

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Sistemas
Eletrônicos

ISSN 1517-3542

BT/PSI/0218

Modelo de Otimização Linear para
Programação da Produção

Sergio Antonio Rodríguez
Flavio Almeida M. Cipparrone

São Paulo – 2002

1298820

FICHA CATALOGRÁFICA

Rodríguez, Sergio Antonio

Modelo de otimização linear para programação da produção / S.A. Rodríguez, F.A.M. Cipparrone. – São Paulo : EPUSP, 2002.

p. – (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos, BT/PSI/0218)

1. Programação da produção [Otimização] 2. Softwares I. Cipparrone, Flávio Almeida de Magalhães II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos III. Título IV. Série
ISSN 1517-3542

CDU 658.51
005.3

Modelo de Otimização Linear para Programação da Produção

Sergio Antonio Rodríguez

Flávio Cipparrone

Este trabalho tem com finalidade descrever um modelo de Programação e Controle da Produção para empresas que usam o sistema de produção por ordem de serviço. O modelo visa calcular as quantidades de produtos a produzir em 6 períodos de tempo consecutivos dado um plano de venda e o estoque inicial. O modelo também calcula as matérias primas que deverão ser compradas para atender a demanda de produção.

Primeiramente são introduzidos 2 modelos matemáticos e seus respectivos algoritmos para programação da produção sem restrições na capacidade produtiva. Com base nesses modelos é desenvolvido um 3º modelo que visa o uso da programação linear para a busca de uma produção ótima considerando as restrições de mão de obra e capital de giro no processo produtivo.

Finalizando o trabalho é apresentada uma análise de um sistema de controle da produção baseado em ordens de serviço

I. Principais Características do Sistema e Modelo

As principais características do Sistema serão descritas abaixo:

a) O sistema permite programar 6 períodos consecutivos de tempo. Ele parte de uma estimativa da demanda dos produtos acabados no 6 períodos. Com essa estimativa é calculada a produção necessária dos produtos acabados que é função dos níveis de estoque no início de cada período.

b) Sistema de Cobertura – Neste sistema e modelo consideramos que no período de tempo i vai se vender os produtos que estão em estoque no início do período i . Os produtos fabricados no período i são estocados para serem vendidos no período $i+1$. Teoricamente no início do período deveríamos ter uma quantidade de estoque suficiente para atender as vendas estimadas para esse período. O modelo descrito mostrou-se mais adequado para as empresas estudadas já que leva em conta o tempo para separação, embalagem e entrega dos produtos.

c) A produção programada gera uma estimativa do consumo de matéria prima. Esse consumo dependendo do nível de estoque em cada período gera uma programação para as quantidades a ser compradas.

d) Capital de Giro – O sistema permite um controle do capital de giro, controlando com um aviso ou em nível de restrição, a diferença no fluxo de caixa (contas a receber – contas a pagar) em cada período.

e) Mão de Obra – O modelo também propõem um mecanismo para estimar a carga dos centros produtivos.

II. Programação da Produção - 1o Modelo

II.1. Conceitos Iniciais

II.1.1 - Conceito de Cobertura

Podemos definir:

Cobertura: Quantidade de Produto Acabado ou Matéria Prima que devemos ter em estoque no fim de um período i de produção

Essa cobertura pode ser um valor constante ou um valor que varia de período para período de acordo com o consumo estimado.

No modelo proposto temos que:

A cobertura do período i é dada por uma função linear do consumo dos períodos subsequentes:

$$\text{Cobertura}(i) = \sum K_l * \text{Consumo}(i+l) \quad \text{com } l \geq 1 \quad (2.1)$$

$K_l \text{ constantes e } K_l \geq 0$

Cabe a pergunta como estimar os K_l ?

Na prática a noção de cobertura está associada com o tempo médio para produção no caso de produto acabado ou com o tempo médio de entrega para o caso de matéria prima. Portanto baseado nessa idéia propomos um método para o cálculo das constantes K_l .

Definimos:

Δp - Número de dias do período programado.

Δe - Número de dias para entrega ou produção de um produto.

Temos que por definição $\Delta p > 0$ haja vista que não faz sentido programar um período de zero dia. Na prática temos $\Delta p \geq 7$ já que uma semana é considerada um período mínimo para programação. O valor mais comum encontrado nas empresas estudadas é $\Delta p = 30$ que é justificado pelo trabalho que é executar a programação já que esta consolida informações de vários departamentos.

Calculamos:

$$R = \Delta e / \Delta p \quad (2.2)$$

Definimos:

R_{int} : Parte Inteira de R

$$R_{dec}: R - R_{int}$$

Temos para $j \geq 1$:

$$(2.3) \quad \begin{array}{ll} K_j = 1 & \text{para } 1 \leq j \leq R_{int} \\ K_j = R_{dec} & \text{para } j = R_{int} + 1 \\ K_j = 0 & \text{para } j > R_{int} + 1 \end{array}$$

Exemplo 1- O tempo para produção de um produto acabado A é de 45 dias. Qual a cobertura se o período de programação é de 30 dias?

$$R = 45 / 30 = 1,50$$

$$R_{int} = 1$$

$$R_{dec} = 1,50 - 0,50$$

Usando Equação 2.3 temos $K_1 = 1$ e $K_2 = 0,50$

Portanto:

$$\text{Cobertura}(i) = \text{Consumo}(i+1) + 0,50 \text{ Consumo}(i+2)$$

II.1.2 -Equações Básicas da Programação da Produção

O sistema proposto tem duas hipóteses:

- a) No período i consume-se os produtos que estão em estoque no início de período i .
- b) No período i vai-se produzir ou comprar a quantidade de produtos de forma tal que o estoque final do período i seja igual à cobertura.

Portanto temos as seguintes equações:

$$\text{ProduçãoIni}(i) = \text{Cobertura}(i) - \text{EstoqueInicial}(i) + \text{Consumo}(i) \quad (2.4)$$

$$\text{Cobertura}(i) = \text{EstoqueInicial}(i+1) \quad (2.5)$$

$$\text{Cobertura}(i) = \text{EstoqueFinal}(i) \quad (2.6)$$

Note que $\text{ProduçãoIni}(i) < 0$ implica que a quantidade em estoque é maior do que o $\text{Consumo}(i) + \text{Cobertura}(i)$ e portanto não é necessário fabricar nada. Nesse caso assumimos que:

$$\text{Produção}(i) = \max(0, \text{ProduçãoIni}(i)) \quad (2.7)$$

$$\text{EstoqueFinal}(i) = \max(\text{Cobertura}(i), \text{EstoqueInicia}(i) - \text{Consumo}(i)) \quad (2.7.a)$$

O exemplo abaixo mostra como funciona de forma simplificada a programação da produção.

Exemplo 2:

Temos um produto acabado A cujos dados são os seguintes:

Estoque Inicial: 100 Peças

Cobertura (i) = Vendas do Período (i+1) + 0,10 Vendas do Período (i+2)

Vendas Estimadas por Período i

1	2	3	4	5	6
90	90	85	80	75	70

A tabela abaixo mostra um exemplo da programação usando as formulas 2.4 ,2.5 e 2.6 :

Período	1	2	3	4	5	6	7	8
Estoque Inicial	100	98	85	87	75	77	-	-
Consumo	90	90	85	80	75	70	70	70
Cobertura	98	93	87	82	77	77	-	-
Produção	88	85	87	75	77	70	-	-
Estoque Final	98	93	87	82	77	77		

Vamos detalhar o 1º Período:

$$\begin{aligned} \text{Cobertura}(1) &= \text{Vendas do Período}(2) + 0,10 \text{ Vendas do Período } (3) \\ &= 90 + (0,10 * 85) = 98 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Produção}(1) &= \text{Cobertura}(1) - \text{EstoqueInicial}(1) + \text{Consumo}(1) \\ &= 98 - 100 + 90 = 88 \end{aligned}$$

$$\text{EstoqueFinal}(1) = \text{EstoqueInicial}(2) = \text{Cobertura}(1) = 98$$

No sistema proposto temos como no exemplo, 6 períodos de estimativas de venda. Para podermos usar a fórmula do cálculo da cobertura assumimos:

$$\text{Consumo}(j) = \text{Consumo}(6) \text{ para } j > 6 \text{ (2.8)}$$

Como pode ser vista na tabela as colunas 7 e 8 são usadas só para o cálculo da cobertura.

Note que uma vez estabelecida a produção dos produtos acabados como mostrado no exemplo está determinado o consumo de matéria prima para cada período i. Logo usando a mesma metodologia podemos programar as compras de matéria prima usando as fórmulas abaixo:

$$\text{ComprasIni}(i) = \text{Cobertura}(i) - \text{EstoqueInicial}(i) + \text{Consumo}(i) \quad (2.9)$$

$$\text{Cobertura}(i) = \text{EstoqueInicial}(i+1) \quad (2.10)$$

$$\text{Cobertura}(i) = \text{EstoqueFinal}(i) \quad (2.11)$$

Como não estamos considerando a hipótese de devolução de matéria prima temos que $Compras(i) < 0$ não tem sentido logo assumimos:

$$Compras(i) = \max(0, ComprasIni(i)) \quad (2.12)$$

$$EstoqueFinal(i) = \max(Cobertura(i), EstoqueInicia(i) - Consumo(i)) \quad (2.12.a)$$

II.1.3 Definição de Nível de Produto

Nível de Produto - É o nível que um produto acabado ocupa após ser feita a explosão total do produto, sendo que toda matéria prima possui por definição Nível de Produto = 0.

O Exemplo abaixo mostra a explosão completa de um produto acabado (PA-1) que é composto por duas matérias primas (MP-1 e MP-4) e um produto acabado intermediário (PA-2). Da explosão completa do produto temos:

Nível Produto PA-1 = 2

Nível Produto PA-2 = 1

Nível Produto MP-i = 0

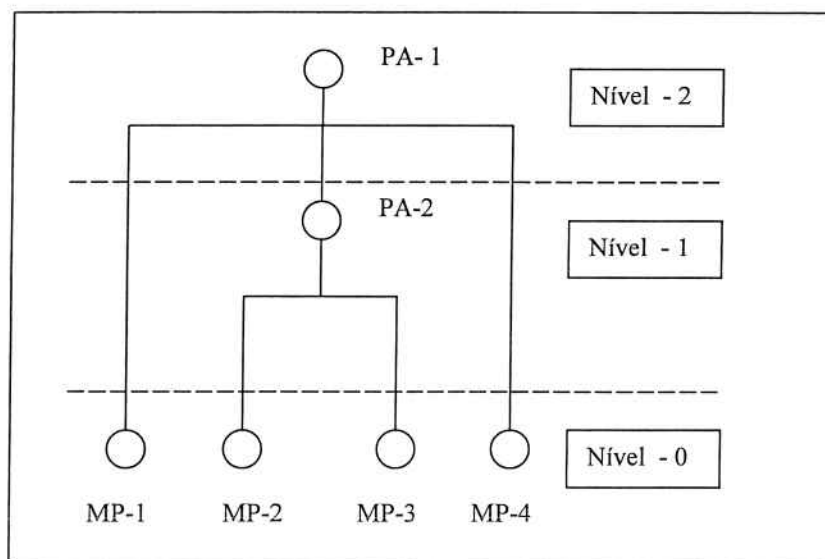


Figura 2.1 - Explosão completa de um produto acabado

Do exemplo acima podemos ver:

1) A produção de um produto acabado pode gerar consumo de matérias primas e de produtos acabados que tenham nível de produto obrigatoriamente inferior.

2) O consumo de um produto acabado intermediário de acordo com o sistema de cobertura gera uma necessidade de produção e consequentemente um consumo de matérias primas e de produtos acabados de nível de produto inferior.

Visto isso podemos estabelecer um primeiro algoritmo para a programação da produção.

II.2 Estrutura dos Dados

Como vimos para realizar a programação da produção são necessárias as seguintes informações:

1) Previsão de venda para os produtos acabados. No caso da empresa vender matéria prima também se pode incluir essa previsão.

