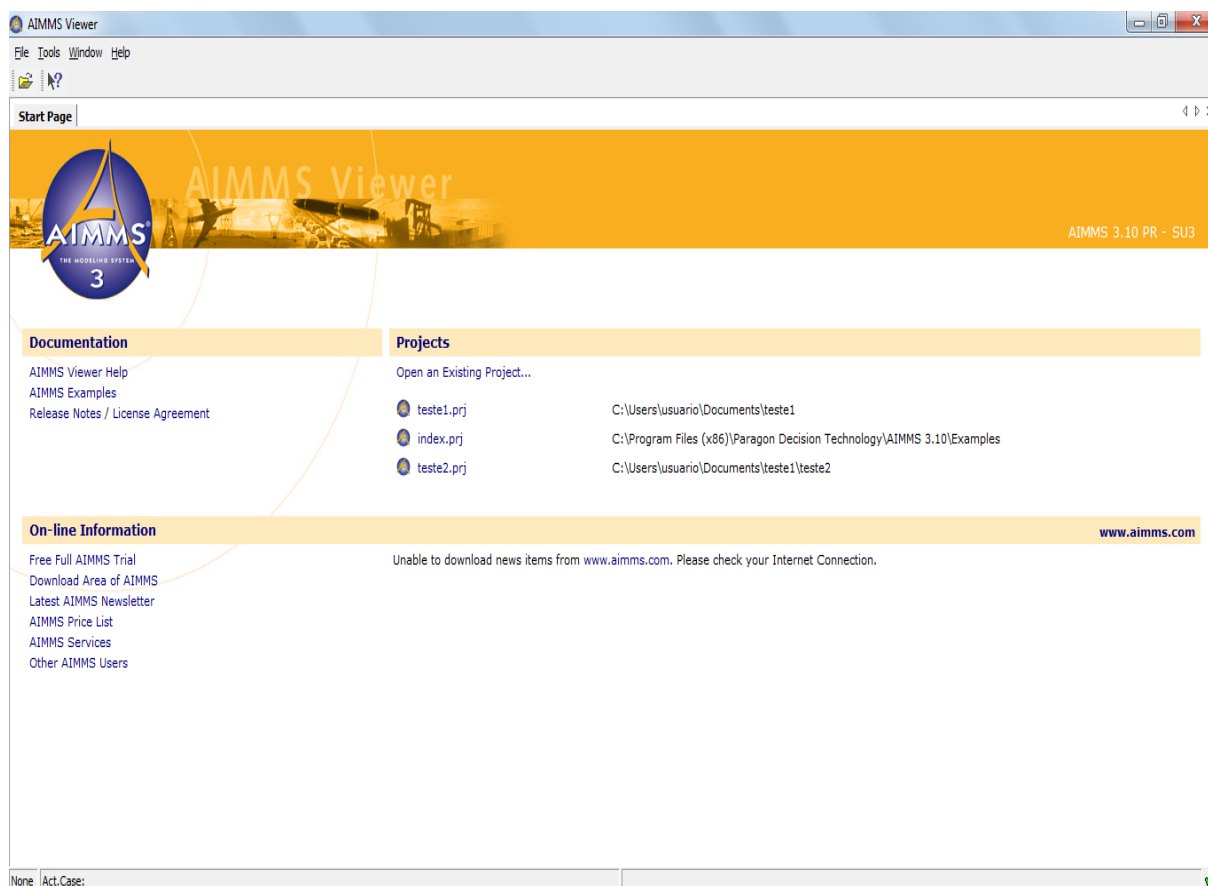


Figura 7: Página inicial do software AIMMS

Para iniciar a fase de modelagem no software, é necessário declarar todos os elementos que compõem o problema de otimização. Na Figura 22, as entidades com a letra S de “set” são os objetos declarados que possuem índices. Segue-se, então, com a declaração de todos os parâmetros “P”, variáveis de decisão “V”, restrições “C” e função objetivo “FO”, que é interpretada pelo software como uma variável de decisão.

