



SISTEMA DE APOIO A DECISÃO GERENCIAL ORIENTADO AO PLANEJAMENTO AGREGADO DA PRODUÇÃO

Oscar S. Silva Fo., Giovanni M. Basso e Wagner Cezarino

Centro de Pesquisas Renato Archer - CenPRA
Laboratório de Tecnologias de Gestão Empresarial
Rod. D. Pedro I (SP65) km 143,6
13082-120 – Campinas – SP
Email: oscar.salviano@cenpra.gov.br

Resumo: Este trabalho apresenta um ambiente para apoio a tomada de decisão gerencial que permite ao gerente analisar cenários relativos à utilização dos recursos da firma e definir um plano de produção de médio e longo prazo. Um modelo linear estocástico é formulado, o qual, após apropriadamente transformado a um equivalente determinístico é resolvido pelo algoritmo Simplex. O ambiente está implementado na plataforma Visual Basic 6.0 e utiliza a base de dados Access para armazenar as informações gerenciais. Um exemplo de aplicação é apresentado para ilustrar os recursos do ambiente e também para mostrar sua potencialidades como ferramenta gerencial.

Palavras-chave: planejamento da produção, programação linear, modelos estocásticos, sistemas de apoio à decisão.

Abstract: This paper presents a computational environment oriented to support managerial decisions. From scenarios analysis, managers can decide on the use of the company's resource as well as provide to an aggregated production plan. A linear stochastic production model is formulated which is transformed in equivalent deterministic equivalent and solved by using Simplex algorithm. The environment runs in the proprietary Visual Basic platform and count with Access data base resource to store the managerial data. An example of application illustrates the environment resource and shows its potentiality as a management tool.

Key-words: production planning, linear programming, stochastic model, decision support system.

1. Introdução

Planejar a produção é uma atividade essencialmente complexa que requer a cooperação de todos os responsáveis pelas decisões dentro da organização. Isto significa que se não existir o mínimo de sinergia entre áreas departamentais, como por exemplo: marketing, vendas, produção, o destino da empresa pode ser incerto. Esta sinergia pode ser obtida através do equilíbrio entre os diversos níveis hierárquicos de decisão. Além disso, os inputs de cada área devem estar sincronizados, nos diversos níveis de decisão, principalmente naqueles que envolvem atividades futuras, como os de médio e longo-prazo.

No contexto de longo prazo – que dependendo do tipo de produção pode situar-se na faixa de 6 meses a 2 anos – a definição de um plano de produção é essencial para antecipar situações inesperadas de produção que afetam o desempenho final da empresa no atendimento ao cliente. O plano de produção determina os pedidos que devem ser agendados e executados num dado horizonte de planejamento. Esses pedidos são entradas para execução do Plano Mestre da Produção, o qual via de regra já conta com informações mais confiáveis sobre a demanda, cuja saída fornece os subsídios para operar a camada de Planejamento de Recursos que na maioria das vezes inclui um processador MRP (Planejamento de Recursos de Manufatura). A camada de Planejamento de Recursos recebe, do Plano Mestre de Produção, os pedidos, em termos do número de produtos a serem produzidos, os quais são



uma descrição quantitativa dos pedidos do cliente definidos através do planejamento anual que deu origem a todo o processo.

O objetivo do desenvolvimento deste ambiente é oferecer uma ferramenta gerencial a pequena e média empresa que permita a gerência realizar um planejamento antecipativo com conotação científica ao invés do tradicional uso da intuição gerencial. Para isto, a otimização do uso de recursos de produção é feito dentro de uma visão de médio-longo prazo, visando assim garantir aos níveis subseqüentes a execução das ordens de produção com um alto nível de confiabilidade. Essencialmente, o propósito aqui é determinar quais e quantos produtos de uma dada família devem ser produzidos, assegurando tempos de produção factíveis e garantindo flexibilidade no uso dos recursos existente na firma, o que inclui: insumos, mão de obra, capacidade de máquina etc.. Estes recursos devem ser definidos de modo suficiente à facilitar a fabricação de uma grande variedade de produtos, garantindo assim a satisfação do cliente, principalmente quanto aos prazos de entrega.

É importante salientar que devido ao horizonte de planejamento ser de longo prazo, a demanda é uma variável aleatória, pois é impossível prever exatamente seu comportamento futuro. Portanto o modelo de otimização adotado para este problema de geração de um plano de produção pode ser considerado como um modelo de programação linear estocástico. Para efeito de solução, o modelo linear estocástico pode ser transformado num equivalente determinístico que preserva características estatísticas assumidas pelo modelo original. A partir dele é possível gerar um plano ótimo de produção e também construir cenários de produção, capazes de ajudar a gerência na definição de alternativas para o uso dos recursos da firma visando melhor satisfazer a demanda. A seguir estão apresentados alguns aspectos metodológicos e de implementação relacionados com este ambiente.