2) Para todos os produtos devemos saber: estoque inicial no período 1, prazo médio de entrega em dias. Sendo um produto acabado devemos saber as matérias primas e produtos acabados intermediários que compõem o mesmo.

Temos assim as seguintes estruturas de dados:

Tabela PRPRO1 - Contém informações sobre os produtos

Campo	C	Tipo	Comentário
ProdCod	*	Numérico	Código do Produto
ProdQtEst		Numérico	Quantidade em Estoque
ProdPrEnt		Numérico	Prazo de entrega ou produção em dias
ProdNivel		Numérico	Nível de Produto

Tabela PRPRO2 - Contém informações dos produtos acabados e matérias primas também chamada de estrutura do produto.

Campo	C	Tipo	Comentário
ProdCod1	*	Numérico	Código do Produto Acabado
ProdCod2	*	Numérico	Código da Matéria Prima ou Produto Acabado que compõe ProdCod1
ProdFab		Numérico	Quantidade necessária de ProdCod2 para fabricar uma unidade de ProdCod1

Tabela PRPRO3 - Contém informações com a estimativas de venda do produtos

Campo	C	Tipo	Comentário
ProdCod	*	Numérico	Código do Produto
Período1		Numérico	Estimativa Venda no período 1
Período2		Numérico	Estimativa Venda no período 2
Período3		Numérico	Estimativa Venda no período 3
Período4		Numérico	Estimativa Venda no período 4
Período5		Numérico	Estimativa Venda no período 6
Período6		Numérico	Estimativa Venda no período 6

Tabela PRPRT - Esta tabela é uma estrutura de trabalho usado pelo algoritmo.

Campo	C	Tipo	Comentário	
ProdNivD	*	Numérico	Nível do produto	
ProdCod	*	Numérico	Código do produto	
Estoquei		Numérico	Estoque Inicial Período i	6 Vezez
Consumoi		Numérico	Consumo Período i	
Produzi		Numérico	Produção Período i	
EstFinali		Numérico	Estoque Final Período i	

Observações: 1- Está tabela começa vazia no início da programação.

2- Note que uma parte da tabela se repete 6 vezes pois temos 6 períodos de programação como está indicado.

3- $\text{ProdNivD} = 100 - \text{ProdNiv}$.

Isto é feito para ordenar a tabela em ordem decrescente de nível de produto., já que a maioria dos bancos de dados ordem em ordem crescente.

II.3 1º Algoritmo

A-Inicialização

1. Ler o registro de um produto na Tabela PRPR03.
2. EOF ir para passo Programação.
3. Obter o Nível do produto na tabela PRPR01.
4. Gravar para o produto um registro na tabela PRPRT considerando que o consumo em PRPRT corresponde à venda estimada PRPR03.
5. Ir para o passo 1.

B-Programação

1. Ler o registro do produto na Tabela PRPRT.
2. EOF ir para FIM.
3. Calcular os K_j do produto como visto no item 2.2.2 usando a tabela PRPR01.
5. Com os K_j e com PRPTT.Consumoi calcular $\text{Cobertura}(i)$ como mostrado no item 2.1
6. Temos que $\text{PRPRT.Estoque1} = \text{PRPR01.ProdQtEst}$.
7. Calcular a programação do produto como mostrado no item 2.2.2 para os 6 períodos.
8. Fazer a explosão dos produtos com
 - 8.1 $\text{PAProduzi} = \text{PRPRT.Produzi}$
 - 8.2 Ver Subrotina Explosão
9. Ir para o passo 1.

C-FIM

Explosão

1. Para o produto PRPRT.ProdCod ler a tabela PRPR02 com ProdCod = ProdCod1.
2. Ler registro
3. Eof vai para passo 6
4. SE existe um registro para PRPR02.ProdCod2 em PRPRT Então:
 - a) Ler o registro de PRPRT para o código PRPR02.ProdCod2.
 - b) $\text{Consumoi} = \text{Consumoi} + (\text{PRPR02.ProdFab} * \text{PAProduzi})$.
 - c) Regravar o registro.

SENÃO

- a) $\text{Consumoi} = \text{Consumoi} + (\text{PRPR02.ProdFab} * \text{PAProduzi})$.
 - b) Gravar o registro.
5. Ir para o passo 2.
 6. Fim de Sub-Rotina

Obs. Note que no passo 4 estamos calculando o consumo de matéria prima (ou produto acabado de nível menor) gerado pela fabricação do produto acabado. O fato de o registro já existir deve-se a que essa matéria prima faz parte de um outro produto acabado de nível superior ao que se está calculando.

II.4 Críticas ao modelo

Note que a programação acima pode ser considerada uma Programação Máxima no sentido que atende toda a demanda estimada de venda sem levar em conta nenhum tipo de restrição no processo produtivo.

Vamos estabelecer as limitações desse modelo:

- 1) A programação acima não considera o fato da empresa estar em regime de produção ao não considerar que há produtos sendo fabricados, pedidos de compra pendentes e pedidos de venda para serem despachados.
- 2) Não considera que pode haver perdas de matérias primas no processo produtivo.
- 3) Em termos da quantidade comprada não considera que há quantidades mínimas a serem compradas para ter um preço competitivo. (economia de escala)
- 4) Alguns fornecedores estipulam quantidade máxima que pode ser comprada principalmente em época de alta procura ou quando há uma política de quotas.
- 5) Em relação aos produtos acabados também existem quantidades para que a produção seja economicamente rentável.
- 6) O modelo não considera que em alguns processos produtivos os produtos acabados são fabricados em múltiplos como por exemplo em processos de moldagem
- 7) Como já foi dito não considera que há restrição na quantidade de mão de obra disponível num período de programação

8) Neste modelo vimos que a venda e o consumo do período estão limitados ao estoque inicial no início do período, já que a produção ou as compras do período são para repor o estoque. Sendo assim, caso a previsão de vendas for maior que estoque no início do período, as vendas não serão atendidas. O algoritmo deveria sinalizar essa falta de produto.

9) O modelo não leva em conta o fluxo de caixa ou seja a disponibilidade de capital de giro. Em algumas empresas há uma defasagem entre os prazos para pagamento de matéria prima e os prazos para recebimento das vendas. Esse fato pode gerar em algum período um desequilíbrio localizado no fluxo de caixa que normalmente é resolvido através de empréstimos de curto prazo ou descontos de duplicatas. O algoritmo deveria sinalizar os períodos com problema de caixa, dando subsídios para a empresa alterar temporariamente a forma de pagamento (Exemplo: desconto para pagamento em prazos menores ou mesmo a vista)

10) O modelo não leva em consideração a curva ABC de produtos ou seja trata todos os produtos da mesma forma já que todos são programados usando a noção de cobertura. Esse método sobrecarrega a análise dos dados fazendo com que não se possa concentrar nos produtos de maior valor agregado.

III Programação da Produção - 2o Algoritmo

III.1 Conceitos Básicos da Produção

III.1.1 - Definições

Lote Máximo (LMax) - Lote máximo é a quantidade máxima que pode ser comprada ou fabricada.

Lote Mínimo (LMin) - Lote mínimo é a quantidade mínima que pode ser fabricada ou comprada de forma tal a ter retorno econômico.

Lote Econômico (LEco) - Lote econômico é a quantidade ótima em termos financeiros para ser comprada ou produzida.

Quantidade Padrão (QP) - Quantidade padrão é a menor quantidade que é conveniente de ser produzida ou comprada devido ao processo produtivo.

Exemplo: Numa gráfica uma impressora pode imprimir 4 folhetos de propaganda em uma folha de padrão de papel. Devido ao tempo de ajuste, limpeza a gráfica só imprime no mínimo 2000 folhetos. Neste Caso: LMin = 2000 e QP = 4 .

Restrição: Tendo uma matéria prima ou produto acabado uma quantidade padrão diferente de um, os Lotes devem ser múltiplos da quantidade padrão.

Estoque Mínimo (Emin) - Quando o nível de estoque de um produto tem um nível de estoque menor ou igual ao estoque mínimo é necessária a colocação de pedido de compra. O Estoque Mínimo assim como a cobertura estão relacionados com o prazo de entrega ou fabricação do produto. Enquanto a cobertura varia de acordo com a variação do consumo (dinamicamente) o estoque mínimo é um valor constante que parte da hipótese que consumo não varia de período para período.

O estoque mínimo não precisa obedecer a restrição acima pois o consumo de um produto é feito em unidades do estoque.

III.1.2 - Programação usando o Estoque Mínimo

Existem matérias prima que devido ao baixo valor de custo são compradas em grandes quantidades, de forma tal a atender vários períodos de programação, com isso a programação por cobertura não é eficiente do ponto de vista de análise programação. Do ponto de vista de análise é mais eficiente que os produtos sejam divididos em 2 grupos, os que são programados usando o sistema de cobertura como já foi visto e os que são programados usando o Estoque Mínimo.

Na programação por estoque mínimo temos que a produto vai sendo consumido até que o nível de estoque seja menor ou igual ao Estoque Mínimo quando é colocado um pedido de compra. Nesse caso normalmente a quantidade comprada é o Lote Econômico.

$$\text{Compra}(i) = \text{LEco} * \text{Femin}(\text{Estoque}(i) - \text{Consumo}(i))$$

$$\begin{aligned} \text{Femin}(x) &= 0 \text{ se } x > \text{Emin} \\ &= 1 \text{ se o.v.} \end{aligned}$$

III.1.3 - A Mão de Obra como uma Matéria Prima

Um centro de produção tem uma quantidade máxima de horas que pode produzir. Determinando-se o consumo gasto na fabricação de cada produto acabado que passa por esse centro produtivo temos uma idéia do tempo “consumido” da capacidade máxima do centro produtivo para realizar um determinado plano de produção.

Logo podemos fazer a seguinte analogia:

Estoque Inicial(i) - Capacidade máxima do centro produtivo.

Quantidade para Fabricação - Tempo médio para produzir um produto acabado nesse centro produtivo.

Lote Econômico - Tempo disponível de mão de obra extra.

Note que o funcionamento é semelhante ao sistema de Lote Mínimo ou seja a capacidade do centro produtivo vai sendo consumida, quando chega a zero é gerada uma requisição de mão de obra extra que pode ser no máximo o tempo disponível para esse tipo de mão de obra. Sendo MOextra(i) a quantidade de mão de obra extra requisitada.

Seja

$$y = \text{Estoque}(i) - \text{Consumo}(i) \text{ (em unidade de tempo do centro produtivo)}$$

$$\text{MOextra}(i) = \min\{y, \text{LEco}\} * \text{Femin}(y)$$

$$\begin{aligned} \text{Femin}(x) &= 0 \text{ se } x > \text{Emin} \\ &= 1 \text{ se o.v.} \end{aligned}$$

$$\text{Estoque}(i) = \text{Estoque}(i+1)$$

Restrição - Este modelo tem como restrição assumir que a capacidade produtiva de cada centro não muda de período para período.

Na prática essa restrição não é muito relevante já que exceto em períodos de férias coletivas ou feriados essa restrição é obedecida.

Note que essa mesma metodologia pode ser aplicada para programação de mão de obra de terceiros no caso da empresa usar a terceirização de mão de obra.

III.1.4 - Divisão no Cadastro do Produto e os Lotes

Como vimos temos para programar:

- 1) Produtos Acabados- Estoque Mínimo
- 2) Produtos Acabados- Cobertura
- 3) Matéria Prima - Estoque Mínimo
- 4) Matéria Prima - Cobertura
- 5) Mão de Obra
- 6) Mão de Obra de Terceiros

A diferença entre Mão de Obra e Mão de Obra de Terceiros é mais uma convenção do que uma necessidade de programação.

