

### 3 Formulação da Metodologia

#### 3.1. Resumo das Principais Heurísticas de Solução

A maioria das heurísticas de solução para o ELSP aborda o problema na sua forma clássica, isto é, quando os tempos e custos de *setup* são independentes da seqüência de produção. Estas abordagens restringem as soluções para terem lotes de produção em cada produto de igual tamanho, e colocados igualmente espaçados na seqüência. Isto significa que cada vez que um produto é programado, este vai ser produzido por uma duração de tempo fixa; portanto o gráfico do inventário sobre o tempo para cada produto tem a conhecida forma de dente de serra.

O fato de ter tempos e custos de *setup* que mudam em função da seqüência de produção escolhida, faz com que seja impossível calcular um Lote Mínimo de Produção. Então existe um problema real em programar a produção de tal maneira que se minimizem custos e se satisfaça a demanda sem retardos.

Os principais trabalhos desenvolvidos com a finalidade de encontrar uma boa solução para este caso particular são os realizados por Maxwell (1964), Singh & Foster (1987), Dobson (1992) e McGee & Pike (1996).

##### 3.1.1. Resumo do Trabalho de Maxwell

Maxwell (1964) realizou a formulação matemática do problema, mas ante a impossibilidade de poder encontrar uma solução ótima para este modelo, ele opta pelos métodos heurísticos, e se auxilia em um programa computacional que desenvolveu para testar as chamadas “regras implícitas” (seção 2.4.4.3.) e para realizar as mudanças pertinentes na determinação do ciclo mais apropriado. Os inputs do programa são: o comprimento do ciclo, o tempo de ciclo, o número de produtos, as taxas de demanda, as taxas de produção, os custos de manutenção de inventário e a matriz de custos de *setup*. Estes dados de entrada alimentam a algoritmos que estabelecem primeiro uma seqüência inicial em função do menor custo de manutenção de inventário; tal seqüência é depois melhorada

alterando iterativamente a ordem dos produtos até encontrar uma que ofereça o menor custo total. Em seguida é testado seqüencialmente para cada produto o fato de poder incrementar as corridas de produção dentro do ciclo (aumentar o número de períodos). Nesta parte, o algoritmo permite identificar as melhores posições onde uma corrida de produção adicional de um certo produto permitiria diminuir os custos totais por unidade de tempo.

Mesmo com as simplificações que o algoritmo realiza para reduzir as numerosíssimas possibilidades que esta tarefa demanda, o problema não deixa de ser complexo; complexidade que cresce na medida em que aumentam as freqüências de produção para cada produto. Neste sentido o algoritmo permite que cada solução encontrada possa seguir sendo analisada quantas vezes seja desejado. O cumprimento da regra de iniciar em zero é tomado como questão prioritária, e toda solução a que se chegue necessariamente deve se ajustar com esta restrição.

#### Desvantagens

O método fornece resultados bons, mas tem a particularidade que não se especifica um período de planejamento para a programação dos produtos. Por conseguinte, pode se encontrar uma grande quantidade de possíveis melhores soluções, e a possibilidade de acrescentar um novo período é ilimitado, e assim as combinações são quase infinitas. Não existe nenhuma regra que impeça ao algoritmo estender a duração do ciclo desmesuradamente contanto de descobrir uma possível melhora no custo total por unidade de tempo em alguma solução, o qual para fins práticos de planejamento não é muito útil.

Por outro lado, Maxwell (1964) deixa de lado nas heurísticas a possibilidade de ter tempos ociosos (apesar de tê-los considerado na formulação matemática), o que, além de poder eliminar alguma melhor solução, na prática nem sempre pode ser uma boa idéia dado que cumprir com um programa de produção concebido de uma maneira ideal, na maioria das vezes, vai ser quase impossível. Os tempos ociosos oferecem flexibilidade à linha de produção ante algumas eventualidades que possam acontecer.

### **3.1.2.**

#### **Resumo do Trabalho de Singh & Foster**

Singh & Foster (1987) propõem uma heurística que contempla um período base determinado em função de um horizonte de planejamento adequado ao tipo

de empresa segundo as considerações da administração, garantindo desta maneira que o tempo entre repetições sucessivas seja exatamente igual àquele horizonte. Também se considera que os custos de *setup* são dependentes da seqüência de produção, mas para a aplicação da heurística os tempos de *setup* são considerados constantes. A maior vantagem que apresenta esta heurística é dar liberdade à seqüência de produção para poder escolher tamanhos de lotes não iguais para um mesmo produto ao longo do ciclo mediante um reajuste dos tempos de corridas de produção com a regra de “Iniciar em Zero”. Mas sem dúvida, o fato de poder escolher o tempo de ciclo previamente permite dar uma ampla flexibilidade na programação.

#### Desvantagens

Singh e Foster (1987), assim como Maxwell, não levam em conta a possibilidade de incluir tempos ociosos dentro do ciclo. Os tempos ociosos podem servir como um colchão para lidar com prováveis desajustes na execução do programa.

Outra desvantagem poderia ser que os autores consideram tempos de *setup* independentes da seqüência de produção (mas não assim os custos de *setup*). Se os tempos de *setup* fossem uma proporção relativamente grande do tempo de corrida de produção, poder-se-iam encontrar alguns problemas. Mas eles argumentam que, normalmente, esse tempo não é muito relevante com relação ao tempo total.

### **3.1.3. Resumo do trabalho de Gregory Dobson**

Dobson (1992) apresenta um trabalho bastante interessante. No seu modelo, ele leva em consideração quase todas as variáveis concebidas por Maxwell (1964) inicialmente. Inclusive, apresenta uma formulação matemática do problema muito similar. Em vista da impossibilidade de solução pela quantidade de opções que se podem gerar, ele realiza uma relaxação para decompor o problema de tal maneira que possa ser solucionado como uma generalização do problema do caixeiro viajante e em seguida trata o problema como um ELSP típico. Logo, disso se obtêm as freqüências de produção que vão ser de utilidade no desenvolvimento de uma heurística que fornece boas soluções factíveis.

O problema é abordado através da construção de um ciclo factível que será repetido, o qual vai minimizar o custo médio de *setup* e os custos de manutenção de inventário por unidade de tempo. A duração do ciclo, a

seqüência dos produtos produzidos durante o ciclo, os tamanhos dos lotes (a duração das corridas de produção), e a duração dos tempos ociosos entre corridas definem o ciclo. A programação é factível se: 1) a soma dos tempos de *setup*, tempos de produção e tempos ociosos se iguala à duração do tempo de ciclo, e 2) existe um vetor de inventários iniciais, tal que toda a demanda durante o tempo de ciclo possa ser satisfeita sem atrasos e os inventários no final do ciclo sejam exatamente iguais aos inventários iniciais. Claramente, uma programação factível pode ser repetida infinitamente se as taxas de demanda e de produção forem constantes.

Adicionalmente, para simplificar o problema, requer-se que o início de cada corrida de produção para cada produto coincida com o inventário do produto num nível de zero (a regra de “Iniciar em zero”). Além disso, a seqüência de produção permite que se produzam os produtos mais de uma vez no ciclo e, não necessariamente em tempos igualmente espaçados.

Em resumo, para uma corrida individual de produção, a seqüência de eventos é como segue: Uma mudança de produto na linha requer um tempo de *setup*  $S_{ij}$ , onde  $i$  é o produto prévio na seqüência. Quando o *setup* é completado, a corrida de produção se inicia e novamente volta-se a fazer aquele produto quando o seu inventário atinge o valor de zero. A produção ocorre com uma taxa  $p_i$  constante (maior do que a taxa de demanda  $r_i$ , também constante). A linha de produção fica então ociosa por algum período de tempo (possivelmente zero) até que o *setup* do próximo produto comece. Não se consideram situações nas quais os *setups* dependem da duração dos períodos de tempo ocioso.

#### Desvantagens

Embora, aparentemente, a metodologia proposta por Dobson (1992) considere muitas das possibilidades que se poderia encontrar em uma linha de produção, esta carece em certa medida de uma definição clara de como determinar a duração do tempo de ciclo ( $T$ ). Por conseguinte, esta metodologia pode encontrar uma solução muito boa para o problema em um tamanho de ciclo bastante grande, mas que, para fins de planejamento poderia não ser muito útil. Só no caso ideal em que todas as variáveis mantiverem-se constantes ao longo do tempo, esta metodologia forneceria resultados úteis. Quanto menor for o tempo de planejamento, menor é a incerteza e mais fácil é realizar possíveis modificações.