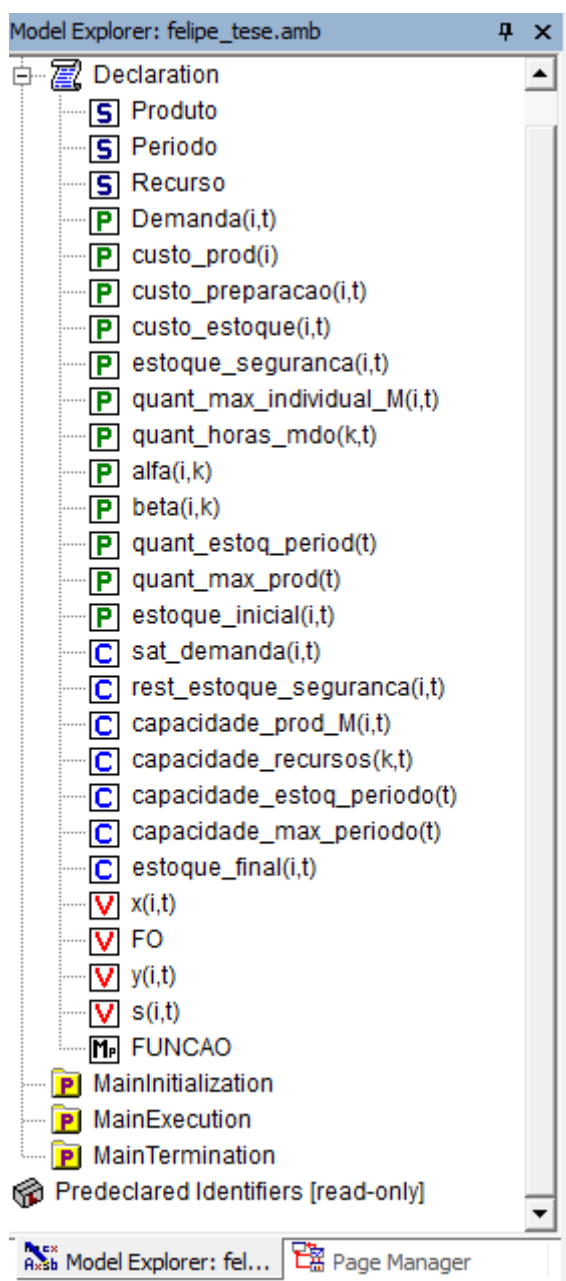


Figura 8: Elementos declarados no software

As restrições, especificadas anteriormente, não geram figuras representativas no software. A notação usada para inseri-las no *software* é apresentada a seguir.

- Satisfação da demanda:

$$s(i, t-1) + \text{estoque_inicial}(i, t) + x(i, t) = \text{Demanda}(i, t) + s(i, t)$$

- Estoque de segurança: $s(i, t) \geq \text{estoque_seguranca}(i, t)$

- Estoque final: $s(i, t) = \text{estoque_seguranca}(i, t); (i, t) | t \in \{6\}$
- Capacidade de produção M:

$$x(i, t) \leq \text{quant_max_individual_M}(i, t) * y(i, t)$$
- Capacidade de recursos:

$$\text{sum}(i, \text{alfa}(i, k) * x(i, t)) + \text{sum}(i, \text{beta}(i, k) * y(i, t)) \leq$$

$$\text{quant_horas_mdo}(k, t)$$
- Capacidade de estoque por período:

$$\text{sum}(i, s(i, t)) \leq \text{quant_estoq_period}(t)$$
- Capacidade de produção média por período:

$$\text{sum}(i, x(i, t)) \leq \text{quant_max_prod}(t)$$
- Não negatividade: nonnegative: $x(i, t) \geq 0; s(i, t) \geq 0$
- Integralidade: binary: $y(i, t) \in [0, 1]$

A função objetivo declarada no *software* é apresentada na Figura 23.

Type	Variable
Identifier	FO
Index domain	
Text	
Range	free
Unit	
Default	
Property	
Nonvar status	
Definition	$\text{sum}((i,t), \text{custo_prod}(i) * x(i,t)) +$ $\text{sum}((i,t), \text{custo_preparacao}(i,t) * y(i,t)) +$ $\text{sum}((i,t), \text{custo_estoque}(i,t) * s(i,t))$

Figura 9: Declaração da função objetivo no software

As Figura 24 apresenta informações detalhadas do resultado da otimização para cada variável de decisão “quantidade a ser produzida do item i no período t ”.