Temos agora as seguintes convenções para os lotes

1.1 *A quantidade de compra ou produção de produto programado pelo Estoque Mínimo é o Lote Econômico.*

1.2 *As informações de Lote Mínimo e Lote Máximo não são necessárias para os produtos programados pelo estoque mínimo.*

1.3 *A informação de Prazo de Entrega não é necessária para os produtos programados pelo estoque mínimo.*

2.1 *A quantidade mínima comprada ou produzida na programação por cobertura é o Lote Mínimo*

2.2 *A quantidade máxima comprada na programação por cobertura é o Lote Máximo.*

2.3 *A informação de Lote Econômico não é necessária para os produtos programados por cobertura.*

2.4 *A informação Estoque Mínimo não é necessária para os produtos programados por cobertura.*

3.1 *Para os Produtos Acabados não é usado o Lote Máximo pois já existe uma restrição para os mesmos, dada pela capacidade da mão de obra dos centros produtivos pelos quais o produto passa.*

III.1.5 - Mudando o conceito de Consumo para Saída do Estoque

No algoritmo anterior foi estabelecido como consumo a quantidade de produto acabado ou matéria prima que sai do estoque. Agora vamos ampliar esse conceito.

Definimos:

Saída(i) (SA) – quantidade de produto acabado ou matéria prima que sai do estoque num período .

Na prática no processo de programação da produção a saída de material do estoque pode ser dividida em:

Venda Consolidada (VC)– quantidade de produto já vendida mas que está aguardando o processo de faturamento e despacho (embalagem e transporte). Na prática são os pedidos de venda já confirmados e liberados pelo departamento de crédito mas que estão aguardando o faturamento (quando a quantidade é dada baixa do estoque)

OBS: Do ponto de sistema de estoque informatizado, existem sistemas que já deduzem essa quantidade dos pedidos de venda do estoque gerando um estoque líquido ou estoque para venda, essa abordagem acarreta problemas quando são colocados pedidos de venda com data de entrega para vários períodos. Nesse modelo não assumimos essa abordagem, assumimos que o Estoque é a quantidade realmente existente no almoxarifado da empresa.

Venda Estimada (VE) - quantidade estimada a ser vendida num período de programação. Essa quantidade é uma projeção feita pelo departamento de marketing e não leva em conta as quantidades já vendidas ou seja os pedidos de venda em carteira.

OBS: Num período de programação a Venda Total (VT) é dada pela soma da Venda Consolidada (VC) que é uma realidade e a Venda Estimada (VE) que como próprio nome diz é uma projeção.

Saída Produção Consolidada (SPC) - quantidade de produto já comprometida com a produção mas que ainda não saíram do estoque para a linha de produção. Na prática, são as matérias primas das ordens de serviços já colocadas que ainda não foram requisitadas do estoque pelos centros produtivos.

OBS: Como na observação anterior neste modelo assumimos que o Estoque é a quantidade realmente existente em estoque, por isso não é subtraída a priori a quantidade das matérias primas já comprometidos com a produção em andamento.

Saída Produção Estimada (SPE) – quantidade de produto que será consumida caso a produção programada de um produto acabado seja efetivada.

Portanto mudamos o conceito de consumo para o de saída de estoque. Existem vários outros movimentos de saída de estoque como: devolução de matéria prima ao fornecedor, quebra de produtos, transferência etc... Estas saídas são ocasionais e não são levadas em conta num processo de programação da produção neste modelo.

III.1.6 - O conceito de Entrada no Estoque

No algoritmo anterior foi estabelecido como compra ou produção a quantidade de produto acabado ou matéria prima que entra no estoque. Agora vamos ampliar esse conceito.

Definimos:

Entrada(i) (ENT) – quantidade de produto acabado ou matéria prima que entra no estoque num período .

Na prática no processo de programação da produção a entrada de material no estoque pode ser dividida em:

Compra Consolidada (CC)– quantidade de produto já comprada mas que está aguardando entrega por parte do fornecedor. Na prática são os pedidos de compra já confirmados pelo fornecedor mas ainda não entregues.

Compra Estimada (CE) - quantidade estimada a ser comprada num período de programação. Essa quantidade é uma projeção feita pela programação da produção dos produtos a serem comprados para atender a produção projetada.

Entrada Produção Consolidada (EPC) - quantidade de produto acabado que está sendo produzida mas que ainda não foi entregue pelos centros produtivos ao estoque. Na prática, são os produtos acabados das ordens de serviços já colocadas que ainda não foram entregues ao estoque pelos centros produtivos.

Entrada Produção Estimada (EPE) – quantidade de produto que será produzida caso a produção programada do produto seja efetivada.

Portanto mudamos o conceito de produção e compra para o de entrada no estoque. Existem vários outros movimentos de entrada no estoque como: devolução de cliente, transferências etc.... Estas entradas são ocasionais e não são levadas em conta num processo de programação da produção neste modelo.

II.2 A Equação do Estoque

A partir das definições temos que os Estoque Inicial (EI) e os Estoque Final (EF) são relacionados por seja para matéria prima ou produto acabado:

$$EF(i) = EI(i) + ENT(i) - SA(i) \quad (3.1)$$

Com

$$ENT(i) = CC(i) + CE(i) + EPC(i) + EPE(i) \quad (3.2)$$

$$SA(i) = VC(i) + VE(i) + SPC(i) + SPE(i) \quad (3.3)$$

No modelo estabelecido temos que para Produtos Acabados desejamos estimar o valor de EPE(i) para cada período, já para Matéria Primas desejamos estimar o valor de CE(i).

Decorre também do modelo estabelecido que:

Para Produtos Acabados temos: $CE(i)=0$

Para Matérias Primas temos : $EPE(i) = 0, EPC(i)=0$

Como vimos a Mão de Obra pode ser modela com um produto, nesse enfoque a equação do Estoque também pode ser adaptada para a Mão de Obra como segue:

$$EF(i) = EI(i) + ENT(i) - SA(i) \quad (3.4)$$

Com

$$CC(i) = 0, EPC(i) = 0, EPE(i) = 0 \rightarrow ENT(i) = CE(i) \quad (3.5)$$

$$VC(i) = 0, VE(i) = 0 \rightarrow SA(i) = SPC(i) + SPE(i) \quad (3.6)$$

III.3 Equações do Modelo – Produção

Neste item iremos ver as equações usadas para programação da produção, que são uma extensão das equações vistas no capítulo anterior:

III.3.1- Produto Acabado – Programação por Cobertura

Para um produto acabado programado pelo sistema de cobertura temos para cada período:

a) A Produção Estimada é dada por:

$$(3.7) \quad EPE_U(i) = EF(i) + VC(i) + VE(i) + SPC(i) + SPE(i) - EI(i) - CC(i) - EPC(i)$$

O símbolo U deve-se ao fato que a equação (3.7) pode assumir valores negativos. Na prática quando isso ocorre indica que não temos que produzir nada nesse período além daquilo do que já está em produção. Também $EPE_U(i)$ pode ser menor que o Lote Mínimo: Logo temos

$$EPE(i) = \max \{ 0, EPE_U(i), LMin \} \quad (3.8)$$

b) O Estoque Final é dado por

$$EF(i) = \max \{ EF_N(i), Cobertura(i) \} \quad (3.9)$$

$$EF_N(i) = EI(i) + CC(i) + EPC(i) + EPE(i) - VC(i) - VE(i) - SPC(i) - SPE(i) \quad (3.9.a)$$

c) Os estoques estão relacionados por

$$EI(i+1) = EF(i) \quad (3.10)$$

OBS: Decorre da equação 3.8 que o modelo proposto não sugere o cancelamento de Ordem de Serviço quando o estoque está muito alto. O modelo assume que a produção em andamento não pode ser alterada

III.3.2 - Produto Acabado – Programação por Estoque Mínimo

Para um produto acabado programado pelo sistema de estoque mínimo temos para cada período a equações abaixo.

$$EF_N(i) = EI(i) + CC(i) + EPC(i) - VC(i) - VE(i) - SPC(i) - SPE(i) \quad (3.11)$$

a) Se $EF_N(i) \leq E_{min}$ temos

$$EPE(i) = LE_{co} \quad (3.12)$$

$$EF(i) = EF_N(i) + LE_{co} \quad (3.13)$$

b) Se $EF_N(i) > E_{min}$ temos

$$EPE(i) = 0 \quad (3.14)$$

$$EF(i) = EF_N(i) \quad (3.15)$$

c) Os estoques estão relacionados por

$$EI(i+1) = EF(i) \quad (3.16)$$

III.3.3 - Matéria Prima – Programação por Cobertura

Para uma matéria prima programa do pelo sistema de cobertura temos para cada período:

a) A Compra Estimada é dada por:

$$CE_U(i) = EF(i) + VC(i) + VE(i) + SPC(i) + SPE(i) - EI(i) - CC(i) \quad (3.17)$$

O símbolo U deve-se ao fato que a equação (3.7) pode assumir valor negativo, valor menor ao Lote Mínimo ou maior ao Lote Máximo. Na prática o valor

negativo indica que não temos que comprar nada nesse período além do que já está na carteira de Pedidos de Compra. Logo temos:

$$CE_{UL}(i) = \max\{0, CE_U(i), LMin\} \quad (3.17.a)$$

$$CE(i) = \min\{CE_{UL}(i), LMax\} \quad (3.18)$$

b) O Estoque Final é dado por

$$EF(i) = \max\{EF_N(i), Cobertura(i)\}$$

Onde temos:

$$EF_N(i) = EI(i) + CC(i) + CE(i) - VC(i) - VE(i) - SPC(i) - SPE(i) \quad (3.19)$$

c) Os estoques estão relacionados por

$$EI(i+1) = EF(i) \quad (3.20)$$

OBS: Decorre da equação 3.17.a que o modelo proposto não sugere o cancelamento de Pedidos de Compra quando o estoque está muito alto. O modelo assume que os pedidos já encomendados aos fornecedores não podem ser alterados

III.3.4 - Matéria Prima – Programação por Estoque Mínimo

Para uma matéria prima programada do pelo sistema de estoque mínimo temos para cada período a equações abaixo.

$$EF_N(i) = EI(i) + CC(i) - VC(i) - VE(i) - SPC(i) - SPE(i) \quad (3.21)$$

a) Se $EF_N(i) \leq Emin$ temos

$$CE(i) = LEco \quad (3.22)$$

$$EF(i) = EF_N(i) + LEco \quad (3.23)$$

b) Se $EF_N(i) > Emin$ temos

$$CE(i) = 0 \quad (3.24)$$

$$EF(i) = EF_N(i) \quad (3.25)$$

c) Os estoques estão relacionados por

$$EI(i+1) = EF(i) \quad (3.26)$$

III.3.5 - Mão de Obra

Para a mão de obra de um centro produtivo temos para cada período a equações abaixo:

$$EF_N(i) = EI(i) - SPC(i) - SPE(i) \quad (3.27)$$

a) Se $EF_N(i) \leq 0$ temos

$$CE(i) = \min \{ LEco, |EF_N(i)| \} \quad (3.28)$$

b) Se $EF_N(i) > 0$ temos

$$CE(i) = 0 \quad (3.29)$$

c) Os estoques estão relacionados por

$$Ei(i+1) = Ei(i) \quad (3.30)$$

Obs: Como se trata de mão de obra temos que $Ei(i)$ é quantidade de mão de obra (em unidades de tempos) disponível para o centro produtivo.

III.4 Conceitos Básicos – Fluxo Financeiro

III.4.1 Definições

Contas a Pagar Consolidado(i) (CPC) – São contas a pagar já comprometidas originadas de serviços ou produtos comprados a prazo em períodos anteriores.

Contas a Pagar Estimado(i) (CPE) – É uma estimativa do valor a ser pago no período i se for realizada a programação de compras de matéria prima ou mão de obra terceirizada.

Contas a Receber Consolidado(i) (CRC) - Valores a receber originadas por vendas realizadas a prazo em períodos anteriores.

Contas a Receber Estimado(i) (CRE) – É uma estimativa do valor a ser cobrado no período i se for realizado o plano de projeção de vendas.