2. Modelo de Programação Linear Estocástica para a Geração de Plano de Negócio

Via de regra, a hierarquia de decisão de planejamento da produção está associada com três níveis, o estratégico, tático e operacional. No planejamento estratégico e tático são processados as informações como demanda, custos, capacidade, disponibilidade de mão de obra, compras de matéria prima, dentre outros, para fornecer uma entrada factível ao MRP (“Material Resource Planning”) por exemplo. Em outras palavras, o MRP requer informações otimizadas dos recursos de produção definidas pelo Plano Mestre da Produção. Para a geração deste plano mestre é fundamental a definição de metas de produção a serem atingidas. Estas metas são resultado do Plano de Produção Agregado definido no nível estratégico. Basicamente o que diferencia o Plano de Produção do Plano Mestre é a demanda. No primeiro, caso, a demanda é desconhecida devido a escala de tempo ser de longo prazo (a partir de 6 meses a frente). Isto requer, via de regra, que ela seja estimada para períodos futuros, mantendo-se margens de erro sobre como ela realmente flutuará. Um caminho interessante é adotar seu valor médio como referência e adicionar um intervalo de confiança baseados em seu desvio padrão. Este último recurso é usado neste trabalho para criar cenários de produção como será visto nas próximas seções. O modelo matemático utilizado para representar o problema de planejamento agregado de produção é composto pela minimização de uma função objetiva linear sujeita a diversas restrições, dentre elas uma restrição probabilística. A idéia é minimizar os custos esperados de produção da empresa como estoque, produção, mão de obra, hora extra, pedidos atrasados, contratações, subcontratações e dispensas de mão de obra respeitando as barreiras impostas pelas restrições de capacidade e segurança. Minimizar estes custos significa, conseqüentemente, maximizar o lucro da empresa.

2.1. Notação do Problema

As principais variáveis de decisão levadas em conta pelo modelo matemático e com as quais deseja-se obter um esquema otimizado, são dadas abaixo:

x_{ik} : quantidade armazenada do produto i no final do período k ;

u_{ik} : quantidade produzida do produto i no final do período k ;



v_{ik} : quantidade não-produzida do produto i no final do período k ;
 w_{ik} : tempo regular de horas produzidas no período k por produto i ;
 y_{ik} : disponibilidade de hora extra no período k por produto i ;
 z_{ik} : homem-hora dispensado no período k por produto i ;
 r_{ik} : homem-hora contratado no período k por produto i ; e
 s_{ik} : quantidade subcontratada do produto i no período k

Relacionas com as variáveis de decisão acima, estão os seguintes parâmetros de custo e restrição:

(i) *Parâmetros de custos*

a_{ik} : custo associado com a armazenagem do produto i no período k ;
 b_{ik} : custo para produzir uma unidade do produto i no período k ;
 c_{ik} : custo devido a backorder do produto i no período k ;
 d_{ik} : níveis de demanda do produto i no período k ;
 e_{ik} : custo com mão de obra efetiva para produzir o produto i no período k ;
 f_{ik} : custo com hora extra necessários para produzir o produto i no período k ;
 g_{ik} : custo com dispensa (férias coletivas, por exemplo) de pessoal por produto i no período k ;
 h_{ik} : custo com contratação de pessoal para produzir o produto i no período k ;
 m_{ik} : custo com subcontratação para produzir o produto i no período k ;

(ii) *Parâmetros de Restrição*

Tp_i : tempo de processamento por produto i (hora/unidade)
 Ca : percentagem de capacidade de produção permitida
 Cu : percentagem de sub-utilização de mão de obra permitida
 Po : percentagem de hora extra permitida
 Ms_{ik} : máxima subcontratação por produto i no período k
 Es_{ik} : estoque de segurança por produto i no período k ;
 Om_{ik} : overtime máximo por produto i no período k ;
 Pm_{ik} : produção máxima por produto i no período k ; e
 Tpm_{ik} : tempo de produção máximo por produto i no período k

2.2. Formulação do Problema

O problema linear estocástico para N famílias de produtos é dado como segue:

$$\text{Min}J(\cdot) = \sum_i^N \sum_k^T a_{ik} E\{x_{ik}\} + b_{ik} u_{ik} + c_{ik} v_{ik} + e_{ik} w_{ik} + f_{ik} y_{ik} + h_{ik} z_{ik} + m_{ik} r_{ik} + m_{ik} s_{ik}$$

s.a.