Por exemplo, com relação ao produto $i = 1$ no período $t = 3$ a quantidade a ser produzida $x(1,3)$ é igual a 30 unidades. Também é informado, na Figura 25, o custo marginal ou o custo total incorrido na produção de uma unidade de cada item. No caso do exemplo, o custo marginal é 197 para produzir uma unidade do item 1. As demais colunas são desconsideradas na análise.

t	1		2		3		4		5		6	
Suffix i	Level	basic	Level	basic	Level	basic	Level	basic	Level	basic	Level	basic
1		10 NonBasic		8 NonBasic		30 NonBasic		12 NonBasic		47 NonBasic		6 NonBasic
2		14 NonBasic		11 NonBasic		14 NonBasic		20 NonBasic		18 NonBasic		23 NonBasic
3		2 NonBasic		3 NonBasic		4 NonBasic		9 NonBasic		10 NonBasic		10 NonBasic
4		2 NonBasic		1 NonBasic		6 NonBasic		30 NonBasic		3 NonBasic		15 NonBasic
5		3 NonBasic		5 NonBasic		6 NonBasic		8 NonBasic		8 NonBasic		9 NonBasic
6		5 NonBasic		2 NonBasic		12 NonBasic		19 NonBasic		9 NonBasic		6 NonBasic

Figura 10: Quantidades produzidas de cada item a cada período

Variable Solution		Constraint Solution		Math
Variable	Value	Marginal	Basis Status	Bound Status
x(1,1)	10	197	Nonbasic	In between bounds
x(1,2)	8	197	Nonbasic	In between bounds
x(1,3)	30	197	Nonbasic	In between bounds
x(1,4)	12	197	Nonbasic	In between bounds
x(1,5)	47	197	Nonbasic	In between bounds
x(1,6)	6	197	Nonbasic	In between bounds
x(2,1)	14	197	Nonbasic	In between bounds
x(2,2)	11	197	Nonbasic	In between bounds
x(2,3)	14	197	Nonbasic	In between bounds
x(2,4)	20	197	Nonbasic	In between bounds
x(2,5)	18	197	Nonbasic	In between bounds
x(2,6)	23	197	Nonbasic	In between bounds
x(3,1)	2	206	Nonbasic	In between bounds
x(3,2)	3	206	Nonbasic	In between bounds
x(3,3)	4	206	Nonbasic	In between bounds
x(3,4)	9	206	Nonbasic	In between bounds
x(3,5)	10	206	Nonbasic	In between bounds
x(3,6)	10	206	Nonbasic	In between bounds
x(4,1)	2	158	Nonbasic	In between bounds
x(4,2)	1	158	Nonbasic	In between bounds
x(4,3)	6	158	Nonbasic	In between bounds
x(4,4)	30	158	Nonbasic	In between bounds
x(4,5)	3	158	Nonbasic	In between bounds
x(4,6)	15	158	Nonbasic	In between bounds
x(5,1)	3	910	Nonbasic	In between bounds
x(5,2)	5	910	Nonbasic	In between bounds
x(5,3)	6	910	Nonbasic	In between bounds
x(5,4)	8	910	Nonbasic	In between bounds
x(5,5)	8	910	Nonbasic	In between bounds
x(5,6)	9	910	Nonbasic	In between bounds
x(6,1)	5	280	Nonbasic	In between bounds
x(6,2)	2	280	Nonbasic	In between bounds
x(6,3)	12	280	Nonbasic	In between bounds
x(6,4)	19	280	Nonbasic	In between bounds
x(6,5)	9	280	Nonbasic	In between bounds
x(6,6)	6	280	Nonbasic	In between bounds

Figura 11: Solução das variáveis de produção de cada item em cada período

A Figura 26 apresenta a decisão de produção de cada item em cada período detalhadamente. A Figura 27 apresenta o valor da variável $y(i,t)$

informado na segunda coluna, enquanto que seu custo marginal total é informado na terceira coluna. Todos os valores para y são iguais a um, o que determina a opção por produção em todos os períodos. As demais colunas não são analisadas.