Fluxo de Caixa Líquido(i) (FCL) – O fluxo de caixa líquido no período i dado por

$$FCL(i) = CRC(i) + CRE(i) - CPC(i) - CPE(i) \quad (3.31)$$

Preço de Venda(PV) – É o preço de venda de um produto acabado ou matéria prima no tempo presente com os impostos inclusos. (a vista).

Custo de Compra(PC) – É o custo de compra de uma matéria prima ou mão de obra terceirizada no tempo presente com os impostos inclusos. (a vista)

Faturamento (i) (FAT) – Faturamento num período(i) são os produtos vendidos no período multiplicado pelo preço de venda a vista.

Compras em Valor (i) (CPV) – Valor das compras num período i que são as matérias primas ou mão de obra terceirizadas compradas no período e multiplicadas pelo custo de compra a vista.

Prazos Médios para Pagamento (Ppg) - Forma de pagamento das matérias primas ou mão de obra terceirizada.

Receita Financeira Média (Rfin) – Percentual médio a ser aplicado a faturamento para refletir a receita financeira embutida nas vendas a prazo.

Custo Financeiro Médio (Cfin) – Percentual a ser aplicado a uma matéria prima ou mão de obra terceirizada que reflete o custo financeiro do pagamento a prazo

Juros ao Mês (Jm) – Percentual de Juros ao mês médio aplicado pelos fornecedores de matéria prima ou mão de obra terceirizada

Perfil de Cobrança(j) (PFC) – Percentual do faturamento do período i que é cobrado no período i +j.

Perfil de Inadimplência(j) (PIn) – Percentual de Inadimplência no faturamento do período i que é cobrado no período i+j

Comissão (Com%) – Percentual de comissão média sobre o faturamento bruto paga quando do pagamento da venda.

Impostos sobre Faturamento (IFat) – Percentual dos impostos que incidem sobre o faturamento bruto. (Ex. PIS, COFINS)

Imposto sobre Valor Agregado (IVag) – Percentual de imposto médio que incide sobre o valor agregado (Ex. ICMS)

A seguir serão apresentados equações e exemplos para esclarecer as definições e como são usadas na prática.

III.5 Equacionamento – Fluxo Financeiro

Equação do Faturamento a Vista no Período i

$$FAT(i) = \sum_{\substack{\text{Produtos} \\ \text{Vendidos}}} PV(Prod_k) * [VC(Prod_k, i) + \min\{VE(Prod_k, i), Ein(Prod_k, i)\}] \quad (3.31)$$

Como pode ser visto na fórmula (3.31) o faturamento a vista é o produto dos preços a vista pela quantidade vendida. A quantidade vendida é a soma da venda consolidada (pedidos em carteira) e a venda estimada para o período i. A venda estimada é o mínimo entre o estoque inicial e a previsão de vendas para o período i

Estimativa do Faturamento para o Período i

$$FAE(i) = R_{fin} * FAT(i) \quad (3.32)$$

A fórmula (3.32) leva em consideração que nem todos os produtos são vendidos a vista, existem vários prazos de pagamento dentro de uma empresa cada um com uma taxa de juros diferentes. Sobre esse ponto de vista temos que o FAT é o faturamento do período no valor presente e (FAE – FAT) representa uma receita financeira da empresa embutida no faturamento.

Temos que $R_{fin} = \text{média}(FAT(i) / FAE(i))$ (3.33) para $i < 0$

Exemplo: Uma empresa tem uma venda mensal de 1000 produtos acabados, sendo que 400 são vendidos para pagamento a vista a \$ 20,00. Os outros 600 são vendidos para pagamento a 30 dias. Os juros cobrados são de 5,00 % am e estão embutidos no preço.

Temos $PV = \$ 20,0$

$$PV_{30} = 1,05 * 20,00 = \$ 21,00$$

$$FAT = 1000 * 20,00 = \$ 20.000,00$$

$$FAE = (400 * 20,00) + (600 * 21,00) = \$ 20.600,0$$

$$R_{fin} = 20600 / 20000 = 1,03$$

Equação do Custo das Compras por Produto

$$CPV(Prod_k, i) = PC(Prod_k) * [CC(Prod_k, i) + CE(Prod_k, i)] * C_{fin}(Prod_k) \quad (3.34)$$

A fórmula (3.34) representa o custo de uma matéria prima dada pelo preço a vista multiplicado pela soma das quantidades consolidadas e estimadas de compra. Diferente dos produtos vendidos onde o custo financeiro decorrente do prazo de pagamento é difícil de determinar de forma individual, isso não acontece para as matérias primas.

Normalmente o departamento de compra tem controle da forma de pagamento para cada matéria prima assim como os juros cobrados pelos fornecedores.

Exemplo: Uma matéria prima MP1 tem no primeiro período 100 unidades para serem entregues já confirmadas e uma previsão de 200 unidades para o mesmo período. O preço a vista é de R \$10,00. A empresa compra essa matéria prima com pagamento em 2 parcelas: a 1ª a 30 dias e a 2ª a 60 dias. A taxa cobrada pelo fornecedor é de 3% a.m embutida no preço da mercadoria.

$$\begin{aligned} PC(MP1) &= 10,00 \\ PC_{30/60}(MP1) &= (1 + 0,03)^2 PC = 10,61 \\ Cfin &= 10,61 / 10,00 = 1,061 \end{aligned}$$

$$CPV(MP1, 1) = 10,00 * (100 + 200) * 1,061 = 3.183,00$$

Equação do Custo Total das Compras num Período I

$$CPT(i) = \sum_{\substack{\text{Produtos} \\ \text{Comprados}}} CPV(Prod_k, i) \quad (3.35)$$

Contas a Receber Total no período i

$$CRT(i) = CRC(i) + CRE(i) \quad (3.36)$$

$$CRE(i) = \sum_{j=1}^i FAE(j) * PFC(i-j) * [1 - Pin(i-j)] \quad (3.37)$$

O contas a receber de um período i é a soma do contas a receber já consolidado (CRC) originado de venda realizadas antes da programação e uma projeção das vendas estimadas (CRE).

A cobrança estimada é dada pela equação (3.37). No interior da somatória temos o faturamento de um período anterior j multiplicado pelo percentual desse faturamento (PFC) que é cobrado no período i. Esse produto é ainda multiplicado por uma estimativa da inadimplência (Pin).

Exemplo: Temos que uma empresa tem historicamente o perfil de cobrança mostrada na tabela abaixo. Sendo que o percentual é em relação ao faturamento total (FAE)

	A vista PFC(0)	30 dd PFC(1)	60 dd PFC(2)
Cobrança	25%	35%	40%
	Pin(0)	Pin(1)	Pin(2)
Inadimplência	1,0%	2,0%	3,0%

Dado o Faturamento estimado abaixo (FAE) vamos calcular a cobrança estimada para cada período

	A vista	30 dd	60 dd
Fat.Estimado	100	90	120

Temos que:

$$CRE(1) = (100 * 0,25 * 0,99) = 24,75$$

$$CRE(2) = (100 * 0,35 * 0,98) + (90 * 0,25 * 0,99) = 56,575$$

$$CRE(3) = (100 * 0,40 * 0,97) + (90 * 0,35 * 0,98) + (120 * 0,25 * 0,99) = 99,37$$

$$CRE(4) = (90 * 0,40 * 0,97) + (120 * 0,35 * 0,98) = 76,08$$

$$CRE(5) = (120 * 0,40 * 0,97) = 46,56$$

Contas a Pagar Total no período i

$$CPG(i) = CPC(i) + CPE(i) \quad (3.38)$$

O contas a pagar estimado (CPE) tem as seguintes parcelas:

A- Parcela relativa às matérias primas

$$CPE(i)_A = \sum_{\substack{\text{Produtos} \\ \text{Comprados}}} \left[\sum_{j=1}^i CPV(\text{Prod}_k, j) * Ppg(\text{Prod}_k, i - j) \right] \quad (3.39)$$

B- Parcela relativa às comissões

$$CPE(i)_B = Com\% * CRE(i) \quad (3.40)$$

C- Parcela relativa aos Impostos

$$CPE(i)_C = [IFat * \beta * FAE(i)] + [IVag * (\max\{0, (FAE(i) - CRE(i))\})] \quad (3.41)$$

Onde β : Fator de declaração de Imposto ($\beta \leq 1$)

III.5 Estrutura dos Dados

Neste item iremos adaptar a estrutura de dados já vistas no capítulo 2 de forma a tal a executar o algoritmo proposto neste capítulo

Tabela PRPRO1 - Contém informações sobre os produtos

Campo	C	Tipo	Comentário
ProdCod	*	Numérico	Código do Produto
ProdTip		Numérico	Tipo de Produto. Obs1
ProdQtEst		Numérico	Quantidade em Estoque
ProdPrEnt		Numérico	Prazo de entrega ou produção em dias
ProdNivel		Numérico	Nível de Produto
ProdQtPad		Numérico	Quantidade Padrão da Produção
ProdTpPrg		Numérico	Tipo de Programação Obs 2
ProdEmin		Numérico	Estoque Mínimo
ProdLmin		Numérico	Lote Mínimo
ProdLmax		Numérico	Lote Máximo
ProdLEco		Numérico	Lote Econômico
ProdCFin		Numérico	Custo Financeiro Obs 3
ProdPre		Numérico	Preço a vista
ProdFPP		Numérico	%Percentual Pgto Obs4
ProdFPD			Período Obs4
			6 Vezes

Obs: 1- Tipo de Produto dado por Matéria Prima-1

Produto Acabado-2

Mão de Obra-3

Terceirizadas-4

2- Tipo de Programação: Cobertura – 1

Estoque Mínimo – 2

Mão de Obra – 3

3- Custo financeiro é o valor para as matérias primas que representa a função Cfin

4- Os 6 campos ProdFPP e ProdFPD representa para as matéria prima a função FPG(Produto, Período)

5- Nem todos os campos estão preenchidos isso depende do tipo de produto e do tipo de programação

Tabela PRPRO2 - Contém informações dos produtos acabados e matérias primas também chamada de estrutura do produto.

Campo	C	Tipo	Comentário
ProdCod1	*	Numérico	Código do Produto Acabado
ProdCod2		Numérico	Código da Matéria Prima ou Produto Acabado que compões ProdCod1
ProdFab		Numérico	Quantidade necessária de ProdCod2 para fabricar uma unidade de ProdCod1
ProdPer		Numérico	Percentual de Perda de Matéria Prima

Tabela PRPRO3 - Contém informações com a estimativas de venda do produtos

Campo	C	Tipo	Comentário
ProdCod	*	Numérico	Código do Produto
Período1		Numérico	Estimativa Venda no período 1
Período2		Numérico	Estimativa Venda no período 2
Período3		Numérico	Estimativa Venda no período 3
Período4		Numérico	Estimativa Venda no período 4
Período5		Numérico	Estimativa Venda no período 6
Período6		Numérico	Estimativa Venda no período 6

Tabela PRPRO4- Contém informações com os saldos dos produtos

Campo	C	Tipo	Comentário
ProdCod	*	Numérico	Código do Produto
ProdOSE		Numérico	Saldo de Entrada por OS
ProdOSS		Numérico	Saldo de Saída de OS
ProdPV		Numérico	Saldo Pedido de Venda
ProdPC		Numérico	Saldo Pedido de Compra

6
Vezes

Tabela PRPRO5 Contém informações sobre o Fluxo de Caixa

Campo	C	Tipo	Comentário
PerI	*	Numérico	Número do Período
PeiPG		Numérico	Saldo do Contas a Pagar no Período i
PeiCR		Numérico	Saldo do Contas a Receber no Período i

Tabela PRPRT1 - Esta tabela é uma estrutura de trabalho usado pelo algoritmo.