$$x_{ik} - x_{ik-1} + u_{ik} + v_{ik} - v_{ik-1} = d_{ik} \tag{1}$$

$$w_{ik} - w_{ik-1} = z_{ik} - r_{ik} \tag{2}$$

$$Tp_i \cdot u_{ik} - Ca \cdot (w_{ik} + z_{ik}) \leq 0 \tag{3}$$

$$Tp_i \cdot u_{ik} - (1 - S_u) \cdot w_{ik} \geq 0 \tag{4}$$

$$z_{ik} - Po \cdot w_{ik} \geq 0 \tag{5}$$

$$s_{ik} \geq Ms_{ik} \tag{6}$$

$$\text{Pr ob.}(x_{ik} \geq Es_{ik}) \geq \alpha_i \tag{7}$$

$$0 \leq u_{ik} \leq Pm_{ik} \tag{8}$$

$$0 \leq w_{ik} \leq Tpm_{ik} \tag{9}$$

$$0 \leq y_{ik} \leq Om_{ik} \tag{10}$$

$$0 \leq v_{ik} \leq \beta \cdot d_{ik} \tag{11}$$

$$x_{iT} = Es_{iT} \tag{12}$$

$$v_{iT} = 0 \tag{13}$$



onde $E\{\cdot\}$ denota o operador esperança matemática e $\text{Prob}(\cdot) \geq \alpha_i$ denota o operador probabilidade, sendo α_{ik} o índice probabilidade operando na faixa de 0 a 100%.

Com relação às restrições, cada uma simboliza um limite físico ou financeiro imposto sobre a produção pelos limites físicos de recursos de produção da empresa ou por ações gerenciais envolvendo questões competitivas. A restrição (1) chama-se *Balanço de Estoque* e ela relaciona a produção (u_{ik}) de cada mês com: o estoques (x_{ik}) do mês atual e do anterior, a quantidade não produzida (v_{ik}) do mês atual e anterior, e a demanda (d_{ik}) para aquele mês. Por outro lado a restrição (2) denota o *Balanço de Mão de Obra* relacionando o tempo de produção, ou força de trabalho (w_{ik}), de cada mês e seu antecessor com as quantidades de mão de obra contratada (r_{ik}) e dispensada (z_{ik}). As restrições (3) e (4) retratam a *Relação Produção vs. Mão de Obra* de cada mês limitando a produção de acordo com a capacidade de se produzir no número de horas disponíveis, simbolizado pelas variáveis de tempo de produção e hora-extra (y_{ik}). A quinta restrição (5), *Balanço de Hora Extra*, equilibra o número de horas extras de acordo com a força de trabalho. A *Máxima quantidade de subcontratação* está limitada de acordo com (6). A restrição de *Estoque de Segurança* (7), não permite que os estoques atinjam níveis perigosamente baixos, os quais podem resultar em pedidos assumidos e não-produzidos. Nesta restrição α_i é o nível de satisfação do cliente imposto pelo usuário, lembrando que, quanto mais alto for α_i maior serão as precauções tomadas pelo Sistema de Planejamento durante as suas iterações. As restrições (8) a (11) impõem limites superiores na produção, força de trabalho, hora-extra e na quantidade não produzida, respectivamente. São elas, em ordem, as restrições de *Produção Máxima*, *Força de Trabalho Máxima*, *Hora Extra Máximo*, *Máximo de Ordens em atraso*. Note que β representa o percentual máximo de pedidos em atraso admitidos pela empresa, sem que isto traga riscos de perdas de clientes. Por fim, seguem as *Condições Terminais*, para o estoque (x_{ik}) e para a quantidade não produzida (v_{ik}), são impostas por (12) e (13), onde T representa o horizonte de planejamento.

É importante notar que d_{ik} é uma variável aleatória, pois como T é de longo prazo, por mais apurado que seja o estimador de flutuações futuras da demanda d_{ik} , sempre haverá erros. Esta aleatoriedade impregna a equação de *Balanço de Estoque* (1), tornando-a um processo estocástico. Além disso desde que (1) é uma equação linear, vem das propriedades estatísticas [Papoullis, 1986] que a variável de estoque x_{ik} apresentará uma distribuição de probabilidade semelhante a observada para a demanda.

O modelo (1)-(13), como formulado, representa um típico problema de programação linear cuja função objetivo dada deve ser minimizada para otimizar o desempenho da empresa, ou seja, encontrar o conjunto de variáveis de decisão para as quais a função custo tem valor mínimo. Neste contexto, a função objetivo descreve o custo da empresa de acordo com os valores das variáveis de decisão escolhidos, enquanto que as restrições que compõem o modelo, gerando fronteiras que delimitam uma região, que se for factível, incluirá o valor ótimo das variáveis de decisão que minimizam a função objetivo. No entanto, devido a aleatoriedade de x_{ik} , o problema de programação linear (1) é dito estocástico, pois nada pode garantir que uma solução ótima factível possa ser efetivamente encontrada para este problema. Por outro lado, buscando-se garantir alguma factibilidade à (1), considera-se o risco da variável aleatória x_{ik} violar o limite mínimo de estoque (estoque de segurança) em probabilidade. Deste modo, se explica a restrição (7).

