

4 Solução ao Problema

4.1. Estabelecendo os limites da Solução

Foram descritos no capítulo 2 os aspectos referidos à Programação IS (Programação Independente) e à Programação de Rotação Pura (RC). Embora as características do estudo de caso não permitem que o problema seja avaliado por estes métodos, sobretudo porque eles não tomam em conta os *setups* dependentes da seqüência, é possível realizar certas adaptações para poder empregá-los e assim poder definir os limites superior e inferior para as possíveis soluções que possam ser encontradas.

4.1.1. Cálculo do Limite inferior

Seguindo o sugerido por Singh & Foster (1987), para encontrar um limite inferior para o custo por unidade de tempo utiliza-se o $K_{\min}^i$:

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

Portanto, emprega-se este parâmetro nos cálculos da Programação IS como o custo de *setup*. De uma maneira similar se faz a adequação dos tempos de *setup*: trabalha-se com o mínimo tempo de *setup* $S_{\min}^i$. Os dados a serem processados ficam como se mostra na Tabela 4.1.

Com os dados apresentados na Tabela 4.1, é possível estabelecer o valor do Tempo de Ciclo e Quantidade a ser produzida para cada produto empregando a Programação IS (Solução Independente), resultados que são exibidos na Tabela 4.2.

Tabela 4.1 - Dados a serem processados pela Programação IS

	<i>Taxa Dem</i>	<i>Taxa Prod</i>	<i>Tempo Setup</i>	<i>Custo Setup</i>	<i>Custo Manter</i>	<i>Fat. Util.</i>
Produto	r_i	p_i	$s_i (S_{\min}^i)$	$A_i (K_{\min}^i)$	h_i	ρ_i
	(cf / dia)	(cf / dia)	(dias)	(S/.)	$[S/./(cf \cdot dia)]$	r_i / p_i
AF1-0237	2799	10500	0,04167	276	0,41983	0,2666
AF1-0296	158	9600	0,04167	276	0,52381	0,0165
AF1-1000	1563	18000	0,04167	276	0,44286	0,0868
AF2-0296	1776	9600	0,04167	276	0,51523	0,1850
AF2-1000	98	18000	0,04167	276	0,43560	0,0054
AF3-0237	878	10500	0,05556	368	0,41295	0,0836
AF3-1000	144	18000	0,05556	368	0,43560	0,0080
BP1-0296	1033	9600	0,06250	414	0,43365	0,1076
TOTAIS	8449	103800	0,38197	2530	3,61953	0,75953

FONTE: Elaboração Própria

Tabela 4.2 - Resultados da Programação Independente

Produto	T_i^*	$T_i^{\min}$	T_i^{IS}	C_i^{IS}	τ_i	σ_i (dias)	q_i (CF)	$\sum (*) \leq 1$
	Dias	dias	dias	S/. / dia	$(\rho_i \cdot T_i)$	$(s_i + \tau_i)$	$(r_i \cdot T_i)$	Factibili - dade
AF1-0237	0,80	0,057	0,80	689,74	0,213	0,255	2240	0,319
AF1-0296	2,60	0,042	2,60	211,97	0,043	0,085	411	0,032
AF1-1000	0,93	0,046	0,93	590,69	0,081	0,123	1461	0,131
AF2-0296	0,86	0,051	0,86	641,61	0,159	0,201	1528	0,233
AF2-1000	3,61	0,042	3,61	153,09	0,020	0,061	353	0,017
AF3-0237	1,49	0,061	1,49	494,51	0,124	0,180	1307	0,121
AF3-1000	3,44	0,056	3,44	214,00	0,028	0,083	495	0,024
BP1-0296	1,44	0,070	1,44	575,33	0,155	0,217	1487	0,151
TOTAIS	15,17	0,42	15,17	3570,94	0,82	1,20	9282,14	1,0291

FONTE: Elaboração Própria

* Factibilidade da Programação IS: $\sum_i \left(\frac{s_i}{T_i} + \rho_i \right) \leq 1$

A tabela 4.2 mostra o limite inferior do custo total por unidade de tempo (C^{IS}) calculado em S/. 3570.94 por dia.

A restrição de factibilidade está sendo violada, portanto, não é possível levar à prática esta programação. Mesmo que se consiga obter a factibilidade aplicando este procedimento, está-se considerando tempos e custos de *setup* mínimos que obviamente têm que ser mudados quando se estabelece uma seqüência.

O objetivo então de exibir a Programação IS foi simplesmente para saber que não é possível encontrar uma solução factível que tenha um custo inferior ao achado.

4.1.2. Cálculo do Limite Superior

O limite superior de toda programação factível está determinado pelos resultados da Programação de Rotação Pura (RC).

Com os dados que se tem, é possível estabelecer uma programação deste tipo. Mas previamente se deve estabelecer a seqüência que permita obter os menores custos de *setup*.

A figura 4.1 apresenta a seqüência determinada pelo software STORM 3.0.