### 3.1.4. Resumo do Trabalho de McGee & Pyke

Este trabalho apresenta a aplicação da Programação de Produção Periódica em uma Companhia Manufatureira de zíperes metálicos. A empresa produz mais de 3600 itens diferentes (ou *Stock Keeping Units* - SKU), usando mais de 40 máquinas “Formadoras de Porcas em Frio” (*Cold Nut Forming* - CNF). Os produtos fabricados pela empresa incluem porcas padronizadas, porcas multivariadas e especialmente zíperes. O pessoal da fábrica indicou que as CNF's são claramente os gargalos no processo de produção. Os tempos de *setup* variam entre 3 e 8 horas para mudar de uma família de produtos à outra.

O problema foi inicialmente estabelecido com a finalidade de reduzir o alto inventário dos produtos terminados. Estudos preliminares revelaram que, para atingir esta meta, os esforços deveriam ser direcionados em dois sentidos: (1) Um melhoramento significativo das técnicas de previsão utilizadas, e (2) contar com um sistema adequado de Programação Periódica da Produção (*Periodic Production Schedule* - PPS). O PPS formulado requer procedimentos iniciais para ordenar os SKU's dentro de famílias. Estas famílias, tanto como for possível, compartilham padrões similares de *setups*, especificações de engenharia, necessidades de matérias-primas, etc. O PPS foi desenvolvido em uma planilha de cálculo e as saídas desta planilha alimentam um pacote interativo de computador, criado para facilitar a implementação.

Com respeito à Programação da Produção, o sistema periódico possui as seguintes características:

- Criam-se famílias de SKU's, que são designadas para determinadas máquinas CNF's.
- Determinam-se os tempos de ciclo para cada família e para cada CNF.
- Estabelece-se uma seqüência planejada de SKU's para cada máquina CNF.
- Verifica-se a capacidade de linha e se ajustam os tempos de ciclo de acordo com isto.
- Determinam-se os pontos de pedido para as ordens de fabricação de cada SKU.

Os resultados da implementação destas atividades deram lugar ao estabelecimento de uma Programação Periódica para cada máquina CNF. Por exemplo, em cada 6 semanas uma determinada seqüência de partes (uma família) será produzida em uma máquina em particular, mas outras partes poderiam ter diferentes freqüências de produção.

### Desvantagens

A metodologia proposta por esses autores resulta interessante no sentido que, para o caso particular que estudam, é possível agrupar os produtos em famílias onde as mudanças de um produto para outro dentro da família guardam padrões similares. Por outro lado, devido à grande quantidade de produtos que se tem que programar e aos longos períodos de reposição das peças (entre 6 e 90 semanas), o método que utiliza para calcular os tamanhos de ciclo assume alguns parâmetros para facilidade de cálculo. De certa maneira isto é justificável, ao levar em consideração que pequenas diferenças nos tempos de *setup* não afetam significativamente a formulação da programação.

No caso que se vai abordar neste trabalho acontece o contrário. Os minutos de produção (pelo ritmo de fabricação que a empresa possui) são muito importantes, e os tempos de *setups* são relativamente pequenos. Portanto, tem-se que empregar uma metodologia que seja a mais exata possível e que forneça resultados factíveis. Por outro lado, no estudo de caso, não é possível agrupar os produtos em famílias pelo fato de que não existem produtos que guardem características semelhantes com relação ao trabalho e tempo investido na mudança de itens na linha de produção.

#### **3.1.5.**

#### **Escolha da Metodologia que servirá como base principal**

Das metodologias que foram descritas, considera-se o trabalho desenvolvido por Singh & Foster (1987) como o mais apropriado para o estudo de caso que vai se analisar, devido aos seguintes motivos:

- Tomar-se-ão os dados de uma fábrica de refrigerantes, e para ela é importante definir um horizonte de planejamento, de preferência relativamente curto, com a finalidade de prever uma demanda quase certa. A indústria de refrigerantes está imersa num ambiente de grande concorrência, onde questões como preços e promoções (próprias e dos concorrentes) influenciam elasticamente o nível de vendas num determinado período. Portanto, só em períodos curtos (1 semana ao máximo) pode-se conhecer uma demanda aproximadamente certa nos diferentes produtos.

- O fato de iniciar a produção de acordo com a regra de “Iniciar em zero” permite manipular quantidades de inventário mínimas.

- Singh & Foster (1987) não levam em conta a possibilidade de ter tempos ociosos. Para permiti-los, vai-se fazer uma modificação ao algoritmo original.

- Os tempos de *setup* são considerados como independentes da seqüência de produção, mas o fato de que, para o estudo de caso, estes tempos não constituem uma proporção muito grande dos tempos de produção, e, além disso, a simplicidade do algoritmo que esta consideração permite conseguir, justificam em certa medida supor válida aquela premissa.

- As outras metodologias poderiam ser úteis se a demanda fosse relativamente constante ao longo de um grande período de tempo. Este foi o principal fato que determinou a escolha da Heurística de Singh & Foster (1987) como base para solucionar o problema em estudo. Deve-se lembrar que se fizeram algumas alterações ao algoritmo original com a finalidade de melhorá-lo.

### 3.2.

#### Descrição do método heurístico de solução

O método de Singh & Foster (1987) é orientado em função do planejamento, para determinar seqüências de produção realistas e, além disso, estimar custos anuais de *setup* e de manutenção de inventário.

Dado que o método é empregado como uma ferramenta de planejamento, inicialmente ignoram-se os inventários iniciais e as ordens em atraso. A solução é considerada como factível, enquanto o tempo total de *setup* e o tempo total de produção requerido não excedem o tempo disponível da máquina.

Neste ponto, é apropriado destacar a relação entre os custos de *setup* e os tempos de *setup*. Os custos de *setup* não substituem os tempos de *setup*, mas refletem os verdadeiros custos incorridos devido a perdas de material e à remoção de materiais. Os tempos de *setup* no estudo de caso apresentado são, de fato, dependentes da seqüência. No entanto, o fato de não considerá-los assim não afeta a factibilidade da solução por três razões principais:

- Historicamente, os *setups* têm constituído menos do 10 por cento do tempo total da máquina, e as máquinas têm sido raramente programadas para utilizações (*setup* e tempo de corrida) que excedam 90 por cento. Nenhuma das análises de trabalho realizadas para a aplicação indica que a freqüência de *setups* deveria ser aumentada o suficiente para mudar este fator de utilização: tempo de *setup* / tempo de uso da máquina.

- Existe uma quantidade significativa (aproximadamente 5%) de tempo discricionário (por exemplo, testes e experimentações) disponível nas máquinas para que possam resolver algumas pequenas infactibilidades (que poderiam

aparecer) devido aos excessivos *setups*. Este tempo discricionário é útil para ajustar as disponibilidades das máquinas.

- A diferença de tempos entre uma seqüência dependente e uma outra igual mas com tempos de *setup* constantes, é pequena e pode ser ignorada.

### 3.2.1. Formulação do Problema

Procura-se uma programação para N produtos que minimize a soma dos custos de manutenção de inventários e dos custos de *setup*.

Esta programação se repete, em uma única máquina, a cada H períodos, sujeita às seguintes restrições e parâmetros:

- Somente um produto pode ser produzido na máquina em um determinado instante de tempo.

- As taxas de Produção e de Demanda são constantes.

- Os custos de *setup* são dependentes da seqüência e são conhecidos.

- Atrasos na produção e perdas de vendas não são permitidos.

- Os custos de manutenção de inventário são diretamente proporcionais aos níveis médios de inventário.

- A capacidade de produção é suficiente para atender com folga a demanda toda.

- Os tempos de *setup* requeridos para todos os produtos não dependem da seqüência de produção.

A matriz ( $K_{ij}$ ) representa o custo para passar ao produto j se o produto i foi o último produzido. Supõe-se que o custo de *setup*  $K_{ij}$  é gasto mesmo se houver tempos ociosos entre o fim da corrida do produto "i" e o início de "j".

Portanto, para cada produto definem-se as seguintes variáveis:

N : Número de produtos,  $i=\{1,2,3...N\}$

$r_i$  : Taxa de Demanda do produto "i".