Como principal implicação do discutido acima, a variável de estoque x_{ik} será também uma variável aleatória gaussiana (Pappoulis, 1991) com média e variância definidas respectivamente por $E\{x_{ik}\} = \hat{x}_{ik}$ e $E\{(x_{ik} - \hat{x}_{ik})^2\} = \text{Var}(x_{ik})$. Por conseguinte, as seguintes transformações se fazem possíveis Parlar (1984): em primeiro lugar, com respeito ao custo esperado de estoque, tem-se que: $a_{ik}E\{x_{ik}\} = a_{ik}\hat{x}_{ik}$. Em seguida com respeito a transformação da equação (1) segue: $E\{x_{ik} - x_{ik-1} + u_{ik} + v_{ik} - v_{ik-1}\} = E\{d_{ik}\} \Leftrightarrow \hat{x}_{ik} - \hat{x}_{ik-1} + u_{ik} + v_{ik} - v_{ik-1} = \hat{d}_{ik}$, sendo que u_{ik} , v_{ik} e v_{ik-1} são variáveis determinísticas para o problema, não sofrendo efeito desta transformação. Por fim, considera-se a terceira e última transformação, que ocorre na restrição de estoque de segurança (7).



Para realizar esta transformação, deve-se calcular inicialmente a evolução da variância de estoque no tempo (i.e., $\text{Var}(x_{ik})$, $k=1, 2, \dots, T$) a partir da equação de balanço (1). Segue então que $\text{Var}(\partial x_{ik}) = \text{Var}(\partial x_{ik-1}) + \sigma_{d_{ik}}^2$ sendo $\partial x = x_{ik} - \hat{x}_{ik}$ e $\text{Var}(\partial d_{ik}) = \text{Var}(d_{ik}) = \sigma_{ik}^2$. Assumindo que para $k=1$ tem-se $\text{Var}(\partial x_{i0})=0 \forall i$ segue que pode-se simplificar (3) para onde observa-se que a variância cresce no tempo com o valor acumulado da variância da demanda. Se assume que a variância de demanda é fixa no tempo, ou seja, $\sigma_{ik}^2 = \sigma_i^2 \geq 0 \forall k$, implica então que $\text{Var}(\partial x_{ik}) = k \cdot \sigma_i^2$, o que mostra o quanto o tempo k influi na variabilidade dos níveis de estoque, fato devido às incertezas sobre a flutuação futura de demanda. Considerando este último resultado e que $\text{Var}(x_{ik}) = \text{Var}(\partial x_{ik}) + \hat{x}_{ik}^2$, tem-se então que a variável Gaussiana x_{ik} é completamente definida pela seguinte expressão de igualdade $x_{ik} = \hat{x}_{ik} + \varepsilon_k \cdot \text{Var}(\partial x_{ik}) \Leftrightarrow x_{ik} = \hat{x}_{ik} + \varepsilon_k \cdot k \cdot \sigma_i^2$, onde ε_{ik} denota o ruído branco, ou seja, $\varepsilon_k \propto \mathcal{N}(0,1)$. Assim pode-se escrever a restrição (7) como segue: $\hat{x}_{ik} \geq es_{ik} + k \cdot \Phi_x^{-1}(\alpha_i) \cdot \sigma_d^2$, com $\Phi_x^{-1}(\cdot)$ denotando a função distribuição de probabilidade inversa da variável de estoque x_{ik} .

O problema de programação linear (1)-(13), com as transformações determinísticas descritas acima, pode ser resolvido por diferentes métodos da literatura, sendo que aqui adotou-se o Método Simplex. Em particular, a rotina implementada é baseada no algoritmo de Kuenzi, Tzschach and Zehnder (1971). Sua implementação, na linguagem de alto nível utilizada na interface do Visual Basic, está explicada no relatório técnico Silva Filho et al (2002).

O índice de probabilidade α_i funciona como uma importante indicação de como a gerencia pretende garantir a satisfação do cliente. Pode-se criar diferentes cenários de produção, simplesmente variando α_i na faixa de 50% a 100%, pois neste caso tem-se que $\Phi_x^{-1} \geq 0$, o que implica que o estoque de segurança estatístico dado em (7) será sempre positivo, garantindo o realismo do modelo, pois $x_{ik} \geq 0 \forall k$. Note-se que quanto mais próximo de 100% for a escolha de α_i maiores são as chances de satisfação do cliente.

3. Descrição do Ambiente de Decisão

O código do ambiente de suporte à decisão também foi implementado na linguagem Visual Basic com o auxílio gráfico do IDE do Visual Basic 6.0 (vide Gurewich, N and Gurewich O. (1993)). Um ambiente gráfico de fácil manipulação foi desenvolvido para atender às necessidades da administração de uma empresa sem que o usuário precise familiarizar-se com qualquer processo matemático necessário para a resolução do problema linear proposto. A interface gráfica para a entrada dos dados da empresa é basicamente composta de várias pastas (custo com hora-extra, custo com dispensa, níveis de demanda, ...) que quando acionadas individualmente abrem tabelas específicas ou caixas de texto para a entrada de dados correspondente ao tópico escolhido e relacionados com os produtos selecionados.

Como ilustrado na figura 1, o ambiente contém uma tela principal onde todos os ícones necessários a definição do problema estão presentes à decisão do usuário limitados a apenas um clique do mouse. Há 20 pastas por produto nas quais a entrada de dados pode ser efetuada tanto num grid quanto numa caixa de texto. O número do produto atual fica disponível no centro superior da tela numa caixa de combo com a qual pode-se trocar o produto visualizado com o auxílio do mouse percorrendo uma lista de produtos conhecidos.