Campo	C	Tipo	Comentário
ProdNivD	*	Numérico	Nível do produto
ProdCod	*	Numérico	Código do produto
EstoInii		Numérico	Estoque Inicial Período i
SaidaCon		Numérico	Consumo Consolidado i
SaidaEst		Numérico	Consumo Estimada i
EntraCon		Numérico	Entrada Consolidada i
EntraEst		Numérico	Entrada Estimada i
CobeEmin		Numérico	Cobertura i ou Estoque Mínimo
EstoFimi		Numérico	Estoque Final i
Flag1		Numérico	Indica se há falta de estoque
Flag2		Numérico	Indica se ultrapassa Lote Máx
Flag3		Numérico	Indica se menor que Lote Min

6
Vezes

Observações: 1- Está tabela começa vazia no início da programação.

2- Note que uma parte da tabela se repete 6 vezes pois temos 6 períodos de programação como está indicado.

3- ProdNivD=100-ProdNiv.

Isto é feito para ordenar a tabela em ordem decrescente de nível de produto., já que a maioria dos bancos de dados ordem em ordem crescente.

4- Flag1 = 1 para SaidCon+SaidaEst > EstoInii
0 do contrário

5- Flag2 = 1 para EntraEst > Lote Máximo
0 do contrário

6- Flag3 = 1 para EntraEst < Lote Mínimo
0 do contrário

Tabela PRPRT2 – Tabela que armazena o Fluxo de Caixa

Campo	C	Tipo	Comentário
PerI	*	Numérico	Número do Período
PeiPGC		Numérico	Contas a Pagar Consolidado Período i
PeiCRC		Numérico	Contas a Receber Consol. Período i
PeiPGE		Numérico	Contas a Pagar Estimado Período i
PeiCRE		Numérico	Contas a Receber Consol. Período i
Flag1		Numérico	Flag de Fluxo de Caixa Negativo

Observações: 1- Está tabela começa vazia no início da programação.

2- Flag1 = 1 para Contas Pagar > Contas Receber
0 do contrário

III.6 2º Algoritmo

A-Inicialização 1 (Tabela Programação Produção PRPRT1)

1. Ler o registro de um produto na Tabela PRPR03.
2. EOF ir para passo B
3. Obter o Nível do produto na tabela PRPR01.
4. Gravar para o produto um registro na tabela PRPRT1 considerando que o consumo estimado em PRPRT1 corresponde à venda estimada PRPR03.
5. Ir para o passo 1.

B-Inicialização 2 (Tabela Fluxo de Caixa PRPRT2)

1. Ler o registro de um produto na Tabela PRPR05.
2. EOF ir para passo C
3. Gravar para o período um registro na tabela PRPRT considerando os valores consolidados corresponde aos saldos tanto para do contas a receber como do contas a pagar.
4. Ir para o passo 1.

C-Programação da Produção

1. Ler o registro do produto na Tabela PRPRT.
2. EOF ir para D
3. Para o produto ler na Tabela PRPR03 os saldo em OS, Pedido de Venda e Pedido de Compra. Com esses valores preencher os campos Consumo Consolidado e Entrada Consolidada.
4. Calcular os K_j do produto como visto no item 2.2.1 usando a tabela PRPR01.
5. Com os K_j calcular Cobertura(i) como mostrado no item 2.2.1
6. Com os dados da tabela PRPR01 colocar o estoque inicial no período 1
7. Calcular a programação do produto de acordo com o Item 3.3 usando as informações da tabela PRPR01: Tipo de Produto, Quantidade Padrão, Tipo de Programação, Estoque Mínimo e Lote Econômico.
8. Acertar os Flag1 , Flag2 e Flag3 de acordo com o estabelecido na observação da tabela PRPRT1 e usando os Lotes máximos e mínimos constantes na tabela PRPR01
9. Repetir os passos 7 e 8 para os 6 Períodos
10. Executar a sub-rotina Explosão do produto acabado para calcular o consumo dos insumos.
11. Executar a sub-rotina FluxoCaixa para calcular o valor do contas a receber e a pagar.
12. Ir para o passo 1.

D- FIM

Explosão

1. Para o produto acabado temos a produção estimada $EntraEst(i)$ em PRPRT1.
2. Para o produto acabado acessar os insumos na tabela PRPR02 com $PRPR02.ProCod1 = PRPRT1.ProCod$
3. Ler registro
4. Eof vai para passo 7
5. SE existe um registro para $PRPR02.ProCod2$ em PRPRT então:
 - a) Ler o registro de PRPRT para o código $PRPR02.ProdCod2$.
 - b) $X = (ProdFab * EntraEst(i)) * (1 + ProdPerd)$
 - c) $SaídaEst(i) = SaídaEst(i) + X$
 - d) Regravar o registro.

SENÃO

- a) $X = (ProdFab * EntraEst(i)) * (1 + ProdPerd)$
 - b) $SaídaEst(i) = SaídaEst(i) + X$
 - c) Gravar o registro.
-
6. Ir para o passo 2.
 7. Fim de Sub-otina

Obs. Note que no passo 5 estamos calculando o consumo de matéria prima (ou produto acabado de nível menor) gerado pela fabricação do produto acabado. O fato de o registro já existir deve-se ao fato dessa matéria prima fazer parte de um outro produto acabado de nível superior ao que se está calculando.

Fluxo de Caixa

1. Para o produto que foi programado obter na tabela PRPR01 os dados: ProdCfin, ProdPre, ProdFPP(j) e ProdFPD(j).
2. Se o produto programado for Matéria Prima ou Mão de Obra Terceirizada:
 - a) $\text{Compras}(i) = \text{Entrada Estimada}(i)$
 - b) Usando Equação 3.34 calcular o Contas a Pagar da Compras.
 - c) Repetir os passos a e b para os seis períodos
 - d) Atualizar tabela PRPRT2.
3. Se o produto programado for Produto Acabado
 - a) Usando a Equação 3.37 calcular o Contas a Receber
 - b) Calcular o Contas a Pagar devido aos Impostos e Comissões (Eq. 3.39 e 3.40)
4. Atualizar o flag caso o caixa seja negativo
5. Fim de Sub-rotina

III.7 Críticas ao Modelo

Embora como pode ser visto foi feito um avanço em relação ao modelo anterior temos ainda algumas críticas:

1. O algoritmo não faz nenhum tipo de restrição deixando isso para intervenção humana através de indicações (Flags)
2. O algoritmo considera que os Pedidos de Compra e O.S em andamento não podem ser alterados mesmo que isso leve a altos níveis de estoque devido a erros gerenciais tomados a priori.
3. O método para modelar a mão de obra não leva em conta que o produto acabado deve passar em ordem pelos vários centros produtivos. Um modelo usando redes seria mais apropriado para os centros produtivos.
4. Em relação as fluxo de caixa muitas vezes o pagamento de impostos não é no mesmo período do fato gerador (no caso o faturamento).
5. O modelo da receita financeira poderia ser feito ao nível de produto em vez de uma média geral.
6. Deveriam ser aproveitados os valores financeiros dos pedidos de venda e compra. Com isso a estimativa do fluxo de caixa só incidiria sobre as vendas e compras estimadas

IV Programação da Produção –Otimização

IV.1 Introdução

Como vimos nos itens anteriores os algoritmos apresentados não faziam qualquer restrição à produção diante das limitações da produção seja por matéria prima, mão de obra ou capital de giro.

Neste capítulo iremos:

- 1) Primeiro tecer considerações sobre a sistemática de funcionamento.
- 2) Estabelecer o modelo matemático: função objetivo e restrições.

IV.2 Considerações sobre a Otimização

A) Programação por Período

Em se tratando de otimização temos 2 estratégias possíveis: otimizar os 6 períodos ou otimizar um período a cada vez. Vamos ver alguns pontos dessas duas abordagens.

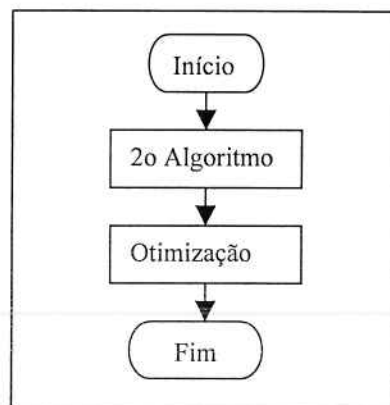
Na prática temos que é feita a programação para o primeiro período sendo que os outros 5 são para ter uma idéia da produção futura. As projeções de venda quando mais distam do presente são mais incertas. Diante disso não temos porque otimizar esses períodos o que iriam complicar em demasia o modelo. Em outro aspecto, ao otimizar os 6 períodos, pode-se estar restringindo a produção no primeiro período devido aos períodos posteriores que não serão executados na prática. Portanto do ponto de vista prático é coerente otimizar um período de cada vez.

Do ponto de vista de programação essa metodologia de otimizar um período de cada vez introduz uma não causalidade já que para otimizar o primeiro período devemos saber o consumo do período posterior (pelo menos) devido à cobertura. Mas o consumo do período posterior (no caso de matéria primas) ainda não foi determinado pois o período não foi otimizado.

Como resolver esse problema?

Sob o ângulo de administração da produção, o algoritmo do capítulo 3 é a solução máxima pois atende as estimativas de venda e otimiza os níveis de estoque, já que esse algoritmo não considera as restrições de mão de obra e capital de giro.

Portanto podemos usar a seguinte metodologia:



Logo a idéia é: usando o 2o Algoritmo encontrar uma estimativa para o consumo e consequentemente calcular as coberturas. Com essas coberturas para cada período executa-se a otimização do período i que vai estimar os estoque final do período que é o estoque inicial do período $i+1$. Como pode ser visto no esquema abaixo:

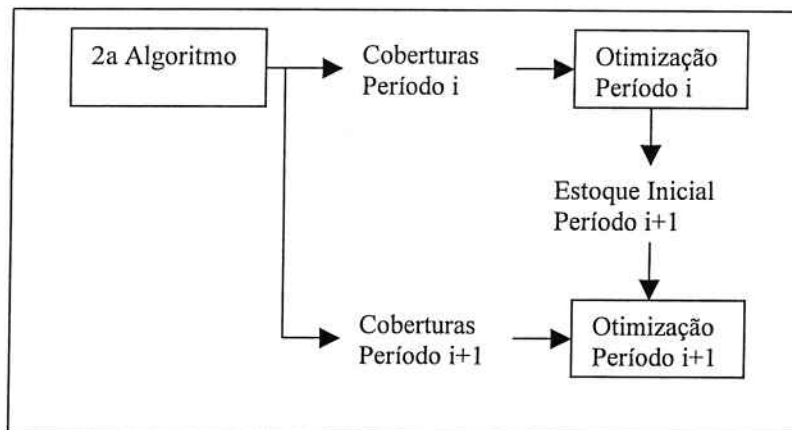


Figura 4.2 - Esquema Funcionamento Otimização

B) Programação por Estoque Mínimo

Analisando o modelo desenvolvido no capítulo anterior para a programação por Estoque Mínimo, vemos que é um modelo não linear logo não pode ser modelado usando a programação linear e o método simplex.

Portanto, para usar esse modelo devemos fazer uma simplificação:

Os produtos acabados e as matérias primas não são programados pelo modelo de Estoque Mínimo.

Na programação da mão de obra não é considerada a possibilidade de contratação de horas extras.

IV.3 Modelo Matemático

IV.3.1 Função Objetivo

A função objetiva escolhida é maximizar a margem de contribuição dos produtos fabricados no período, onde a margem de contribuição é definida como a diferença entre o preço de venda a vista e custo do produto a vista.

Temos:

EPE : Entrada da Produção Estimada

PV : Preço de Venda a Vista

PC : Preço de Custo a Vista

$$\max \quad z = \sum_{\substack{pr=\text{Produtos} \\ \text{com Produção}}} (PV(pr) - PC(pr)) \quad (5.1)$$

Observações

Note que esta função maximiza o valor em unidade monetária que é acrescida ao valor de estoque considerando as restrições dos recursos produtivos. Essa função não está relacionada com o lucro do período i mas sim com o lucro do período $i+1$, pois por hipótese as vendas do período i estão relacionadas com o estoque inicial no período i e não com a produção nesse período.