$p_i$  : Taxa de Produção do produto "i".

$S_i$  : Tempo de preparação de um lote do produto "i" (tempo de *setup*).

$K_{ij}$  : Custo de *setup* do produto "j", tendo previamente produzido "i".

$h_i$  : Custo de manutenção de estoque por unidade do produto "i" e por unidade de tempo.

$T_i$  : Tempo entre dois inícios de *setups* consecutivos do produto "i".

- $C_i$  : Custo total por unidade de tempo do produto "i".  
 $H$  : Horizonte de Planejamento (determinado pela empresa).

A partir desta notação básica podem-se definir os seguintes parâmetros:

- $\rho_i = (r_i/p_i)$        $\rho = \sum \rho_i \leq 1$       Fator de utilização  
 $\tau_i = \rho_i \cdot T_i$       Tempo que demora para produzir um lote  
 $\sigma_i = (s_i + \tau_i)$       Tempo de processamento total de um lote  
 $q_i = (r_i \cdot T_i)$  ou  $(p_i \cdot \tau_i)$       Tamanho do lote

Define-se agora:

$K_{\min}^i = \min_j K_{ij}$  = o menor custo de setup tendo como predecessores  $i$ 's.

$$e \quad C_i = (K_{\min}^i / T_i) + h_i r_i T_i (1 - \rho_i) / 2$$

Para encontrar o custo mínimo minimiza-se esta última equação, com variável " $T_i$ ", o que permitirá obter um limite inferior para o custo total de *setup* e de manutenção de inventário associado com o produto  $i$ . Então, o limite inferior para o custo por unidade de tempo de alguma solução factível seria dado por:

$$C_{LI} = \sum_i [2 K_{\min}^i (r_i h_i (1 - \rho_i))]^{1/2}$$

Segundo o descrito na seção 2.4.4.2., é muito efetivo restringir os tempos de ciclo ao conjunto da forma  $(k^0W, k^1W, k^2W, \dots, k^nW)$ , onde " $W$ " é um período base e " $k$ " uma constante. Isto significa que se  $W$  é 1 semana, e  $k=2$ , logo um conjunto de produtos seria produzido cada semana, outro conjunto cada duas semanas, outros cada 4 semanas, e assim sucessivamente (potências-de-dois). Tempos de ciclo desta forma são, conforme o comentado, muito apropriados e têm vantagens em relação à efetividade em custos.

Dado que as soluções não serão restringidas a um conjunto de  $T_i$ 's igualmente espaçados, para cada item o conceito de tempo de ciclo tem um significado algo diferente. No entanto, restringir-se-ão estas soluções de tal forma que a corrida de produção para um produto comece quando o inventário daquele produto atinja o zero exatamente (iniciar em zero).

### 3.2.2.

#### Descrição da Heurística

A heurística que se descreve a seguir divide o problema em três estágios e os soluciona seqüencialmente:

**1º. Estágio:** O primeiro estágio da heurística (passos 1 – 4 do algoritmo) determina o número de *setups* requeridos por cada produto no horizonte de planejamento H. Começa-se por calcular (baseados no Lote Econômico de Produção, EOQ) o inventário mínimo e custos de *setup*, e o número de *setups*, empregando o menor custo de *setup* para cada produto  $i = K_{\min}^i$ . A seqüência de produção para os produtos é então obtida resolvendo o problema do caixeiro viajante (TSP) que minimiza os custo total de *setups*. O custo de *setup* médio para cada produto proveniente da solução do TSP é utilizado para solucionar outro conjunto de problemas EOQ. A heurística se repete entre o cálculo dos EOQ's e o TSP até convergir em uma resposta. (os custos de *setup* dos EOQ's e a média dos custos de *setup* do TSP tornam-se aproximadamente iguais), ou até atingir o número de iterações máximas definidas previamente pelo usuário. Observe que o uso inicial de  $K_{\min}^i$  maximizará o número de *setups*. Os subseqüentes TSP's permitirão gerar custos de *setup* que tenderão a reduzir o número de *setups*.

**2º. Estágio:** O segundo estágio (passos 5 e 6 do algoritmo) procura distribuir os *setups* e formar seqüências parciais, de uma maneira similar à utilizada por Haessler (1979). Estas seqüências parciais são logo reordenadas para reduzir os custos de mudança entre produtos. Descobriu-se que, arranjando as corridas de produção segundo o método de Haessler (1979), se consegue um bom desempenho. Existem três razões para isto. Primeiro, as corridas de produção dos trabalhos são usualmente pequenas comparadas com o tempo de ciclo. Segundo, com um grande número de produtos, existem freqüentemente trabalhos com um tempo de corrida pequeno de tal forma que eles podem agir como recheios. Finalmente, a restrição dos tempos de ciclo ao conjunto geométrico ( $k^0W, k^1W, k^2W, \dots, k^nW$ ) ajuda a reduzir a interferência entre os trabalhos.

**3º. Estágio:** No terceiro estágio (passo 7 do algoritmo), se ajustam as durações das corridas de produção de tal forma que uma corrida comece quando o inventário de cada produto atinja o nível zero (regra de “Iniciar em Zero”).

A heurística é estruturada para que uma solução factível (o somatório dos tempos das corridas somado ao dos tempos de *setup* devem ser menores que o Horizonte de Planejamento H) seja sempre obtida se existe capacidade de produção disponível suficiente e que cada corrida de produção seja feita pelo menos uma vez no tempo do Horizonte. De fato, no final do Estágio 1, é possível

saber se uma solução factível existe ou não. Adicionalmente, a heurística tenderá evitar que os tamanhos dos lotes sejam iguais ou sejam igualmente espaçados. Tem-se determinado que, se o Fator de Utilização da Máquina é 80 por cento ou menos, a maioria das soluções resultariam em iguais tamanhos de lotes para os produtos.

### 3.2.3. Apresentação do Algoritmo

O algoritmo que se apresenta a seguir está fortemente baseado no Algoritmo desenvolvido por Singh & Foster (1987).

#### Passo 0: Inicialização

Seja: ITER= Máximo número de iterações permitidas no Estágio 1.

Seja:  $A_i = K_{\min}^i$ , para  $i = 1, 2, 3, \dots, N$  (mínimo valor de cada coluna na matriz  $K_{ij}$ )

Faz-se:  $K_{ij} = M$ ;  $M$  é um número bastante grande em relação aos outros dados da matriz.

#### Passo 1: Cálculo dos Ciclos “Ótimos”

1A: Ciclos Reordenados Estimados:

$$\text{Seja: } T_i^* = \left( \frac{2A_i}{r_i h_i (1 - \rho_i)} \right)^{1/2}$$

$$\text{Seja: } C_i^* = [2A_i r_i h_i (1 - \rho_i)]^{1/2}$$

$$\text{Seja: } TMIN = \text{Min}_i T_i^*$$

1B: Ciclos Reordenados Arredondados aos Multiplicadores Potência-de-Dois (teoria apresentada na seção 2.4.4.2):

Isto gera uma seqüência de  $T_i$ 's da forma  $\{k^0 W, k^1 W, k^2 W, \dots\}$ , onde  $W = X_m$

$$X_j = \frac{H}{2^{(j-1)}} = 1, 2, \dots, m \quad ; \quad \text{tal que:} \quad X_m \leq TMIN$$

$$\text{Faz-se: } X_{m+1} = 0 \quad X_0 = \infty$$

$$\text{Faz-se: } T_i = X_j \quad \sqrt{X_{j-1} X_j} \geq T_i^* \geq \sqrt{X_j X_{j+1}}$$

**Passo 2: Ajustar os ciclos reordenados para assegurar a factibilidade**

(Tempos de corridas de produção e os tempos de *setup* devem ser menores do que o horizonte de planejamento. Tempos de *setup* são considerados constantes).

Seja: 
$$PROD = \sum_{i=1}^N (S_i \frac{H}{T_i} + H\rho_i)$$

Se  $PROD \leq H$ , ir ao passo 3.

Senão, o problema é infactível. Portanto, deve-se fazer:  $T_i = 2 T_i$ , e ir ao início do Passo 2, até encontrar  $PROD \leq H$ .

**Passo 3: Computar uma Seqüência de Produção**

Solucionar o seqüenciamento por meio da Heurística do Problema do Caixeiro Viajante (para isto o software STORM 3.0 vai ser de utilidade).