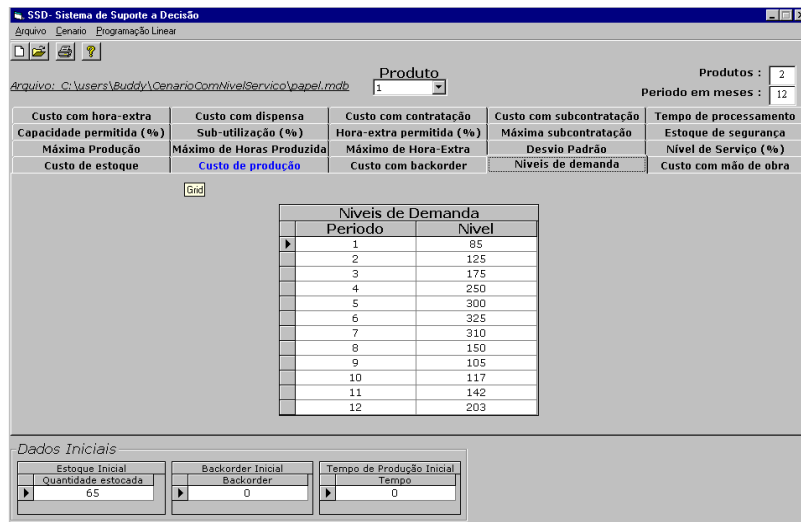


Fig. 1. Menu principal do ambiente

O ambiente é composto por três menus (comandos) principais, a saber: **Arquivo**, **Cenário** e de **Resolução**. Através do menu Arquivo é possível criar novos cenários com diferentes produtos e dados ou abrir cenários já existentes que ficam armazenados num banco de dados. Para imprimir os dados do cenário atual basta clicar no botão de impressão da barra de ferramentas gerando um relatório no formato da figura 2. No menu Cenário ficam comandos para manipular o cenário atual como adicionar novos produtos ou mudar o número de períodos, geralmente meses, visualizados. No menu Resolução aciona-se o método simplex para resolver o cenário proposto e retornar o planejamento de produção ótimo.

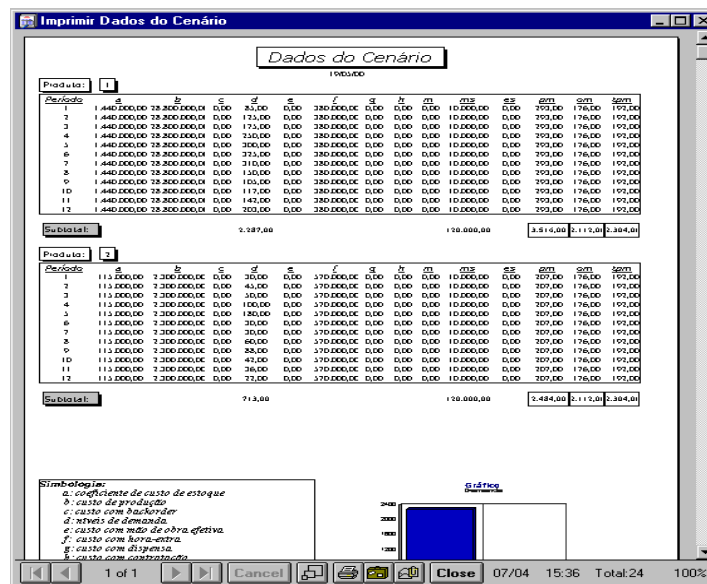


Fig 2. Vista do Relatório para Impressão

Acionado o comando Simplex, após um tempo no qual o programa executa as iterações necessárias que dependem diretamente do número de produtos e períodos analisados, aparecem os resultados em oito grids diferentes, um para grupo de variáveis de decisão: estoque, produção, backorder, tempo de produção, hora-extra, dispensas, contratações e subcontratações. Nestes grids estão dispostos os valores de cada variável de decisão, para minimizar os custos da empresa, ordenados por produto e cronologicamente. A janela dos resultados pode ser visualizada na figura 3.



Resultado Otimizado

Seguem os resultados, para cada variável de decisão, que juntos otimizam o cenário proposto minimizando os custos envolvidos:

Quantidade Estocada			Quantidade Produzida			Quantidade Não Produzida			Tempo de Produção		
produto	período	estoque	produto	período	produção	produto	período	backorder	produto	período	horas
1	1	49	1	1	69	1	1	0	1	1	110,4
1	2	217	1	2	293	1	2	0	1	2	468,8
1	3	335	1	3	293	1	3	0	1	3	390,6667
1	4	265	1	4	180	1	4	0	1	4	192
1	5	145	1	5	180	1	5	0	1	5	192
1	6	0	1	6	180	1	6	0	1	6	192
2	1	37,7578	2	1	80,3594	2	1	0	2	1	173,2167
2	2	47,1563	2	2	0	2	2	0	2	2	0
2	3	44,4049	2	3	101,6471	2	3	0	2	3	192
2	4	53,2024	2	4	84,7976	2	4	0	2	4	192
2	5	0	2	5	84,7976	2	5	18	2	5	192
2	6	0	2	6	48	2	6	0	2	6	90,6667