O uso da margem de contribuição para maximizar a produção parte da hipótese que a venda de um produto é independente dos outros. Isto pode não ocorrer na prática onde muitas empresas possuem os chamados "produtos de atração". Esses produtos normalmente ofertas ou produtos chaves com preços atrativos devido a pequena margem de lucro servem para atrair os clientes. Nesse tipo de programação os produtos com pequenas margens de lucro são programados por último e com isso terão baixo nível de estoque.

IV.3.2 Restrição Produto Acabado

Como vimos antes da otimização é feita uma programação usando a metodologia usada no capítulo anterior. Reescrevendo a equações para um produto específico e um período específico temos:

A Produção Estimada é dada por:

$$EPE = EF + VC + VE + SPC + SPE - EI - CC - EPC \quad (4.2)$$

$$EF = COB \text{ onde COB: Cobertura} \quad (4.3)$$

Reescrevendo a fórmula temos:

$$EPE - SPE = COB + VC + VE + SPC - EI - CC - EPC \quad (4.4)$$

$$\text{Fazendo LD} = COB + VC + VE + SPC - EI - CC - EPC \quad (4.5)$$

$$EPE - SPE = LD \quad (4.6)$$

Note que para um produto acabado:

LD – É um valor constante

SPE – É o consumo do produto acabado (intermediário) devido à produção de produtos acabados de nível superior. Vamos desenvolver uma equação para SPE

$$SPE(pra) = \sum_{PrSup} \Psi(pra, PrSup) * EPE(PrSup) \quad (4.7)$$

Onde PrSup : São todos os produtos com nível de produto maior que pra

$\Psi(pra, PrSup)$ = Quantidade a fabricar, se pra é insumo de PrSup
= 0 do contrário

Agora podemos definir a Restrição para Produto Acabado (pra)

$$EPE(pra) - SPE(pra) \leq LD(pra) \quad (4.8)$$

$$EPE(pra) \geq LMin(pra) \quad (4.9)$$

IV.3.3 Restrição Matéria Prima

O raciocínio usado é similar a usado no item anterior

a) A Compra Estimada é dada por:

$$CE = EF + VC + VE + SPC + SPE - EI - CC \quad (4.10)$$

$$EF = COB \text{ onde COB: Cobertura} \quad (4.11)$$

Reescrevendo a fórmula temos:

$$CE - SPE = COB + VC + VE + SPC - EI - CC \quad (4.12)$$

$$\text{Fazendo } LD = COB + VC + VE + SPC - EI - CC \quad (4.13)$$

$$CE - SPE = LD \quad (4.14)$$

Note que para uma matéria prima:

LD – É um valor constante

SPE – É o consumo da matéria prima devido à produção de produtos acabados que ela é insumo. Vamos desenvolver uma equação para SPE

$$SPE(mtp) = \sum_{PrSup} \Psi(mtp, PrSup) * EPE(PrSup) \quad (4.15)$$

Onde PrSup : São todos os produtos com nível de produto maior que mtp ou seja todos os produtos acabados

$\Psi(mtp, PrSup)$ = Quantidade a fabricar, se mtp é matéria prima de PrSup
= 0 do contrário

Agora podemos definir a Restrição para Matéria Prima (mtp)

$$CE(mtp) - SPE(mtp) \leq LD(mtp) \quad (4.15)$$

$$CE(mtp) \geq LMin(mtp) \quad (4.16)$$

$$CE(mtp) \leq LMax(mtp) \quad (4.17)$$

IV.3.4 Restrição Mão de Obra

Para Mão de Obra temos

$$EI \geq SPC + SPE \quad (4.18)$$

Com:

EI - Quantidade Máxima do Centro Produtivo.

SPE – É o consumo estimado em tempo dos produtos que passam por esse centro produtivo.

SPC- É o consumo consolidado em tempo da produção já alocada.

Reescrevendo: $SPE \leq EI - SPC$

Definimos $LD = \max\{0, (EI - SPC)\}$ (4.19)

Obs: Note que $EI - SPC < 0$ se a produção em andamento demanda uma carga horário maior que a disponível para o centro produtivo. Nesse caso a carga horária disponível para a programação estimada é zero.

Por analogia a casos anteriores definimos $SPE(mao)$

$$SPE(mao) = \sum_{PrSup} \Psi_{MAO}(mao, PrSup) * EPE(PrSup) \quad (4.20)$$

PrSup : São todos os produtos acabados

$\Psi_{MAO}(mao, PrSup)$ = Tempo para fabricar, se mao é centro prod. de PrSup
= 0 do contrário

Agora podemos definir a Restrição para Mão de Obra (mao)

$$SPE(mao) \leq LD(mao) \quad (4.21)$$

$$SPE(mao) \geq 0 \quad (4.22)$$

IV.3.5 Restrição Fluxo de Caixa

Reescrevendo as equações já vista temos

A) Contas A Receber

Equação do Faturamento a Vista no Período i

Como vimos no item anterior o Faturamento a Vista é dado por

$$FAT(i) = \sum_{\substack{\text{Produtos} \\ \text{Vendidos}}} PV(Prod) * [VC(Prod,i) + VE(Prod,i)]$$

Temos para o período i que:

$$FAT(i) = \sum_{\substack{\text{Produtos} \\ \text{Vendidos}}} PV(Prod) * [VC(Prod,i) + EI(Prod,i)] \quad (4.23)$$

Decorre da equação acima que o faturamento do período i não depende da produção no período i, como era de se esperar pois as vendas decorrem do estoque inicial no período. Mas o faturamento do período i+1 depende da produção do período i a ser otimizada. Logo temos que otimizar o fluxo de caixa de 2 períodos consecutivos:

$$FAT_{OT} = FAT(i) + FAT(i+1) \quad (4.24)$$

Onde $FAT(i)$ é dado pela equação (4.23) e $FAT(i+1)$ tem de ser desenvolvida para ficar em função de $EPE(i)$ que é nossa variável de otimização para um produto.

$$FAT(i+1) = \sum_{\substack{\text{Produtos} \\ \text{Vendidos}}} PV(Prod) * [VC(Prod, i+1) + EI(Prod, i+1)] \quad (4.25)$$

$$FAT(i+1) = \sum_{\substack{\text{Produtos} \\ \text{Vendidos}}} PV(Prod) * VC(Prod, i+1) + \sum_{\substack{\text{Produtos} \\ \text{Vendidos}}} PV(Prod) * EF(Prod, i) \quad (4.26)$$

Da Equação geral do estoque para um produto temos:

$$EF(i) = EI(i) + CC(i) + EPC(i) + EPE(i) - VC(i) - VE(i) - SPC(i) - SPE(i)$$

$$EF(i) = (E(i) + CC(i) + VC(i) - SPC(i)) + EPE(i) - SPE(i)$$

Definindo:

$$LK = E(i) + CC(i) + VC(i) - SPC(i)$$

Temos

$$FAT(i+1) = FAT_C(i+1) + \sum_{\substack{\text{Produtos} \\ \text{Vendidos}}} PV(Prod) * [LK(prod, i) + EPE(i) - SPE(i)] \quad (4.27)$$

Com

$$FAT_C(i+1) = \sum_{\substack{\text{Produtos} \\ \text{Vendidos}}} PV(Prod) * VC(Prod, i+1) \quad (4.28)$$

Note que $FAT(i+1)$ é função das variável de otimização (EPE) e portanto FAT_{OT} também é função de EPE.

Estimativa do Faturamento para o Período i

$$FAE_{OT} = R_{fin} * FAT_{OT} \quad (4.29)$$

Contas a Receber Total no período i

$$CRT(i) = CRC(i) + CRE(i) \quad (4.30)$$

$$CRE(i) = \sum_{j=1}^i FAE_{OT}(j) * PFC(i-j) * [1 - Pin(i-j)] \quad (4.31)$$

B) Contas a Pagar

Equação do Custo das Compras por Produto

$$CPV(Pr od) = PC(Pr od) * [CC(Pr od) + CE(Pr od)] * Cfin(Pr od) \quad (4.32)$$

Equação do Custo Total das Compras

$$CPT = \sum_{\substack{\text{Pr odutos} \\ \text{Comprados}}} CPV(Pr od) \quad (4.33)$$

Contas a Pagar Total no período i

$$CPG(i) = CPC(i) + CPE(i) \quad (4.34)$$

CPE(i) tem as seguintes parcelas:

1-Parcela relativa às matérias primas

$$CPE(i)_A = \sum_{\substack{\text{Produtos} \\ \text{Comprados}}} CPE(\text{Pr od}) * Ppg(\text{Pr od} ,i) \quad (4.35)$$

2- Parcela relativa às comissões

$$CPE(i)_B = Com\% * CRE(i) \quad (4.29)$$

3- Parcela relativa aos Impostos

$$CPE(i)_C = [IFat * \beta * FAE(i)] + [IVag * (FAE(i) - CPT(i))] \quad (4.36)$$

Portanto Restrição do Fluxo de Caixa é dada por

$CRT(i) > CPG(i) \quad \text{para todo } i \quad (4.37)$
--

V Uma visão do Sistema Controle da Produção

V.1 Introdução

Neste item iremos descrever como são organizadas as informações básicas para controle da produção e as informações que são usadas para a programação da produção.

V.2 Sistema Controle da Produção - Visão Geral

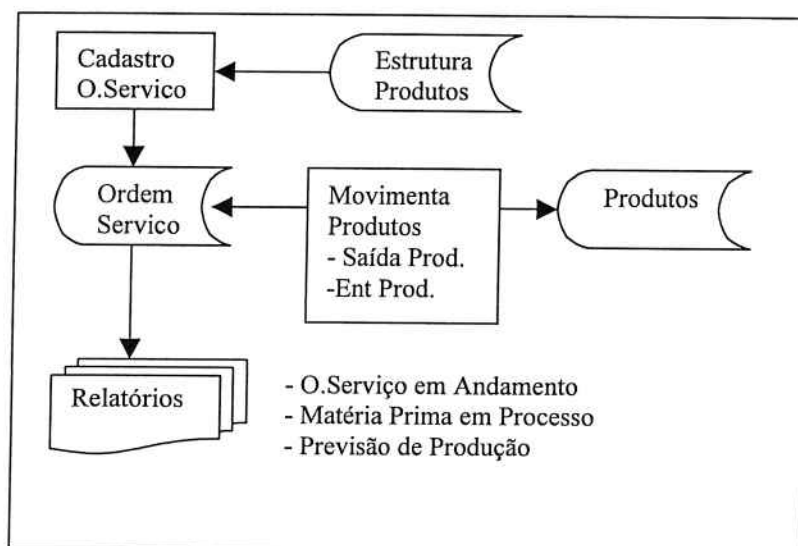


Figura 5.1 - Visão Geral do Sistema PCP

O sistema PCP é composto pelos arquivos:

1- Arquivo com O.S - Este arquivo contém as informações das Ordens de Serviços como: número de OS, data de início, data de fechamento, produto a ser fabricado, matérias primas consumidas.

2- Arquivo de Produtos - Este arquivo contém as informações sobre os produtos da empresa, tanto matérias prima como produtos acabados.

3. Estrutura de Produtos - Este arquivo contém informações relacionando os produtos acabados com as matérias primas: quantidade a fabricar, matérias primas etc... O cadastro de produto devido a sua importância será tratado em separado.

Em termos de fluxo de informações temos o seguinte funcionamento:

1- É aberta uma Ordem de Serviço para fabricar um produto acabado. É estipulada uma quantidade a ser fabricada e uma data de término para a ordem de serviço. Uma O.S só tem um produto acabado.

2. O programa que cadastra O.S. automaticamente inclui as matérias primas e as quantidades necessárias para a produção estipulada. Para isso o programa usa o cadastro de estrutura que contém todas as informações sobre o produto acabado.

3. A medida que as matérias primas são requisitadas pela linha de produção é dado baixa no estoque, sendo alocadas na O.S.

4. Quando o produto acabado entra no estoque vindo da linha de produção a O.S é atualizada tendo um controle do saldo pendente e das matérias primas já consumidas.