Então, para cada produto  $i$ , definem-se  $[H/T_i]$  nós.

$v_{i1}; v_{i2}, \dots, v_{i[H/T_i]}$

A matriz  $K_{ij}$  vai virar uma matriz quadrada de ordem  $\sum_f \sum v_{if}$ , onde  $f=1,2,\dots,[H/T_i]$ . Completa-se a matriz  $K_{ij}$  com os valores que correspondam a cada  $v_{if}$ , e os custos entre nós que sejam do mesmo produto  $i$  vai ser igual a  $M$  (um número suficientemente grande).

**Passo 4: Verificar a convergência**

Se este passo tiver sido executado mais do que ITER vezes, ou a seqüência gerada no Passo 3 é a mesma da solução imediatamente anterior, ir para o Passo 5.

Caso contrário, calcular novos valores de  $A_i$ , como as médias dos  $K_{ij}$  que precedem a "i" na seqüência obtida do caixeiro viajante achada no Passo 3.

**Passo 5: Desenvolver uma seqüência de Produção Inicial**

Seja:  $n_i = H/T_i$  para  $i = 1,2,\dots,N$ ; as freqüências de produção para cada produto (número de vezes que se produzirá  $i$  no período  $H$ ).

Seja:  $\tau_i = \rho_i.H/n_i$  Tempo de corrida de produção dos lotes "i's" no período  $H$ .

Ordenar os produtos decrescentemente segundo "n<sub>i</sub>", e decrescentemente por  $\tau_i$  em caso de empates.

Seja  $n_{\max} = \max_i n_i$ . Formar  $n_{\max}$  seqüências parciais de *setups*, designando os trabalhos em ordem ascendente de "i", da seguinte maneira:

Seja  $l_j$  o tempo total de corrida de produção dos lotes designados à seqüência parcial  $j$ . Os produtos com  $n_i = n_{\max}$  são programados em todas as seqüências  $j$ 's.

Para designar os seguintes trabalhos  $i$ 's, escolhe-se o  $j_{\min}$  tal que  $l_{j_{\min}} = \min_j l_j$ . O primeiro lote do produto  $i$  é designado para a seqüência  $Q = j_{\min} - K \cdot n_{\max}/n_i$ , onde  $K$  é o maior inteiro positivo tal que  $Q > 0$ . Os outros  $n_i - 1$  lotes são designados às seqüências  $Q + n_{\max}/n_i, Q + 2 \cdot n_{\max}/n_i, \dots$ . Inicialmente os  $l_{j_{\min}}$  são iguais e quando se tiver empates, se designa para  $l_{j_{\min}}$  o valor do maior  $j$  possível. Forma-se um programa fazendo que as  $n_{\max}$  seqüências sejam produzidas uma depois da outra. Este programa é factível porque os tempos totais das corridas de produção são menores que o tempo do horizonte de planejamento  $H$ .

**Passo 6: Resseqüenciar as seqüências parciais para reduzir o custo total de *setup***

Utilizando-se a lógica do caixeiro viajante, resseqüenciar as seqüências parciais e logo juntá-las para formar o programa (de forma similar à usada por Haessler (1979)). Nesta altura, já definida a seqüência final, pode-se utilizar os tempos de *setup* variáveis, e não os constantes com que se calculou "PROD" no Passo 2.

**Passo 7: Ajustar os tempos de corridas segundo a regra de "Iniciar em Zero".**

Ajustam-se os tempos de corridas dos lotes programadas de acordo com a regra de "Iniciar em Zero". Para isto, emprega-se a formulação realizada por Delporte & Thomas (1977), que considera duas variáveis: os tempos de corridas e os tempos ociosos (esta formulação foi descrita no Capítulo 2).

Modificações realizadas no Algoritmo Original de Singh & Foster

➤ No Passo 0, para agilizar a inicialização se fez  $K_{ii} = M$  (um número muito grande) em lugar de  $K_{ii} = \max_j (K_{ji} + K_{ij})$ . Ambos os casos resultam igualmente úteis, só que a primeira expressão é mais rapidamente implementada.

➤ No passo 3, os autores propõem uma heurística para solucionar o caixeiro viajante, só que é uma heurística de solução inicial. Em lugar disto, utiliza-se o Software STORM 3.0 para solucionar este problema. Igualmente, para ordenar as seqüências parciais no passo 6, este software é requerido.

➤ No passo 6, os autores não são muito claros com respeito ao ressequenciamento. Preferiu-se empregar o método de Haessler (1979) que é muito prático. Outra modificação importante é com respeito aos tempos de *setup*. Originalmente, para poder utilizar a heurística consideraram-se tempos de *setup* constantes (que viria a ser uma média das distintas possibilidades que se tem de *setups* para um produto); mas como agora a seqüência já é conhecida pode se substituir estes valores pelos *setups* que correspondem à ordem estabelecida.

➤ No passo 7, considera-se a possibilidade de haver tempos ociosos, que a formulação original do algoritmo não contempla. Para isto teve-se que empregar a formulação feita por Delporte & Thomas (1977). A inclusão de tempos ociosos é uma necessidade porque em muitos casos o PROD calculado no passo 2 não é exatamente igual ao horizonte do planejamento H. Por outro lado, ao considerar tempos de *setup* dependentes da seqüência de produção no passo 6, o PROD calculado inicialmente vai sofrer leves modificações. Por conseguinte, vai se achar que sempre haverá uma folga de diferença entre o PROD e o H, que seria um tempo ocioso. A formulação de Delporte & Thomas (1977) permite distribuir dentro da seqüência o tempo ocioso na melhor posição.

### **3.3. Apresentação e Descrição do Estudo de Caso**

A seguir apresenta-se o estudo de caso que será motivo de análise na presente dissertação. O problema provém de uma empresa produtora de refrigerantes no Peru, a qual forneceu a informação pertinente. A pedido da empresa, seu nome não será divulgado, assim como qualquer outra informação que possa conduzir à sua identificação.

#### **3.3.1. As linhas de produção**

Existem na fábrica duas linhas principais:

- A linha que produz refrigerantes com garrafa de vidro. Denomina-se como “Linha 1”.

- A linha que produz refrigerantes com garrafa de Poli-etileno-tareftalato (PET ou também chamada garrafa plástica). Denomina-se como “Linha 2”.

Ambas as linhas são independentes uma da outra. O planejamento da produção se realiza, portanto, separadamente. Mas existem recursos que as duas linhas compartilham tais como:

- Pessoal de produção (que não é exclusivo de uma só linha)
- Matérias-Primas
- Insumos diversos, etc.

A análise se centrará na linha que produz refrigerantes com garrafa de vidro, pelos seguintes motivos:

- Esta linha é considerada pela empresa como a mais importante. Suas vendas são aproximadamente 68% do total.

- A metodologia de solução que se desenvolve pode ser adaptada à realidade da linha que produz refrigerantes em garrafa PET, visto que as duas linhas trabalham quase independentemente. Aliás, a dissertação não tem por objetivo solucionar o problema particular da empresa (que implicaria considerar variáveis e restrições que se apresentam somente lá) senão, pretende-se mostrar uma metodologia que possa ser implementada para outras linhas que guardem características semelhantes à linha 1, que seria tomada como modelo. Em uma mesma empresa podem existir diversas destas linhas, cada uma delas merecendo um tratamento à parte.

- Toma-se como premissa o fato que, embora existam recursos compartilhados nas diferentes linhas, isto não faz com que a programação da produção em uma linha dependa uma da outra. Aquilo implicaria adicionar mais uma restrição ao problema, que não é característica comum em todas as empresas que desenvolvem seus processos produtivos em uma só linha. Para o caso da empresa de refrigerantes, em determinadas situações não é possível fazer a programação da linha 1 independente da linha 2; por exemplo, ao produzir nas duas linhas simultaneamente dois produtos de volume grande (2 litros), a disponibilidade de água seria o principal impedimento. Mas este é um caso muito particular da empresa que não vale a pena analisar, porque teoricamente o planejamento da produção contempla a satisfação total das necessidades de insumos e matérias-primas uma vez elaborado o programa de produção através de um sistema eficiente de MRP (*Material Requirements Planning*). Para conseguir uma eficiência produtiva ótima, a empresa precisa primeiramente solucionar seus impasses em questões de falta de recursos ou meios para garantir o oportuno abastecimento às linhas produtivas.