Disponibilidade de Hora-Extra			Homem-Hora Dispensado			Homem-Hora Contratado			Produção Subcontratada		
produto	período	hora-extra	produto	período	dispensa	produto	período	contratação	produto	período	subcontrata
1	1	0	1	1	110,4	1	1	0	1	1	10000
1	2	0	1	2	358,4	1	2	0	1	2	10000
1	3	0	1	3	0	1	3	78,1333	1	3	10000
1	4	48	1	4	0	1	4	190,6667	1	4	10000
1	5	48	1	5	0	1	5	0	1	5	10000
1	6	48	1	6	0	1	6	0	1	6	10000
2	1	0	2	1	173,2167	2	1	0	2	1	10000
2	2	0	2	2	0	2	2	173,2167	2	2	10000
2	3	0	2	3	192	2	3	0	2	3	10000
2	4	0	2	4	0	2	4	54,4219	2	4	10000
2	5	0	2	5	0	2	5	0	2	5	10000
2	6	0	2	6	0	2	6	89,5781	2	6	10000

Fig. 3. Janela com apresentação dos dados

Clicando em um dos oito grids na janela dos resultados é possível obter um gráfico, como os que estão apresentados em na figura 5, da evolução de cada grupo de variáveis de decisão para cada produto. Cada produto corresponde a uma linha tridimensional de cor diferenciada. Essas linhas variam de acordo com o valor da variável de decisão para aquele produto através dos períodos de 1 até o máximo escolhido como entrada na resolução do cenário. Esses gráficos tridimensionais podem ser rotacionados e visualizados em diversos ângulos, com uma maleabilidade de 360°. Para uma melhor visualização do resultado como um todo, vários gráficos podem ser abertos e dispostos na tela simultaneamente para a comparação entre os diferentes resultados.

Também é possível obter um relatório do resultado final como na figura 4. Para isso basta clicar no botão imprimir e visualizar o relatório gerado automaticamente pelo programa. Uma vez visualizado pode-se acionar a impressora, caso essa for a escolha do usuário.

Impressão do Relatório

Relatório
19/05/00

Produto: 1

Período	Estoque	Produção	Backorder	Tempo	Hora-Extra	Dispensa	Subcont.	Contratação
1	49,00	69,00	0,00	110,40	0,00	110,40	0,00	10.000,00
2	217,00	293,00	0,00	468,80	0,00	358,40	0,00	10.000,00
3	335,00	293,00	0,00	390,67	0,00	0,00	78,13	10.000,00
4	265,00	180,00	0,00	192,00	48,00	0,00	190,67	10.000,00
5	145,00	180,00	0,00	192,00	48,00	0,00	0,00	10.000,00
6	0,00	180,00	0,00	192,00	48,00	0,00	0,00	10.000,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Subtotal:	1.011,00	1.195,00	0,00	1.545,87	144,00	468,80	274,80	60.000,00

Produto: 2

Período	Estoque	Produção	Backorder	Tempo	Hora-Extra	Dispensa	Subcont.	Contratação
1	37,76	80,36	0,00	173,22	0,00	173,22	0,00	10.000,00
2	47,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	173,22	10.000,00
3	44,40	101,65	0,00	192,00	0,00	192,00	0,00	10.000,00
4	53,20	84,80	0,00	192,00	0,00	0,00	54,42	10.000,00
5	0,00	84,80	18,00	192,00	0,00	0,00	0,00	10.000,00
6	0,00	48,00	0,00	90,67	0,00	0,00	89,58	10.000,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Subtotal:	182,52	399,60	18,00	339,88	0,00	345,22	317,22	60.000,00
Total:	1.193,52	1.594,60	18,00	2.385,75	144,00	814,02	594,02	120.000,00

Produção

Backorder

1 of 1

Close 07/04 17:16 Total:24 1

Fig. 4. Relatório final para Impressão



4. Implementação dos Bancos de Dados

Ambas os programas, o Simplex e o Ambiente de Suporte à Decisão, utilizam bancos de dados específicos criados de acordo com as necessidades de cada um. As implementações desses dois bancos de dados foram feitas com o Microsoft Access, escolhido pelo seu alto grau de compatibilidade com a plataforma Visual Basic (vide Petroustos, E. (1999)).

Para arquivar os problemas lineares, o banco de dados desenvolvido para o Método Simplex é composto por três arquivos de dados na forma de tabelas: na primeira tabela guardam-se todas as restrições e a função objetivo. Para o conteúdo da matriz, caso o dado seja zero, não é armazenado nada no banco de dados. O programa reconhece, durante a leitura, que dados ausentes representam valores nulos. Na segunda tabela, guardam-se os números de variáveis e restrições que compõe o problema de programação linear nas colunas: variáveis e restrições. Na terceira e última tabela, ficam arquivadas as quantidades de cada tipo de restrição (menor ou igual, igual, ou maior ou igual) abaixo das colunas menor, igual e maior, respectivamente.