V.3 Ordem de Serviço - Descrição das Tabelas

O arquivo da Ordem de Serviço é composto de duas tabelas relacionadas como mostrado abaixo:

Tabela OS1 - Contém informações sobre os produtos acabados

Campo	C	Tipo	Comentário
OSNum	*	Numérico	Número de O.S - Sequencial Crescente
OSDtAb		Data	Data de Emissão de O.S
OSPrAc		Numérico	Produto Acabado a ser produzido
OSQtdE		Numérico	Quantidade a ser produzida
OSQtdF		Numérico	Quantidade fabricada
OSDtFec		Data	Data de Previsão de Fechamento
OSSta1		Númerico	Status da O.S. - Prod. Acabado
OSSta2		Numérico	Status da O.S. - Matéria Prima

Obs: 1- Esta tabela tem relacionamento com Arquivo de Produtos.

Tabela OS2 - Contém informações sobre as matérias primas

Campo	C	Tipo	Comentário
OSNum	*	Numérico	Número de O.S - Sequencial Crescente
OSMatPr		Numérico	Matéria Prima a ser usada
OSQtdC		Numérico	Quantidade prevista a ser consumida
OSQtdR		Numérico	Quantidade requisitada
OSQtdG		Numérico	Quantidade já transformada

Obs: 1- Esta tabela tem relacionamento com Arquivo de Produtos.

2- Esta tabela tem relacionamento com Tabela OS1 pelo campo OSNum.

Note que a estrutura prevista acima permite controlar

- 1) Produtos Acabados que estão em fase de produção.
- 2) Previsão de Produção em função da data de fechamento.
- 3) Previsão de Matéria Prima na linha de produção e que ainda falta de ser consumida.
- 4) Estimativa da perda quando do fechamento da O.S.
- 5) Também ao programar a produção esta estrutura mostra a produção em andamento. Portanto da estimativa de produção para o período devemos subtrair o que está em andamento e que entrará no estoque.

V.4 Arquivo de Estrutura - Descrição das Tabelas

O arquivo de Estrutura é composto de duas tabelas relacionadas como mostrado abaixo:

Tabela Est1 - Contém informações sobre o produto acabado

Campo	C	Tipo	Comentário
EstPrAc	*	Numérico	Produto Acabado
EstNivel		Numérico	Nível do Produto Acabado
EstQtPa		Numérico	Quantidade padrão na fabricação

Obs: 1- Esta tabela tem relacionamento com Arquivo de Produtos.

2- Nível de Produto Acabado é o nível que o mesmo ocupa após a explosão total do produto abado, considerando matéria prima como nível zero. Tem como finalidade simplificar o algoritmo que faz a programação da produção

3- Quantidade padrão é um múltiplo mínimo que é fabricado.

Tabela Est2 - Contém informações sobre as matérias primas

Campo	C	Tipo	Comentário
EstPrAc	*	Numérico	Produto Acabado
EstMatPr	*	Numérico	Matéria Prima a ser usada ⁽³⁾
EstQtd		Numérico	Quantidade prevista a ser consumida ⁽⁴⁾
EstPer		Numérico	Percentual de Perda

Obs: 1- Esta tabela tem relacionamento com Arquivo de Produtos.

2- Esta tabela tem relacionamento com Tabela OS1 pelo campo EstPrAc.

3- Quando estamos falando matéria prima estamos sendo genéricos já que pode ser um produto acabado intermediário.

4- A quantidade consumida para fabricar a quantidade padrão do produto acabado.

Note que a estrutura prevista acima:

- 1) Permite realizar a "explosão" de um produto acabado.
- 2) Dada uma previsão de fabricação de um determinado produto acabado, temos uma previsão do consumo das matérias prima.
- 3) Esta estrutura é usada pelo programa que cadastra O.S para gravar as matérias primas que serão usadas na tabela OS2.

V.5 Descrição do Arquivo PROS01.TXT

A programação da produção a partir da estimativa de venda deve estabelecer a quantidade a ser fabricada sendo que devemos subtrair os produtos acabados que estão em fase de produção. Essa informação está contida neste arquivo texto que descreveremos abaixo:

Arquivo PROS1.TXT - Contém informações sobre os produtos acabados em fase de produção. Arquivo para ser usado pela programação.

Campo	Tipo	Comentário
1	Numérico	Número de O.S.
2	Numérico	Produto Acabado a ser produzido
3	Numérico	Saldo do Produto Acabado na O.S.
4	Data	Data de Previsão

Obs: 1- Registro de tamanho variável.

2- Delimitador de Campo: ^

3- Fim de Registro: <CR> + <LF>.

4- Label: Data de Geração^Hora da Geração<CR><LF>

Algoritmo para gerar o arquivo

- 1- Abrir arquivo PROS1.TXT e gravar Label.
- 2- Montar o RecordSet da tabela OS1 excluindo as OS fechadas.
- 3- Posicionar o ponteiro no primeiro registro.
- 4- EOF ir para o passo 11.
- 5- Ler recordset do banco de dados.
- 6- Calcular o saldo. (OSQtde - OSQtdeF)
- 7- Se o saldo for negativo ou zero ir ao passo 9.
- 8- Gravar o registro no arquivo texto.
- 9- Mover para o próximo registro.
- 10- Ir para o passo 4.
- 11- Fechar o arquivo e o banco de dados.
- 12- FIM

V.6 Descrição do Arquivo PROS02.TXT

A programação da produção a partir da estimativa de produção deve estabelecer a quantidade de matéria prima a ser consumida. A essa estimativa devemos somar as matérias primas que serão consumidas pelas OS em andamento na produção. O arquivo está descrito abaixo:

Arquivo PROS2.TXT- Contém informações sobre as matérias primas que serão consumidas pelas OS em fase de produção. Arquivo para ser usado pela programação.

Campo	Tipo	Comentário
1	Numérico	Número de O.S.
2	Numérico	Matérias Prima a ser consumida.
3	Numérico	Saldo de Matéria Prima na O.S.
4	Data	Data de Previsão

Obs: 1- Registro de tamanho variável.

2- Delimitador de Campo: ^

3- Fim de Registro: <CR> + <LF>.

4- Label: Data de Geração^Hora da Geração<CR><LF>

Algoritmo para gerar o arquivo

- 1- Abrir arquivo PROS2.TXT e Gravar Label.
- 2- Montar o RecordSet da tabela OS1 e OS2.⁽¹⁾
Excluir as OS fechadas.
- 3- Posicionar o ponteiro no primeiro registro.
- 4- EOF ir para o passo 11.
- 5- Ler recordset do banco de dados.
- 6- Calcular o saldo. (OSQtC - OSQtR)
- 7- Se o saldo for negativo ou zero ir ao passo 9.
- 8- Gravar o registro no arquivo texto.
- 9- Mover para o próximo registro.
- 10- Ir para o passo 4.
- 11- Fechar o arquivo e o banco de dados.
- 12- FIM

VII Bibliografia

1. BURBIDGE, J.L. "Planejamento e Controle da Produção", *São Paulo: Atlas, 1981.*
2. STARR, M.K. "Administração da Produção Sistemas e Sínteses", São Paulo: Edgard Blucher, 1976
3. WAGNER, H. M. "Pesquisa Operacional", *Rio de Janeiro: Prentice Hall do Brasil 1986.*

ANEXO A

Exemplo: Uma empresa produz um produto acabado com a estrutura de produto mostrada na figura A1 . A quantidade de insumos para cada produto acabado está entre parênteses. O plano de venda e o estoque inicial estão na tabela A.1, note que empresa revende a matéria prima MP-1 e também vende PA-2 para as assistências técnicas como peça de reposição.

Coberturas:

$$PA-1 : Cobertura(i) = Consumo(i+1) + 0,10 Consumo(i+2)$$

$$PA-2 : Cobertura(i) = Consumo(i+1) + 0,20 Consumo(i+2)$$

$$MP-1 : Cobertura(i) = Consumo(i+1) + 0.50 Consumo(i+2)$$

$$MP-2 : Cobertura(i) = Consumo(i+1)$$

$$MP-3 : Cobertura(i) = Consumo(i+1)$$

Prod	Est	1	2	3	4	5	6
PA-1	100	90	90	85	80	75	70
PA-2	200	10	10	9	9	8	8
MP-1	400	30	20	20	15	15	20
MP-2	360	0	0	0	0	0	0
MP-3	1000	0	0	0	0	0	0

Tabela A1: Vendas Estimadas por Período i

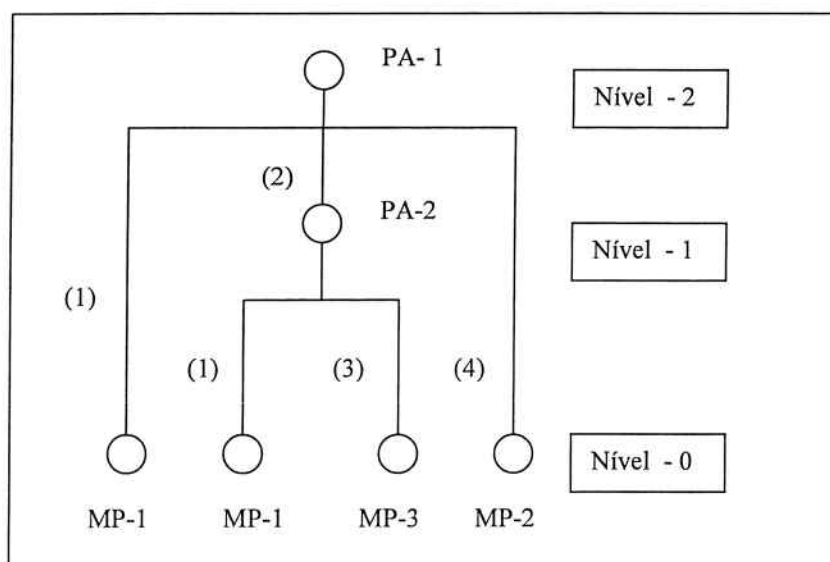


Figura A1 – Estrutura do produto e quantidades para fabricação

Passo 1 – Produto Acabado PA-1

Período	1	2	3	4	5	6	7	8
Estoque Inicial	100	98	85	87	75	77	-	-
Consumo	90	90	85	80	75	70	70	70
Cobertura	98	93	87	82	77	77	-	-
Produção	88	85	87	75	77	70	-	-

Tabela A2 – Produto Acabado PA-1

Exemplo de Cálculo 1º Período usando fórmulas 2.4 , 2.5 e 2.6

$$\text{Cobertura}(1) = \text{Consumo}(2) + 0,10 \text{ Consumo}(3) = 90 + (0,10 * 85) = 98$$

$$\begin{aligned} \text{Produção}(1) &= \text{Cobertura}(1) - \text{Estoque Inicial}(1) + \text{Consumo}(1) \\ &= 98 - 100 + 90 = 88 \end{aligned}$$

$$\text{Estoque Inicial}(2) = \text{Cobertura}(1) = 98$$

Passo 2- Produto Acabado PA-2

Para o Produto Acabado PA-2 o consumo é dado por:

$$\text{Consumo}(\text{PA2}, i) = \text{venda}(\text{PA2}, i) + 2 \text{ Produção}(\text{PA1}, i)$$

Período	1	2	3	4	5	6	7	8
Estoque Inicial	200	217	215	191	192	178	-	-
Consumo	196	180	183	159	162	148	148	148
Cobertura	217	215	191	192	178	178	-	-
Produção	213	178	159	160	148	148	-	-