A Tabela 3.1 resume as velocidades de produção da Enchedora Meyer 60/10, que é quem determina o ritmo de produção da Linha 1. A sigla 60/10

significa que a Enchedora tem 60 válvulas e 10 coroadoras. Cada válvula enche uma garrafa por vez e logo é colocada a tampa por uma das 10 coroadoras.

Tabela 3.1 - Velocidades da Linha 1 – Enchedora Meyer 60/10

<b>Tamanho</b>	<b>Volume (Litros)</b>	<b>Volume (Onças)</b>	<b>Velocidade Nominal (GPM)*</b>	<b>Velocidade Real (GPM)</b>
Pessoal	0,2370	8	400	350
Médio	0,2957	10	400	320
Litro	1,0000	33	180	150

FONTE: Empresa de Refrigerantes

\*GPM: Garrafas por Minuto

As velocidades se expressam em unidades GPM (Garrafas por Minuto). Chama-se de Velocidade Nominal à velocidade máxima teórica sugerida pelo fabricante para o enchimento dos formatos especificados. Na prática se trabalha com a Velocidade Real estabelecida pela empresa, que garante um bom desempenho e precisão na operação de enchimento.

A partir deste ponto, toda informação que se exporá é relacionada somente com a Linha 1.

### **3.3.2. Descrição do processo produtivo na Linha**

#### **3.3.2.1. Translado das garrafas**

A Produção de Refrigerantes começa com o translado das garrafas de vidro vazias (suja em primeiro lugar e em seguida novas se faltarem garrafas para produção) à linha de produção, por meio de empilhadeiras. Com exceção das novas, as garrafas se encontram em suas respectivas caixas de plástico formando “*pallets*” que são conjunto de caixas de um mesmo formato, agrupadas para facilitar a movimentação das mesmas. Na Tabela 3.2 observa-se como estão constituídos os *pallets*.

Tabela 3.2 - Formação dos *Pallets*

<b>Tamanho</b>	<b>Volume (Litros)</b>	<b>Caixas / <i>Pallet</i></b>	<b>Garrafas / Caixa</b>
Pessoal	0,2370	54	24
Médio	0,2957	60	24
Litro	1,0000	40	12

FONTE: Elaboração Própria

No caso de garrafa nova, estas também formam *pallets*, mas sem as caixas de plástico.

O motorista da empilhadeira leva durante a produção os *pallets* que sejam necessários.

### **3.3.2.2. Despalletização**

Logo que o motorista deixa os *pallets* ao início da linha de produção, os operários prosseguem a retirar as caixas do *pallet* e as colocam uma por uma na esteira transportadora que as leva para o desencaixotador.

### **3.3.2.3. Desencaixotamento**

Operação pela qual se tiram as garrafas das caixas para que possam ser lavadas. O desencaixotador retira em média 350 garrafas por minuto e está sob o controle de um operário. As garrafas são colocadas na esteira transportadora que as leva à próxima estação.

### **3.3.2.4. Pré-inspeção de garrafas**

As garrafas que foram desencaixotadas são inspecionadas sob a luz de uma lâmpada fluorescente na tela de pré-inspeção. Enquanto as garrafas passam por esta tela movimentadas pela esteira transportadora os inspetores (operários) retiram as garrafas que tenham defeitos objetáveis corrigíveis (garrafas com presença de substâncias que pudessem contaminar a solução de lavado e que só podem ser removidas mediante lavagem manual, por exemplo,

papeis, canudos, terra grudada, etc.) para logo enviá-las a serem lavadas por operários. Também devem ser retiradas as garrafas com defeitos objetáveis não corrigíveis, as quais nunca mais poderão ser utilizadas na produção (por exemplo, garrafas com rachaduras, quebras, com muito desgaste exterior, ou com sujeira impossível de remover: tinta, petróleo, cimento, etc.).

### 3.3.2.5. Lavagem

As garrafas que passaram a pré-inspeção vão para a máquina lavadora Austral, a qual lava as garrafas com um ritmo que depende do formato. A tabela 3.3 mostra as velocidades de lavagem.

Tabela 3.3 - Tempo e Velocidade do Lavado

<b>Tamanho</b>	<b>Volume (Litros)</b>	<b>Tempo de lavagem (min)</b>	<b>Velocidade (GPM)</b>
Pessoal	0,2370	17	320
Médio	0,2957	17	200
Litro	1,0000	22	200

FONTE: Elaboração Própria

### 3.3.2.6. Inspeção de garrafas lavadas

É a inspeção visual das garrafas que saem da lavadora, de uma maneira similar à pré-inspeção de garrafas. Enquanto as garrafas passam pela esteira transportadora, retiram-se aquelas que tenham defeitos objetáveis recuperáveis (possíveis de correção, tal como garrafas mal lavadas) e com defeitos objetáveis não recuperáveis (que não são possíveis de serem corrigidas, tais como garrafas com defeitos de fabricação, com rachaduras ou quebras).

### 3.3.2.7. Enchimento

Havendo previamente produzido, em um ambiente contíguo à linha de produção, o xarope da bebida (que dá o sabor) e a água purificada (componentes principais do refrigerante obtidos por outros processos

produtivos), estes são transportados a uma máquina chamada proporcionador, onde se realiza a mistura em três recipientes: Água, Xarope e Mistura, com duas bombas de recirculação, uma para a água e a outra para o xarope, obtendo-se assim a Bebida Simples. Esta mistura (bebida simples) é transportada por uma máquina denominada Carbocooler (carbo-resfriador) que gaseifica a bebida simples em baixa temperatura. Esta máquina é do tipo trocador de placas inundado com o resfriador amoníaco. O resultado disto é a bebida refrigerante pronta propriamente dita.

Esta bebida é transportada à Enchedora Meyer 60/10 para o respectivo enchimento das garrafas lavadas que entram através da esteira transportadora para esta máquina.

### **3.3.2.8. Coroação**

Imediatamente depois do enchimento das garrafas com bebida, o Coroador coloca as tampas nelas, deixando-as praticamente prontas para serem consumidas.

### **3.3.2.9. Codificação**

Realiza-se com uma máquina codificadora que tem um funcionamento similar de uma impressão por injeção à tinta. O objetivo de esta operação é deixar impressa a data de vencimento da bebida para poder ser comercializada.

### **3.3.2.10. Inspeção de Produto Terminado**

É a inspeção visual das garrafas cheias, realizada de maneira similar à pré-inspeção de garrafas. Neste estágio podem ser rejeitados certos produtos terminados. As rejeições se classificam em recuperáveis e não recuperáveis. As rejeições recuperáveis consistem de produtos terminados que podem ser consumidos, mas não comercializados, por exemplo, produtos com a codificação defeituosa, com o nível de enchimento fora das especificações, a tampa mal colocada ou com a tampa de diferente produto, etc. As rejeições não recuperáveis são produtos que definitivamente devem ser eliminados, tais como produtos que contenham substâncias estranhas.

### 3.3.2.11. Encaixotamento

As garrafas se transportam para a máquina encaixotadora, que pega as garrafas que saem da estação de inspeção de Produto Terminado pela esteira transportadora, e as coloca em suas respectivas caixas, enviando-as logo para a palletização. Esta operação está sob o controle de um operador que confere que as caixas fiquem com todas as garrafas completas.

### 3.3.2.12. Palletização

A formação de *pallets* se realiza manualmente, e a quantidade de caixas por *pallet* é de acordo com o formato, conforme especificado na Tabela 3.2.

### 3.3.2.13. Armazenamento

Uma vez formados os *pallets*, estes são transportados pelas empilhadeiras para o armazém de produtos terminados. Neste armazém são classificados os produtos segundo tipo e data de fabricação. Este armazém trabalha em um sistema de rotação FIFO (os primeiros a entrar são os primeiros a sair) visto que se manipulam produtos medianamente perecíveis.

### 3.3.3. Sabores e Formatos

Na tabela 3.4, observam-se os sabores e formatos dos diferentes produtos.