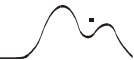
Já o Ambiente de Suporte à Decisão requer um banco de dados um pouco mais complexo do que o Simplex apesar de também ser composto de apenas três arquivos com dados armazenados em tabelas. Na primeira tabela todos os dados são informações que dependem somente de uma variável, ou seja, o número do produto. Um exemplo de um dados que só varia com o número do período é o tempo de produção característico daquele produto. Na segunda tabela são armazenados os dados que são função de duas variáveis, ou seja, produto e período. Nessa tabela ficam dados como os níveis de demanda que variam através do tempo de uma maneira única para cada produto. Na última tabela temos valores que são únicos ao cenário inteiro como o número de produtos que compõem o cenário e o número de períodos sendo analisados. É importante citar que através desse armazenamento num banco de dados, o usuário pode criar cenários diversos, salvá-los e acessá-los mais tarde para modificá-los ou obter informações antigas. Todos os cenários criados permanecem na memória até que sejam apagados diretamente pelo usuário.

5. Exemplo

Como exemplo adota-se uma empresa fictícia com seu planejamento de produção a ser desenvolvido. Esta empresa produz dezenas de produtos que podem ser agregados, agrupados, em basicamente dois grupos: família do produto 1 e família do produto 2. Esta agregação facilita a visualização da produção como um todo, permitindo que a partir da análise de cenários a gerência possa tomar decisões estratégicas, formulando um plano de longo prazo consistente com os recursos da firma. A gerência deseja uma previsão a respeito das ordens que ela poderá atender, ou seja, se sua capacidade maquinária poderá atender aos pedidos de produção, e do que ela deverá fazer para garantir as entregas com maior segurança. Um planejamento final para 12 meses, dados a demanda e as capacidades físicas e financeiras para cada mês do ano, serão fornecidos. Detalhes numéricos sobre as demandas e os limites impostos na produção serão apresentados mais adiante.

Nunca se sabe quando uma linha de produção pode parar devido a algum problema mecânico, ou até de saúde com o seu operador encarregado. Estes fatores endógenos associados com as incertezas exógenas relacionados às flutuações da demanda podem afetar drasticamente o nível de serviço de entrega dos produtos nos prazos prometidos (satisfação do cliente). Para isso uma margem de erro nos níveis de produção deve ser levada em conta aumentando o estoque levemente, garantindo assim a entrega e mantendo a fidelidade do cliente. Esse aumento precautório é de grande importância para a empresa e fundamental se ela ainda estiver se fixando no mercado, pois qualquer pedido assumido e não entregue pode resultar em grandes perdas financeiras.

Vários detalhes, administrativos e físicos, caracterizam o processo de manufaturação e devem ser respeitados. A empresa tem uma capacidade máxima de produção de 293 itens por mês para o produto



1 e de 207 itens para o produto 2. Sua força de trabalho está fixada em 215 horas por mês podendo ser incrementada de horas extras que não devem ultrapassar 176 horas. O custo da hora normal de trabalho e da hora extra são \$0,38 e \$0,57, respectivamente. Há um estoque de segurança fixado em 40 para o primeiro produto e 30 para o segundo que deve ser mantido para diminuir as chances de pedidos não entregues e atingir um nível mínimo de satisfação do cliente. O primeiro produto tem um tempo de manufatura de 1,7 horas por produto custando \$28,00 e o segundo requer 1,2 horas custando \$2,30. Os custos de estoque para cada produto são 5% do respectivo custo de produção, o qual já inclui custos de materiais. O maquinário necessita de 10% de seu tempo total para manutenção, a qual inclui limpeza, conserto e outros preparos como inicializar as máquinas para novos produtos quando necessário. Portanto para cada 100 horas pagas, somente 90 são realmente utilizadas. No início do período de planejamento estará disponível um estoque de 65 itens para o primeiro produto e de 29 itens para o segundo. Os níveis de demanda média para os dois produtos extraídos dos históricos de vendas mantidos pela empresa são dados abaixo.

Tabela 1. Dados de Entrada

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
PRODUTO1	85	125	175	250	300	325	310	150	105	117	142	203
PRODUTO2	30	45	50	100	180	30	30	60	80	42	36	22

Usando o ambiente desenvolvido, o gerente pode investigar a geração de diferentes planos de negócio através da variação dos dados de entrada do problema formulado em (1)-(13). Neste exemplo, optou-se por variar os seguintes parâmetros de entrada, mantendo um desvio padrão da demanda ($\sigma_{1,2}$) fixo em 2. O tempo de produção variável e o percentual de satisfação do cliente ($\alpha_{1,2}$) é fixado em 50%.