t	1		2		3		4		5		6	
Suffix i	Level	basic	Level	basic	Level	basic	Level	basic	Level	basic	Level	basic
1	✓	NonBasic	✓	NonBasic	✓	NonBasic	✓	NonBasic	✓	NonBasic	✓	NonBasic
2	✓	NonBasic	✓	NonBasic	✓	NonBasic	✓	NonBasic	✓	NonBasic	✓	NonBasic
3	✓	NonBasic	✓	NonBasic	✓	NonBasic	✓	NonBasic	✓	NonBasic	✓	NonBasic
4	✓	NonBasic	✓	NonBasic	✓	NonBasic	✓	NonBasic	✓	NonBasic	✓	NonBasic
5	✓	NonBasic	✓	NonBasic	✓	NonBasic	✓	NonBasic	✓	NonBasic	✓	NonBasic
6	✓	NonBasic	✓	NonBasic	✓	NonBasic	✓	NonBasic	✓	NonBasic	✓	NonBasic

Figura 12: Decisão de produzir cada item em cada período

Variable Solution		Constraint Solution		Math
Vari...	Value	Marginal	Basis Status	Bound Status
y(1,1)	1	4	Nonbasic	At bound
y(1,2)	1	4	Nonbasic	At bound
y(1,3)	1	4	Nonbasic	At bound
y(1,4)	1	4	Nonbasic	At bound
y(1,5)	1	4	Nonbasic	At bound
y(1,6)	1	4	Nonbasic	At bound
y(2,1)	1	4	Nonbasic	At bound
y(2,2)	1	4	Nonbasic	At bound
y(2,3)	1	4	Nonbasic	At bound
y(2,4)	1	4	Nonbasic	At bound
y(2,5)	1	4	Nonbasic	At bound
y(2,6)	1	4	Nonbasic	At bound
y(3,1)	1	4	Nonbasic	At bound
y(3,2)	1	4	Nonbasic	At bound
y(3,3)	1	4	Nonbasic	At bound
y(3,4)	1	4	Nonbasic	At bound
y(3,5)	1	4	Nonbasic	At bound
y(3,6)	1	4	Nonbasic	At bound
y(4,1)	1	4	Nonbasic	At bound
y(4,2)	1	4	Nonbasic	At bound
y(4,3)	1	4	Nonbasic	At bound
y(4,4)	1	4	Nonbasic	At bound
y(4,5)	1	4	Nonbasic	At bound
y(4,6)	1	4	Nonbasic	At bound
y(5,1)	1	4	Nonbasic	At bound
y(5,2)	1	4	Nonbasic	At bound
y(5,3)	1	4	Nonbasic	At bound
y(5,4)	1	4	Nonbasic	At bound
y(5,5)	1	4	Nonbasic	At bound
y(5,6)	1	4	Nonbasic	At bound
y(6,1)	1	4	Nonbasic	At bound
y(6,2)	1	4	Nonbasic	At bound
y(6,3)	1	4	Nonbasic	At bound
y(6,4)	1	4	Nonbasic	At bound
y(6,5)	1	4	Nonbasic	At bound
y(6,6)	1	4	Nonbasic	At bound

Figura 13: Solução das variáveis de decisão de produção de cada item em cada período

A Figura 28 apresenta a solução das variáveis de estoque de cada produto em cada período. Na primeira coluna da Figura 29 são identificadas as variáveis $s(i, t)$, na segunda coluna é apresentado o valor ótimo de cada variável, e na

terceira coluna é apresentado o valor do custo marginal ou o custo de manter uma unidade estocada. As demais colunas não são analisadas.

t	1		2		3		4		5		6	
Suffix	Level	basic	Level	basic	Level	basic	Level	basic	Level	basic	Level	basic
1		5 NonBasic		5 NonBasic		12 NonBasic		5 NonBasic		5 NonBasic		5 NonBasic
2		5 NonBasic		5 NonBasic		5 NonBasic		5 NonBasic		5 NonBasic		5 NonBasic
3		5 NonBasic		5 NonBasic		5 NonBasic		5 NonBasic		5 NonBasic		5 NonBasic
4		5 NonBasic		5 NonBasic		5 NonBasic		5 NonBasic		5 NonBasic		5 NonBasic
5		1 NonBasic		1 NonBasic		1 NonBasic		1 NonBasic		1 NonBasic		1 NonBasic
6		5 NonBasic		5 NonBasic		5 NonBasic		5 NonBasic		5 NonBasic		5 NonBasic