Tabela 3.4 - Sabores e Formatos da Linha 1

<b>SABOR \ FORMATO</b>	<b>0,237 lit.</b>	<b>0,296 lit.</b>	<b>1,000 lit.</b>	<b>TOTAL</b>
AF1	X	X	X	3
AF2		X	X	2
AF3	X		X	2
BP1		X		1

FONTE: Empresa de Refrigerantes

### 3.3.4. Demanda dos Produtos

Contar com um cálculo certo da demanda para períodos relativamente longos é um dos maiores problemas que enfrenta a empresa de refrigerantes, e talvez quase todas as empresas na atualidade. Tal incerteza é originada pelos seguintes fatos:

- Existe uma alta sazonalidade na venda dos refrigerantes em geral. No Peru, os meses com as maiores vendas são os meses de verão: Janeiro, Fevereiro, Março; e os meses de Julho (festas pátrias), Agosto (férias de meio ano) e Dezembro (Natal e festas de fim de ano). O único que se pode saber mais ou menos com certeza é que as vendas nesses meses serão maiores que nos outros, mas entre um ano e outro naqueles mesmos meses existem grandes diferenças por fatores externos e internos.

- Entre os fatores externos que influenciam a demanda podem-se citar o poder aquisitivo do mercado e a ação dos concorrentes. No Peru o preço dos refrigerantes em relação a outros substitutos como refrescos, águas, sucos, etc., é algo maior. Portanto, a recessão econômica que enfrenta o país desde alguns anos atrás ocasionou que o mercado que possui a indústria dos refrigerantes se veja diminuindo ano a ano e crescendo os substitutos. Ampliar o mercado é uma dura tarefa e somado às ações dos concorrentes se torna cada vez mais complicado. Com respeito à concorrência, mesmo com o mercado em recessão, pode-se encontrar uma grande diversidade de produtos, tamanhos e marcas, com preços que se vêm forçados a diminuir para poder vender. A guerra de preços é uma das técnicas preferidas pela concorrência. Mas, ainda antes de se desatar esta guerra de preços, a indústria de refrigerantes teve que reduzir seus preços pela queda da demanda interna. É evidente então que as indústrias de bebidas refrigerantes têm que suprir esta escassa margem de utilidade com altos volumes de produção.

- Entre os fatores internos, podem-se citar como relevantes: as promoções que realiza a área de Marketing, a produção de novos produtos e a retirada de outros. As promoções não são programadas com a devida antecipação, elas surgem por alguma necessidade de chegar a uma quantidade mínima de vendas; estas consistem em estimular a compra do produto através de um incentivo como um possível prêmio ou sorteio. O principal problema das promoções é que não se sabe, até mesmo estar em curso, se teve o sucesso que se esperava. Às vezes a concorrência tira uma melhor promoção nesse

momento, e as previsões que se tinham têm que se deixar de lado. Portanto, a área de produção só pode contar com previsões regularmente boas para poucos dias.

Com relação aos novos produtos, tem-se apresentado 8 tipos que se produzem na linha 1. No entanto, a gama de produtos que podem se produzir na fábrica é muito mais variada. Produção responde às demandas da área de vendas que juntamente com Marketing resolvem introduzir um novo produto no mercado ou relançar um anterior que foi retirado. Deve-se levar em conta que inicialmente se terá uma demanda alta deste produto visto que vai ser introduzido progressivamente em todo o mercado que cobre a empresa de refrigerantes. Após a introdução recém se saberá o grau de aceitação do novo produto. Não se pode saber desde um início quanto tempo durará a introdução do produto nem a demanda que logo terá uma vez colocado no mercado.

Com relação aos produtos a retirar o problema é ainda mais crítico para o planejamento da produção. Por questões estratégicas, numa determinada data o produto a ser retirado deve desaparecer do mercado. As vendas vão descendo progressivamente, e a programação da produção deve contemplar produzir a última corrida deste produto com muito cuidado, em vista que não se pode deixar sem produto ao mercado antes de tempo (o que representaria uma perda para empresa), mas também não se pode fazer uma sobre-produção que não possa ser esgotada no prazo indicado.

Tudo o que se expôs a respeito da demanda é simplesmente para descrever o alto grau de incerteza que existe neste tipo de indústrias. Para um longo prazo não é possível elaborar uma programação que não vai ter que ser modificada. É necessário então programar para um curto prazo e manter um controle constante e fazer as modificações pertinentes de uma maneira dinâmica.

Em vista de tudo isto, para o cálculo das taxas de demanda, se toma em consideração as demandas dos meses com mais altas demandas: Janeiro, Fevereiro, Março, Julho, Agosto e Dezembro. Ao elaborar um programa de produção com taxas de demandas altas, nos períodos de baixa demanda não se terá nenhum problema com respeito à capacidade de produção.

Na Tabela 3.5 se apresentam as demandas diárias médias (DDM) nos meses de maior consumo. A partir daquilo, calcula-se a “Taxa de Demanda” como uma média das DDM's.

Tabela 3.5 - Demanda Diária Média nos Meses Pico, e a Taxa de Demanda

* Produtos	Volume (Litros)	Garrafas /Caixa	Demanda Diária Média (DDM)										***Taxa de Demanda (Caixas Físicas /dia)	Desv. Padrão	**Coef. de Pearson
			Janeiro	Fevereiro	Março	Julho	Agosto	Dezembro							
AF1	0,237	24	2089	3206	2475	2543	3309	3169	2799	497,445	0,178				
AF1	0,296	24	251	117	138	130	174	140	158	49,180	0,311				
AF1	1,000	6	2184	1333	1517	1254	1235	1853	1563	381,529	0,244				
AF2	0,296	24	1483	1778	2161	2068	1339	1827	1776	320,285	0,180				
AF2	1,000	6	121	74	114	106	92	83	98	18,359	0,187				
AF3	0,237	24	811	924	943	837	614	1139	878	173,394	0,197				
AF3	1,000	6	74	107	169	163	183	168	144	43,248	0,300				
BP1	0,296	24	1443	1013	958	714	579	1492	1033	372,205	0,360				
<b>TOTAIS</b>			8456	8552	8475	7815	7525	9871	8449						

FONTE: Empresa de Refrigerantes

\* Se mantém em reserva o nome verdadeiro dos produtos.

\*\* O Coeficiente de Pearson é o quociente entre o Desvio Padrão e a Média

\*\*\* A Taxa de Demanda é uma média das DDM's

Para confirmar as asseverações feitas, mostra-se aqui o “Coeficiente de variação de Pearson”, que é o quociente entre o Desvio Padrão e a Média. Este é um parâmetro adimensional que permite comparar séries de distintas médias.

O interesse deste coeficiente de variação é que ao ser um quociente permite comparar o nível de dispersão de duas ou mais amostras, independentemente dos valores que contenham. Isto não acontece com o desvio padrão, posto que vem expresso nas mesmas unidades que os dados da série.

Observa-se, portanto uma ampla dispersão do desvio padrão em relação à média nos diferentes produtos vistos de uma maneira independente da quantidade de demanda que apresentam. Os valores oscilam entre 18 % e 36 %; então, assumindo uma distribuição normal dos valores da demanda, com 2 desvios padrões (entre  $\pm 36\%$  e  $\pm 72\%$  da média respectivamente) se encontra com uma probabilidade de 95% que os valores da demanda cairiam naquela faixa, por certo uma ampla faixa.

Portanto, a idéia de calcular a taxa de demanda à partir das demandas médias nos meses de maior consumo durante o ano, tem validade. Ao conseguir elaborar um plano de produção com estes valores médios, em grande medida se pode ter a certeza que se deixa folga suficiente para os meses em que a demanda cair. Por outro lado, ao estar em um mês de demanda pico, as demandas dos produtos oscilarão simultaneamente positiva e negativamente, subindo em uns e descendo em outros, o que poderia relativamente manter um equilíbrio da demanda total. Mas é preciso contar com uma capacidade instalada inativa que possa entrar em funcionamento em casos que as demandas dos produtos excedam a capacidade atual de produção.

### **3.3.5. Taxa de Produção**

Para o cálculo das taxas de produção, se levaram em conta as seguintes premissas:

- O ritmo de produção, ou a velocidade de saída dos produtos, está determinado pela velocidade de enchimento da Enchedora Meyer 60/10.
- Trabalha-se em produção 12 horas por dia. Normalmente se conta com dois turnos de trabalho de 8 horas cada. As quatro horas que não produz o segundo turno são dedicadas para trabalhos de limpeza e saneamento da linha (tem-se que considerar que como se trata de uma indústria de bebidas

refrigerantes, as exigências de manter um ambiente limpo e esterilizado são máximas).

Na Tabela 3.6 se detalha o cálculo das taxas de produção.