5.1. Resultado gerado pelo ambiente de decisão: O custo da operação foi de \$68.030,00. Obtendo-se a seguinte programação para 12 meses.

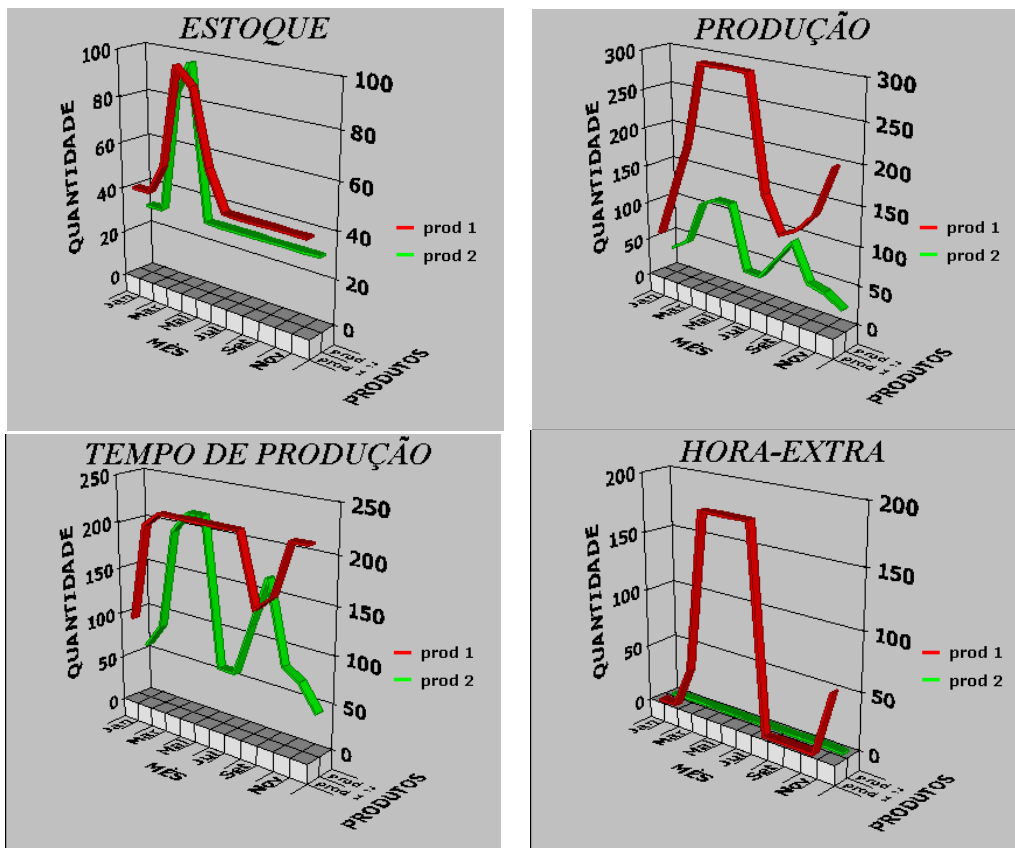


Fig. 5. Curvas com resultados gerados



Uma importante conclusão desta aplicação é que se a gerência deixar livre o tempo de produção, a tendência é que os índices de produção (níveis de estoque, taxa de produção, hora-extra) tornam-se mais equilibrados e seguem mais os níveis esperados de demanda. Com isto não se verifica tendências de crescimento dos níveis de estoque e as taxas de produção mais suaves.

6. Conclusão

Foi desenvolvido um sistema de apoio à decisão gerencial para planejamento agregado com objetivo de facilitar o desenvolvimento de um plano de produção otimizado. O usuário pode elaborar o plano interativamente com o sistema através de uma interface gráfica simples e amigável enquanto usufrui de diversos componentes algorítmicos implementados como, em particular, a modelagem do problema de planejamento via um algoritmo de programação linear, especialmente desenvolvido para o ambiente de decisão. Demonstrou-se aspectos de interface home-máquina e da estrutura de dados do ambiente, além disso apresentou-se um exemplo que ilustra a potencialidade do sistema.

7. Referências Bibliográficas

- Gurewich, N and Gurewich O. (1993). Visual Basic 3.0 for Windows, Guia do Programador, *Sams Publishing*.
- Kuenzi, H. P., Tzschach, H. G., and Zehnder, C. A. (1971) Numerical Methods of Mathematical Optimization, *Academic Press*, New York.
- Papoulis, A. (1991). Probability, Random Variables, and Stochastic Process (Third Edition), *McGraw-Hill*.
- Parlar M. (1985): The Stochastic Production Planning Model with a Dynamic Chance Constraint, *European Jrn of Opr. Research*, 20, pp. 255-260.
- Petroutsos, E. (1999): Dominando o Visual Basic 6 – A Bíblia, *Editora MAKRON Books*.
- Silva Filho, O. S., Basso G. e Cezarino W. (2002): Ambiente Computacional para Apoio a Decisão Gerencial com Foco no Planejamento Agregado, *Documento Técnico LTGE-02*.