Tabela A3 – Produto Acabado PA-2

Exemplo de Cálculo 1º Período usando fórmulas 2.4, 2.5 e 2.6

$$\text{Consumo}(1) = 10 + (2 * 88) = 196$$

$$\text{Cobertura}(1) = \text{Consumo}(2) + 0,20 \text{ Consumo}(3) = 180 + (0,20 * 183) = 217$$

$$\begin{aligned} \text{Produção}(1) &= \text{Cobertura}(1) - \text{Estoque Inicial}(1) + \text{Consumo}(1) \\ &= 217 - 200 + 196 = 213 \end{aligned}$$

$$\text{Estoque Inicial}(2) = \text{Cobertura}(1) = 217$$

Passo 3- Matéria Prima MP-1

Para a Matéria Prima MP-1 o consumo é dado por:

$$\text{Consumo}(\text{MP1}, i) = \text{venda}(\text{MP1}, i) + \text{Produção}(\text{PA1}, i) + \text{Produção}(\text{PA2}, i)$$

Período	1	2	3	4	5	6	7	8
Estoque Inicial	400	416	391	370	359	357		
Consumo	331	283	266	250	240	238	238	238
Cobertura	416	391	370	359	357	357		
Compras	347	258	245	239	238	238		

Tabela A4 – Matéria Prima MP-1

Exemplo de Cálculo 1º Período usando fórmulas 2.9, 2.10 e 2.11

$$\text{Consumo}(1) = 30 + 88 + 213 = 331$$

$$\text{Cobertura}(1) = \text{Consumo}(2) + 0,50 \text{ Consumo}(3) = 283 + (0,50 * 266) = 416$$

$$\begin{aligned} \text{Produção}(1) &= \text{Cobertura}(1) - \text{Estoque Inicial}(1) + \text{Consumo}(1) \\ &= 416 - 400 + 331 = 347 \end{aligned}$$

$$\text{Estoque Inicial}(2) = \text{Cobertura}(1) = 416$$

Passo 4- Matéria Prima MP-2

Para a Matéria Prima MP-2 o consumo é dado por:

$$\text{Consumo}(\text{MP2}, i) = 4 * \text{Produção}(\text{PA1}, i)$$

Período	1	2	3	4	5	6	7	8
Estoque Inicial	360	340	348	300	308	280	-	-
Consumo	352	340	348	300	308	280	280	280
Cobertura	340	348	300	308	280	280	-	-
Compras	332	348	300	308	280	280	-	-

Tabela A5 – Matéria Prima MP-2

Exemplo de Cálculo 1º Período usando fórmulas 2.9, 2.10 e 2.11

$$\text{Consumo}(1) = 4 * 88 = 352$$

$$\text{Cobertura}(1) = \text{Consumo}(2) = 340$$

$$\begin{aligned} \text{Produção}(1) &= \text{Cobertura}(1) - \text{Estoque Inicial}(1) + \text{Consumo}(1) \\ &= 340 - 360 + 352 = 332 \end{aligned}$$

$$\text{Estoque Inicial}(2) = \text{Cobertura}(1) = 340$$

Passo 5- Matéria Prima MP-3

Para a Matéria Prima MP-3 o consumo é dado por:

$$\text{Consumo}(\text{MP3}, i) = 3 * \text{Produção}(\text{PA2}, i)$$

Período	1	2	3	4	5	6	7	8
Estoque Inicial	1000	534	477	480	444	444	-	-
Consumo	639	534	477	480	444	444	444	444
Cobertura	534	477	480	444	444	444		
Compras	173	477	480	444	444	444	-	-

Tabela A6 –Matéria Prima MP-3

Exemplo de Cálculo 1º Período usando fórmulas 2.9, 2.10 e 2.11

$$\text{Consumo}(1) = 3 * 213 = 639$$

$$\text{Cobertura}(1) = \text{Consumo}(2) = 534$$

$$\begin{aligned} \text{Produção}(1) &= \text{Cobertura}(1) - \text{Estoque Inicial}(1) + \text{Consumo}(1) \\ &= 534 - 1000 + 639 = 173 \end{aligned}$$

$$\text{Estoque Inicial}(2) = \text{Cobertura}(1) = 534$$

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PSI/0001 – Observabilidade Topológica de Osawa em Redes não Lineares – ARMANDO HANDAYA, FLÁVIO A. M. CIPPARRONE
- BT/PSI/0002 – Desenvolvimento de uma Microbalança de Quartzo para Detectar Gases – ROBERTO CHURA CHAMBI, FRANCISCO JAVIER RAMIREZ FERNANDEZ
- BT/PSI/0003 – Sistema para Desenvolvimento de Sensores Inteligentes – ANTONIO CARLOS GASPARETTI, FRANCISCO JAVIER RAMIREZ FERNANDEZ
- BT/PSI/0004 – A 1.6GHz Dual Modulus Prescaler Using the Extended True Single-Phase Clock CMOS Circuit Technique (E-TSPC) – JOÃO NAVARRO SOARES JÚNIOR, WILHELMUS ADRIANUS M. VAN NOIJE
- BT/PSI/0005 – Modelamento em Linguagem VHDL de uma Unidade de Policiamento para Redes Locais ATM – ÉDSON TAKESHI NAKAMURA, MARIUS STRUM
- BT/PSI/0006 – Otimização das Operações Coletivas para um Aglomerado de 8 Computadores usando uma Rede Ethernet 10 Mbps baseada em Hub – MARTHA TORRES, SERGIO TAKEO KOFUJI
- BT/PSI/0007 – Short Temporal Coherence Optical Source With External Fiber Optics Cavity – CARMEM LÚCIA BARBOSA, JOSÉ KEBLER DA CUNHA PINTO
- BT/PSI/0008 – Hydrogenated Carbon Films Used as Mask in Wafer Processing With Integrated Circuits: Post-Processing – JUAN M. JARAMILLO O., RONALDO D. MANSANO, EDGAR CHARRY R.
- BT/PSI/0009 – Redes Neurais em VLS – ANTONIO RAMIREZ HIDALGO, FRANCISCO JAVIER RAMIREZ FERNANDEZ
- BT/PSI/0010 – Caracterização de Filmes Obtidos a Partir da Deposição por Plasma de Hexametildissilazana – SANDRINO NOGUEIRA, MARIA LÚCIA PEREIRA DA SILVA
- BT/PSI/0011 – InterFace: A Real Time Facial Animation System – JOSÉ DANIEL RAMOS WEY, MARCELO KNORICH ZUFFO
- BT/PSI/0012 – Análise de Desempenho Dinâmico de Sistemas de Transmissão em Corrente Contínua Multiterminais Série Utilizando GTO – MARIA APARECIDA DOS SANTOS, WALDIR PÓ
- BT/PSI/0013 – Estudo de Dispositivos Miniaturizados para Controle do Escoamento de Fluidos – ELIPHAS WAGNER SIMÕES, ROGÉRIO FURLAN
- BT/PSI/0014 – Projeto de um Sistema de Sinalização de Tronco E1: Um Estudo de Caso usando o Ambiente Ptolemy – OSCAR W. PEÑA GUILARTE, MARIUS STRUM
- BT/PSI/0015 – Obtenção de Filmes de Nitreto de Silício por Deposição Química Assistida por Plasma Acoplado Indutivamente – LUÍS DE S. ZAMBOM, ROGÉRIO FURLAN, RONALDO D. MANSANO
- BT/PSI/0016 – Obtenção de Oxinitretos de Porta por Processamento Térmico Rápido Visando a Fabricação de Circuitos Integrados MOS – LEANDRO ZEIDAN TOQUETTI, SEBASTIÃO G. SANTOS FILHO
- BT/PSI/0017 – Characterization of Silicon Oxide Thin Films Deposited by TEOS PECVD – ANA NEILDE R. DA SILVA, NILTON I. MORIMOTO
- BT/PSI/0018 – Estudo e Caracterização de Filmes Sipos para a Passivação de Dispositivos de Potência – EDUARDO DOS SANTOS FERREIRA, NILTON ITIRO MORIMOTO
- BT/PSI/0019 – Simulação, Funcional e Elétrica, de Diodos Controlados por Porta Visando Demonstrar a sua Aplicabilidade como Sensor de Radiação Luminosa – HUGO PUERTAS DE ARAÚJO, SEBASTIÃO GOMES DOS SANTOS FILHO
- BT/PSI/0020 – Graded-Channel Fully-Depleted Silicon-on-Insulator Nmosfet for Reducing the Parasitic Bipolar Effects – MARCELO ANTONIO PAVANELLO, JOÃO ANTONIO MARTINO, DENIS FLANDRE
- BT/PSI/0021 – FFT para Detecção de Aromas – G. C. SANTOS QUISPE, F. J. RAMIREZ FERNANDEZ
- BT/PSI/0201 – Estudo para Aplicação de Litografia por Feixe de Elétrons na Fabricação de Estruturas de Relevo Contínuo para Utilização em Microóptica Integrada – HAMILTON FERNANDES DE MORAES JUNIOR, ANTONIO CARLOS SEABRA
- BT/PSI/0202 – Sistemas de Adaptação ao Locutor Utilizando Autovozes – LISELENE DE ABREU BORGES, MIGUEL ARJONA RAMÍREZ
- BT/PSI/0203 – A Wideband Down-Converter MMIC with Gain Control for Digital Radio Systems – D. VIVEIROS JR., M. B. PEROTONI, M. A. LUQUEZE, D. CONSONNI, J. G. C. POLOTO
- BT/PSI/0204 – Highly Conductive N-Type $\mu\text{c-Si:H}$ Films Deposited at Very Low Temperature – ALEXANDRE MANTOVANI NARDES, ELY ANTONIO TADEU DIRANI
- BT/PSI/0205 – Effect of Stencil Alignment on the Solder Beading in SMT Process – FLÁVIO SOUSA SILVA, MAURÍCIO MASSAZUMI OKA
- BT/PSI/0206 – Sistema de Reconhecimento de Voz Dependente de Locutor Utilizando-se a Transformada Discreta Cosseno – WASHINGTON LUIS SANTOS SILVA, IVANDRO SANCHES
- BT/PSI/0207 – Construção e Caracterização de Diodos N^+P com Contatos Al/Ni/TiSi_2 -RONALDO WILLIAN REIS, SEBASTIÃO GOMES DOS SANTOS FILHO

- BT/PSI/0208 – Diagnóstico de Falhas em Equipamentos Usando Técnicas de Redes Neurais Artificiais – MARIANA A. AGUIAR, ZSOLT L. KOVÁCS
- BT/PSI/0209 – Analysis of the Leakage Drain Current Carriers in SOI MOSFETs Operating at High-Temperatures – MARCELLO BELLODI, JOÃO ANTONIO MARTINO
- BT/PSI/0210 – A New Technique to Extract the Oxide Charge Density at Front and Back Interfaces of SOI nMOSFETs Devices – APARECIDO SIRLEY NICOLETT, JOÃO ANTONIO MARTINO
- BT/PSI/0211 – A New Methods for Determining the Silicon Film Doping Concentration and the Back Interface Oxide Charge Density Using SOI-MOS Capacitor – VICTOR SONNENBERG, JOÃO ANTONIO MARTINO
- BT/PSI/0212 – Produção de Novos Filmes para Detecção de Poluentes – ANTONIO PEREIRA DO NASCIMENTO FILHO, MARIA LÚCIA PEREIRA DA SILVA
- BT/PSI/0213 – Composição de Baixo Custo para Refeições Populares – GUSTAVO FELIPE PAOLILLO, FLÁVIO ALMEIDA M. CIPPARRONE
- BT/PSI/0214 – Posicionamento Automático de Estações para Atendimento de Usuários a Diversas Taxas – FABIO LEONEL ORSI, FLÁVIO ALMEIDA M. CIPPARRONE
- BT/PSI/0215 – Controle Ótimo de Potência em Redes de Comunicação sem Fio – TADEU JUNIOR GROSS, VANDERLEI A. DA SILVA, FLÁVIO ALMEIDA M. CIPPARRONE
- BT/PSI/0216 – Racionalização do Consumo de Energia Elétrica pelas Estações Rádio Base no Link Direto de um Sistema CDMA – E. M. G. STANCANELLI, FLÁVIO ALMEIDA M. CIPPARRONE
- BT/PSI/0217 – Otimização de Investimentos em Redes Celulares (Serviço de Valor Agregado) – J. P. G. GUIMARÃES, F. A. M. CIPPARRONE