BEST TRAVELING SALESPERSON'S TOUR FOUND		
----- Arc -----		
From Node	To Node	Arc Length
P1	P7	460.0000
P7	P6	368.0000
P6	P8	414.0000
P8	P5	552.0000
P5	P4	276.0000
P4	P3	414.0000
P3	P2	276.0000
P2	P1	276.0000
Length of tour = 3036.0000		

Figura 4.1 - Seqüência com o menor Custo de *Setup*

FONTE: Calculado com o software STORM 3.0

Uma vez estabelecida a ordem que devem seguir os produtos, os valores que tomarão os custos e tempos de *setup* estarão de acordo com a seqüência da Figura 4.1. A tabela 4.3 apresenta os dados a serem processados pela Programação de Rotação Pura, e a codificação dada aos produtos (P1...P8).

Tabela 4.3 - Dados a serem processados pela Programação RC

Cód	Produto	r_i	p_i	s_i	A_i	h_i	p_i
		(cf / dia)	(cf / dia)	(dias)	(S/.)	[S/./(cf*dia)]	r_i / p_i
(P1)	AF1-0237	2799	10500	0,04167	276	0,41983	0,2666
(P7)	AF3-1000	144	18000	0,06944	460	0,43560	0,0080
(P6)	AF3-0237	878	10500	0,05556	368	0,41295	0,0836
(P8)	BP1-0296	1033	9600	0,06250	414	0,43365	0,1076
(P5)	AF2-1000	98	18000	0,08333	552	0,43560	0,0054
(P4)	AF2-0296	1776	9600	0,04167	276	0,51523	0,1850
(P3)	AF1-1000	1563	18000	0,06250	414	0,44286	0,0868
(P2)	AF1-0296	158	9600	0,04167	276	0,52381	0,0165
TOTAIS		8449	103800	0,45834	3036	3,61953	0,75953

FONTE: Elaboração Própria

Na tabela 4.4 apresentam-se os resultados da programação RC.

Tabela 4.4 - Resultados da Programação de Rotação Pura

Produto	$h_i r_i (1-p_i)$	$H(T^{RC})$	C_i^{RC}	τ_i	σ_i (dias)	q_i (CF)	$\sum (*) \leq 1$
		dia	S/. / dia	$p_i \cdot T^{RC}$	$(s_i + \tau_i)$	$(r_i \cdot T^{RC})$	Factib.
(P1) AF1-0237	861,855	6,00	2631,56	1,599	1,641	16794	0,274
(P7) AF3-1000	62,225	6,00	263,34	0,048	0,117	864	0,020
(P6) AF3-0237	332,252	6,00	1058,09	0,502	0,557	5268	0,093
(P8) BP1-0296	399,758	6,00	1268,27	0,646	0,708	6198	0,118
(P5) AF2-1000	42,456	6,00	219,37	0,033	0,116	588	0,019
(P4) AF2-0296	745,765	6,00	2283,29	1,110	1,152	10656	0,192
(P3) AF1-1000	632,085	6,00	1965,25	0,521	0,584	9378	0,097
(P2) AF1-0296	81,400	6,00	290,20	0,099	0,140	948	0,023
TOTAIS	3157,79		9979,39	4,5572	5,016	50694	0,836

FONTE: Elaboração Própria

* Factibilidade da Programação IS: $\sum_i \left(\frac{s_i}{T_i} + \rho_i \right) \leq 1$

A tabela 4.4 mostra o limite superior do custo total por unidade de tempo (C^{RC}) calculado em S/. 9979.39 por dia.

A restrição de factibilidade não está sendo violada ($0,836 < 1$), portanto é possível levar à prática esta programação. Observa-se também que o tempo de ciclo (T^{RC}) é o período de planejamento H . Fez-se esta adequação em vista que se deseja planejar para uma semana de trabalho.

A Programação de ciclo Rotativo (RC) é a maneira mais simples de programar a produção, mas é claro que os custos ficaram bem mais caros que na Programação IS. Não é possível encontrar outra programação factível que tenha um custo maior.

4.2.

Aplicação do Método Heurístico de Solução

Antes de começar a desenvolver passo a passo o Algoritmo de solução apresentado no capítulo 3, é oportuno lembrar que este algoritmo considera os tempos de *setup* constantes. No caso em estudo não é assim; portanto, inicialmente, vai-se levar em conta a média dos tempos de *setup* para cada produto. Estes valores podem ser apreciados na tabela 3.9, expressos em minutos. A unidade de tempo que se utiliza é o dia; então é só fazer a conversão (sabendo que cada dia consta de 12 horas de trabalho).

A Tabela 4.5 apresenta os dados que serão de utilidade para dar início ao algoritmo. A tabela 4.6 exhibe a Matriz K_{ij} de custos de *setup*.