Tabela 3.6 - Cálculo das Taxas de Produção

Produtos	Volume (Litros)	Garraf./ CF*	Vel. (GPM)	CF/hora	Horas / dia	Taxa de Produção CF/ dia
AF1	0,237	24	350	875	12	10500
AF1	0,296	24	320	800	12	9600
AF1	1,000	6	150	1500	12	18000
AF2	0,296	24	320	800	12	9600
AF2	1,000	6	150	1500	12	18000
AF3	0,237	24	350	875	12	10500
AF3	1,000	6	150	1500	12	18000
BP1	0,296	24	320	800	12	9600

FONTE: Empresa de Refrigerantes.

\* CF é a abreviatura de Caixas Físicas.

### 3.3.6. Os Tempos de *Setup*

Os tempos de *setup* se encontram em função de diferentes fatores que determinam se é conveniente que um determinado produto vá depois de ter produzido algum outro. Estes fatores são: o sabor da bebida e o formato. A seguir, se apresentam dois quadros que resumem o grau de desejabilidade dentro daqueles fatores. Observa-se que existem quatro níveis de desejabilidade:

- Desejável (D): Significa que esta mudança não ocasiona um grande trabalho à linha para poder-se adequar ao seguinte produto (seja por sabor ou formato).

- Não Desejável (N): Se for possível evitar esta mudança, pouparia um trabalho adicional que se realiza na linha.

- Indesejável (I): Recomenda-se evitar na medida do possível fazer esta mudança. O trabalho e tempo investidos são maiores que nos outros dois casos.

- Muito Indesejável (MI): Mudanças deste tipo envolvem um trabalho muito forte, envolvendo mais recursos.

Quadro 3.1 - Níveis de Desejabilidade em uma mudança de sabor

PARA DE	AF1	AF2	AF3	BP1
AF1	D	N	N	I
AF2	N	D	N	N
AF3	N	N	D	N
BP1	MI	I	I	D

FONTE: Elaboração Própria (D: Desejável, N: Não Desejável, MI: Muito Indesejável)

Quadro 3.2 - Níveis de Desejabilidade em uma mudança de formato

PARA DE	Pessoal	Médio	Litro
Pessoal	D	N	I
Médio	N	D	N
Litro	I	N	D

FONTE: Elaboração Própria (D: Desejável, N: Não Desejável, MI: Muito Indesejável)

#### Análise dos Quadros 3.1 e 3.2

- É totalmente Desejável (D) fazer mudanças que não impliquem trocar de sabor ou de formato.

- Mudar do sabor BP1 à AF1 é muito indesejável, e não caso vice-versa, é só indesejável. Os sabores destes produtos são bastante fortes, e passar de um para o outro implica trabalhos não só na linha de produção, senão também se requer pessoal disponível para fazer uma adequada limpeza aos condutos que transportam o xarope.

- No caso dos formatos, se considera indesejável passar de um formato pessoal a um litro e vice-versa. A só mudança de formato deste tipo faz com que se tenham que fazer ajustes consideráveis em diferentes partes da linha. Por exemplo, modificar a largura das esteiras transportadoras, trocar acessórios de quase todos os equipamentos: encaixotadora, desencaixotadora, lavadora, enchedora, etc. O trabalho é demorado, portanto deve-se evitar fazer mudanças deste tipo.

Logo depois de analisados os graus de desejabilidade, se podem atribuir os tempos respectivos que levariam as mudanças. As tabelas 3.6 e 3.7 detalham o tempo médio para isto.

Tabela 3.7 - Tempos de Mudanças de Sabores (minutos)

<b>DE \ PARA</b>	<b>AF1</b>	<b>AF2</b>	<b>AF3</b>	<b>BP1</b>
<b>AF1</b>	0	50	50	60
<b>AF2</b>	45	0	45	45
<b>AF3</b>	45	45	0	45
<b>BP1</b>	70	60	60	0

FONTE: Elaboração Própria

Tabela 3.8 - Tempos de Mudanças de Formatos (minutos)

<b>DE \ PARA</b>	<b>Pessoal</b>	<b>Médio</b>	<b>Litro</b>
<b>Pessoal</b>	0	30	40
<b>Médio</b>	30	0	30
<b>Litro</b>	40	30	0

FONTE: Elaboração Própria

A partir das tabelas 3.7 e 3.8 pode-se derivar a tabela 3.9 que mostra o tempo que demora passar entre cada um dos produtos. Observa-se que em todos os casos as mudanças de sabor tomam maior tempo que as mudanças de formato. Portanto, se a mudança de produto considera o sabor, deve-se considerar os valores da tabela 3.7 (tempos entre sabores) independentemente de se o formato é trocado ou não. Os tempos na mudança de sabor são sempre maiores que qualquer tempo na mudança de formato que houver. A diferença estaria na carga de trabalho no pessoal de produção. Agora, se não existir mudança de sabor e só houver de formato, prevalecerão os valores da tabela 3.8 (tempos entre formatos).

Tabela 3.9 - Tempos de Mudança na Linha (minutos) – Tempo de *Setup*

A DE	AF1- 0237	AF1- 0296	AF1- 1000	AF2- 0296	AF2- 1000	AF3- 0237	AF3- 1000	BP1- 0296
AF1-0237	0	30	40	50	50	50	50	60
AF1-0296	30	0	30	50	50	50	50	60
AF1-1000	40	30	0	50	50	50	50	60
AF2-0296	45	45	45	0	30	45	45	45
AF2-1000	45	45	45	30	0	45	45	45
AF3-0237	45	45	45	45	45	0	40	45
AF3-1000	45	45	45	45	45	40	0	45
BP1-0296	70	70	70	60	60	60	60	0
Média Tempo <i>Setup</i>	46	44	46	47	47	49	49	51
Mínimo Tempo <i>Setup</i>	30	30	30	30	30	40	40	45

FONTE: Elaboração Própria

### 3.3.7. Os custos de *Setup*

Os custos de *setup*, também conhecidos como os custos de preparação da linha de produção, para o caso da empresa de refrigerantes, estão em função do tempo de *setup*. Isto significa que quanto maior for o tempo que se empregue na mudança de linha de um produto para outro, maior será o custo de *setup*. Faz-se esta consideração em vista que se opera geralmente à plena capacidade (dentro das 12 horas de trabalho); perder uma hora dentro do horário de trabalho representa um custo para empresa: o salário para os trabalhadores é pago pelas 12 horas, e o custo de máquina parada é tomado em conta pela contabilidade da empresa. A respeito deste último ponto, a empresa considera que este custo só poderá ser medido como o custo de oportunidade dos produtos que se deixam de produzir em esse tempo. Este custo de oportunidade representa o lucro perdido por não ter produzido uma quantidade “X” de produto que poderia ter sido vendido. Então o problema consiste em encontrar um valor médio de lucro perdido por unidade de tempo, e assim, sabendo o tempo que envolve algum *setup*, rapidamente possa ser designado um custo para ele.

Na tabela 3.10 mostra-se como se faz o cálculo do lucro médio perdido. Para começar, é um lucro ponderado que resulta de ponderar o lucro por minuto

de cada produto por sua respectiva participação na demanda total. Obtém-se que custa 9,19 soles peruanos (S/.) cada minuto que se deixa de produzir (seja o produto que for, em vista que este valor foi ponderado em função da quantidade de demanda para cada produto).

Descrevendo cada uma das colunas da tabela 3.10:

- Preço de venda (S/.) da CF: Representa o preço ao qual se vende cada Caixa Física de um produto aos distribuidores.

- Preço (S/.) do litro de bebida (+IGV): Conhecendo a quantidade de garrafas que contém cada caixa física e o volume em litros do seu conteúdo, pode-se transformar o preço de venda para que esteja em função do volume em lugar de caixa física. Neste preço de venda está incluído o imposto chamado IGV.

- IGV (18%): O denominado Imposto Geral às Vendas. Cada transação de venda é gravada por este imposto que representa 18% do valor da venda total. Mostra-se a quantia que tem que ser direcionada por este conceito ao governo.

- ISC (17%): O Imposto Seletivo ao Consumo (ISC) é um tributo de natureza indireta que recai sobre o consumo de bens específicos, especialmente aqueles produtos com altos volumes de venda, ofertados por poucos produtores e possuidores de uma demanda relativamente inelástica. Os refrigerantes são gravados por este imposto que se aplica antes do IGV, em 17% do valor de venda líquida.