Figura 14: Quantidades de itens estocados a cada período

Variable Solution			Constraint Solution		M:
Variable	Value	Marginal	Basis Status	Bound Status	
s(1,1)	5	28	Nonbasic	In between bounds	
s(1,2)	5	28	Nonbasic	In between bounds	
s(1,3)	12	28	Nonbasic	In between bounds	
s(1,4)	5	28	Nonbasic	In between bounds	
s(1,5)	5	28	Nonbasic	In between bounds	
s(1,6)	5	28	Nonbasic	In between bounds	
s(2,1)	5	28	Nonbasic	In between bounds	
s(2,2)	5	28	Nonbasic	In between bounds	
s(2,3)	5	28	Nonbasic	In between bounds	
s(2,4)	5	28	Nonbasic	In between bounds	
s(2,5)	5	28	Nonbasic	In between bounds	
s(2,6)	5	28	Nonbasic	In between bounds	
s(3,1)	5	40	Nonbasic	In between bounds	
s(3,2)	5	40	Nonbasic	In between bounds	
s(3,3)	5	40	Nonbasic	In between bounds	
s(3,4)	5	40	Nonbasic	In between bounds	
s(3,5)	5	40	Nonbasic	In between bounds	
s(3,6)	5	40	Nonbasic	In between bounds	
s(4,1)	5	32	Nonbasic	In between bounds	
s(4,2)	5	32	Nonbasic	In between bounds	
s(4,3)	5	32	Nonbasic	In between bounds	
s(4,4)	5	32	Nonbasic	In between bounds	
s(4,5)	5	32	Nonbasic	In between bounds	
s(4,6)	5	32	Nonbasic	In between bounds	
s(5,1)	1	78	Nonbasic	In between bounds	
s(5,2)	1	78	Nonbasic	In between bounds	
s(5,3)	1	78	Nonbasic	In between bounds	
s(5,4)	1	78	Nonbasic	In between bounds	
s(5,5)	1	78	Nonbasic	In between bounds	
s(5,6)	1	78	Nonbasic	In between bounds	
s(6,1)	5	34	Nonbasic	In between bounds	
s(6,2)	5	34	Nonbasic	In between bounds	
s(6,3)	5	34	Nonbasic	In between bounds	
s(6,4)	5	34	Nonbasic	In between bounds	
s(6,5)	5	34	Nonbasic	In between bounds	
s(6,6)	5	34	Nonbasic	In between bounds	

Figura 15: Solução das variáveis de decisão de produção de cada item em cada período

A Figura 30 apresenta a função objetivo fornecida após a conclusão do problema.

Variable Solution			Constraint Solution		M:
Variable	Value	Margi...	Basis Status	Bound Status	
FO	114793	0	Basic	In between bounds	

Figura 16: Valor ótimo da função objetivo

O relatório final gerado pelo AIMMS é fornecido na Figura 31.

Progress Window		⌵	✕
READY			
AIMMS	: felipe_tese.amb		
Executing	: MainExecution		
Line number	: 1 [body]		
Math.Program	: FUNCAO		
# Constraints	: 127		
# Variables	: 109 (108 integer)		
# Nonzeros	: 463		
Model Type	: MIP		
Direction	: minimize		
SOLVER	: CPLEX 12.2		
Phase	: Postsolving		
Iterations	: 46		
Nodes	: 0 (Left: 0)		
Best LP Bound	: 114793 (Gap: 0.00%)		
Best Solution	: 114793 (Post: 114793)		
Solving Time	: 0.02 sec (Peak Mem: 2.0 Mb)		
Program Status	: Optimal		
Solver Status	: Normal completion		
Total Time	: 0.00 sec		
Memory Used	: 83.3 Mb		
Memory Free	: 2488.0 Mb		

Figura 17: Resultado técnico final do programa.