- Ingressos Líquidos por litro de bebida (S/.): Após pagar todos os impostos correspondentes, esta coluna indica a quantidade de dinheiro líquido que ingressa à empresa.

- Custo de produção do litro de bebida (S/.): Estes valores foram calculados pela contabilidade da empresa, e inclui nele todos os custos incorridos na produção de uma determinada bebida.

- Ingressos Líquidos (S/.) por CF e Custo (S/.) por CF: As duas anteriores colunas são transformadas a estas unidades.

- Lucro / CF (S/.): Vem a ser a diferença entre os Ingressos por caixa física e os custos por caixa física.

- CF / hora: Representa a taxa de produção de cada produto medido em caixas físicas por hora.

Tabela 3.10 - Cálculo do Lucro Médio Ponderado (S/. por minuto)

Produtos.	V. (L)	Gar. / Caixa	Preço de venda (S/.) da CF	Preço (S/.) do litro de bebida (+IGV)	*IGV 18%	**ISC 17% (gravado antes do IGV)	Ingressos Líquidos por litro de bebida (S/.)	Custo de produção do litro de bebida (S/.)	Ingressos Líquidos (S/.) por CF	Custo (S/.) por CF	Lucro / CF (S/.)	CF / hora	Lucro / min	Demanda / dia	Lucro ponderado (S/.) / min
AF1	0,237	24	10,20	1,79	0,27	0,22	1,30	1,22	7,39	6,94	0,45	875	6,54	2799	2,17
AF1	0,296	24	14,20	2,00	0,31	0,25	1,45	1,22	10,29	8,66	1,63	800	21,70	158	0,41
AF1	1,000	6	10,20	1,70	0,26	0,21	1,23	1,22	7,39	7,32	0,07	1500	1,70	1563	0,31
AF2	0,296	24	14,20	2,00	0,31	0,25	1,45	1,20	10,29	8,52	1,77	800	23,59	1776	4,96
AF2	1,000	6	10,20	1,70	0,26	0,21	1,23	1,20	7,39	7,20	0,19	1500	4,70	98	0,05
AF3	0,237	24	10,20	1,79	0,27	0,22	1,30	1,20	7,39	6,83	0,56	875	8,20	878	0,85
AF3	1,000	6	10,20	1,70	0,26	0,21	1,23	1,20	7,39	7,20	0,19	1500	4,70	144	0,08
BP1	0,296	24	10,20	1,44	0,22	0,18	1,04	1,01	7,39	7,17	0,22	800	2,94	1033	0,36
														8449	9,19

FONTE: Empresa de Refrigerantes

\*IGV: Imposto Geral às Vendas

\*\*ISC: Imposto Seletivo ao Consumo

• Lucro / min: Conhecendo o lucro por cada caixa física produzida, e quantas caixas físicas saem por hora, por simples relação obtém-se o lucro que se ganha por cada minuto de produção em cada produto.

• Demanda / dia: A taxa de demanda, utilizada simplesmente para ponderar uma média do lucro por minuto que seja representativo de todos os produtos.

• Lucro ponderado (S/.) / min: Multiplicando a coluna Lucro / min, pela porcentagem que cada demanda representa do total, e logo somando tudo isto, obtém-se uma média do lucro que a linha gera por cada minuto que produz: 9,19 soles. Por tanto, cada minuto que não se produz está custando em média este valor.

O próximo estágio vem a ser o cálculo dos custos de *setup* entre os oito produtos que se estão avaliando. É simplesmente multiplicar o tempo de *setup* pelo custo por minuto encontrado. A tabela 3.11 apresenta os resultados desta operação; a matriz obtida é a denominada por Singh & Foster (1987) como a matriz  $K_{ij}$  de custos de *setup*.

Tabela 3.11 - Custo de Mudança na Linha entre os Produtos (S/.: Soles Peruanos) – Matriz  $K_{ij}$  de Custos de *Setup*

DE \ A	AF1-0237	AF1-0296	AF1-1000	AF2-0296	AF2-1000	AF3-0237	AF3-1000	BP1-0296
AF1-0237	0	276	368	460	460	460	460	552
AF1-0296	276	0	276	460	460	460	460	552
AF1-1000	368	276	0	460	460	460	460	552
AF2-0296	414	414	414	0	276	414	414	414
AF2-1000	414	414	414	276	0	414	414	414
AF3-0237	414	414	414	414	414	0	368	414
AF3-1000	414	414	414	414	414	368	0	414
BP1-0296	644	644	644	552	552	552	552	0
Média Custo <i>Setup</i>	421	407	421	434	434	447	447	473
Mínimo Custo <i>Setup</i>	276	276	276	276	276	368	368	414

FONTE: Elaboração Própria

### 3.3.8. Custo de Manutenção de Estoque

O custo de Manutenção de Estoque é o custo que representa para a empresa manter inventário de um produto no armazém. Algumas empresas o consideram como um custo de oportunidade de capital. Em lugar de ter esse valor de dinheiro em inventário aguardando para ser vendido, poderia ser investido em algo que gere lucros, como o pagamento de juros por entidades financeiras.

A empresa calcula um valor de aproximadamente 6,05% do custo da caixa física que se gasta na manutenção do estoque. A tabela 3.12 mostra os valores deste custo para cada produto.

Fazendo uma análise sobre a porcentagem estabelecida, aparentemente é bastante alta. O fato de ser elevada se deve a diferentes fatores:

- Os refrigerantes em garrafa de vidro merecem uma cuidadosa manipulação dentro do armazém. As técnicas de armazenamento e movimentação dos produtos dentro das instalações seguem padrões rígidos que fazem do trabalho no armazém uma tarefa que envolve pessoal treinado e empilhadeiras sempre em boas condições operativas.

- Ao se tratar de produtos para o consumo massivo, efetua-se uma constante limpeza e desinfecção de todas as instalações.

- Os acidentes na manipulação das bebidas pelas empilhadeiras são quase inevitáveis. Embora o estrago dos produtos terminados por este conceito seja mínimo, sempre deve ser um custo a tomar em conta.

- Contabilidade inclui na porcentagem o custo médio da garrafa de vidro. Aproximadamente cerca de 2% é por este conceito.

- O trabalho de carga para os veículos que distribuem a bebida na localidade e para outras cidades é um custo atribuído ao armazém. Existe pessoal especialmente dedicado a esta tarefa com empilhadeiras a sua disposição. O fato de checar atenciosamente a carga e adaptá-la à forma do caminhão já são por si atividades demoradas. O armazém trabalha vinte-e-quatro horas por dia.

Tabela 3.12 - Custo de manutenção de estoque

Produtos	Custo (S/.) por Caixa Física	% diário de gastos de estocagem (6,05 % dia)	Custo de manutenção de estoque [S/./(CF*dia)]
AF1-0237	6,94	6,05%	0,41983
AF1-0296	8,66	6,05%	0,52381
AF1-1000	7,32	6,05%	0,44286
AF2-0296	8,52	6,05%	0,51523
AF2-1000	7,20	6,05%	0,43560
AF3-0237	6,83	6,05%	0,41295
AF3-1000	7,20	6,05%	0,43560
BP1-0296	7,17	6,05%	0,43365

FONTE: Empresa de Refrigerantes

### 3.3.9. O Horizonte de Planejamento

O Horizonte de Planejamento (H) que se considerou para a análise do estudo de caso apresentado é de 6 dias, devido aos seguintes motivos:

- Uma semana de trabalho consta de seis dias de trabalho de 12 horas cada. As previsões do departamento de vendas sobre as expectativas de vendas são ao máximo para aquele período de tempo. É quase impossível poder prever para mais tempo, em vista da incerteza na demanda que se tem descrito no ponto 3.3.4.

- Os produtos refrigerantes apresentam uma alta rotação e portanto é melhor planejar para períodos curtos, e assim manter um equilíbrio no inventário.

- Resulta mais fácil realizar modificações no programa de produção dentro de uma semana. De fato, realizar-se-ão alterações ao programa concebido no início do período de 6 dias, mas este é um período apropriado que permite dentro dele poder adequar as possíveis mudanças na demanda. Aliás, na maioria dos casos não serão muito significantes as modificações em vista que a previsão da demanda para o período é bastante aproximada do real.