Tabela 4.5 - Dados de Entrada ao Algoritmo

Produto	r_i	p_i	s_i	h_i	ρ_i	$1-\rho_i$	$r_i h_i$
	(cf / dia)	(cf / dia)	(dias)	$[S_i / (cf \cdot dia)]$	r_i / p_i		
AF1-0237	2799	10500	0,06389	0,41983	0,2666	0,7334	1175,10
AF1-0296	158	9600	0,06111	0,52381	0,0165	0,9835	82,76
AF1-1000	1563	18000	0,06389	0,44286	0,0868	0,9132	692,19
AF2-0296	1776	9600	0,06528	0,51523	0,1850	0,8150	915,05
AF2-1000	98	18000	0,06528	0,43560	0,0054	0,9946	42,69
AF3-0237	878	10500	0,06806	0,41295	0,0836	0,9164	362,57
AF3-1000	144	18000	0,06806	0,43560	0,0080	0,9920	62,73
BP1-0296	1033	9600	0,07083	0,43365	0,1076	0,8924	447,96
TOTAIS	8449	103800	0,52640	3,61953	0,75953	7,2405	

$H =$

6	dias
---	------

 (Horizonte de Planejamento)

FONTE: Elaboração Própria

Tabela 4.6 - Matriz K_{ij} de Custos de *Setup* (S/.)

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
	A "j" DE "i"	AF1- 0237	AF1- 0296	AF1- 1000	AF2- 0296	AF2- 1000	AF3- 0237	AF3- 1000	BP1- 0296
P1	AF1-0237	M	276	368	460	460	460	460	552
P2	AF1-0296	276	M	276	460	460	460	460	552
P3	AF1-1000	368	276	M	460	460	460	460	552
P4	AF2-0296	414	414	414	M	276	414	414	414
P5	AF2-1000	414	414	414	276	M	414	414	414
P6	AF3-0237	414	414	414	414	414	M	368	414
P7	AF3-1000	414	414	414	414	414	368	M	414
P8	BP1-0296	644	644	644	552	552	552	552	M

FONTE: Elaboração Própria

4.2.1. Aplicação do Algoritmo

Passo 0: Inicialização

ITER = 1

	j = 1	j = 2	j = 3	j = 4	j = 5	j = 6	j = 7	j = 8
$A_i =$	276,00	276,00	276,00	276,00	276,00	368,00	368,00	414,00

Passo 1A-1: Cálculo dos Ciclos "Ótimos"

	T_i^*	C_i^*
j = 1	0,80	689,74
j = 2	2,60	211,97
j = 3	0,93	590,69
j = 4	0,86	641,61
j = 5	3,61	153,09
j = 6	1,49	494,51
j = 7	3,44	214,00
j = 8	1,44	575,33
TMIN	0,800	

**Passo 1B-1: Tempos de Ciclo ajustados aos Multiplicadores
Potência-de-Dois**

j	X_j	$X_m \leq TMIN$
1	6,00	Não
2	3,00	Não
3	1,50	Não
4	0,75	Sim

Portanto, $X_{m(m=4)} = 0,75$

Uma vez calculados os X_i 's, se procede a calcular os T_i 's ajustados:

	$T_1^* = 0,80$	$T_2^* = 2,60$
	$T_1 = 0,75$	$T_2 = 3,00$
$X_j = X_1$ 6,00	$\sqrt{X_0 X_1} \geq T_1^* \geq \sqrt{X_1 X_2}$ 100000,00 0,80 4,24 Não cumpre	$\sqrt{X_0 X_1} \geq T_2^* \geq \sqrt{X_1 X_2}$ 100000,00 2,60 4,24 Não cumpre
$X_j = X_2$ 3,00	$\sqrt{X_1 X_2} \geq T_1^* \geq \sqrt{X_2 X_3}$ 4,24 0,80 2,12 Não cumpre	$\sqrt{X_1 X_2} \geq T_2^* \geq \sqrt{X_2 X_3}$ 4,24 2,60 2,12 3,00 Sim cumpre
$X_j = X_3$ 1,50	$\sqrt{X_2 X_3} \geq T_1^* \geq \sqrt{X_3 X_4}$ 2,12 0,80 1,06 Não cumpre	$\sqrt{X_2 X_3} \geq T_2^* \geq \sqrt{X_3 X_4}$ 2,12 2,60 1,06 Não cumpre
$X_j = X_4$ 0,75	$\sqrt{X_3 X_4} \geq T_1^* \geq \sqrt{X_4 X_5}$ 1,06 0,80 0,00 0,75 Sim cumpre	$\sqrt{X_3 X_4} \geq T_2^* \geq \sqrt{X_4 X_5}$ 1,06 2,60 0,00 Não cumpre

Continua-se assim para todos os restantes T_i^* 's, e obtêm-se logo os T_i 's:

RESUMO	j = 1	j = 2	j = 3	j = 4	j = 5	j = 6	j = 7	j = 8
$T_i =$	0,75	3,00	0,75	0,75	3,00	1,50	3,00	1,50

Passo 2-1: Ajustar os ciclos reordenados para assegurar a factibilidade

Produto	T. Corrida
P1	2,1105
P2	0,2210
P3	1,0321
P4	1,6322
P5	0,1632
P6	0,7740
P7	0,1841
P8	0,9289
PROD	7,0461
H	6

Faz-se $T_i' = 2T_i$

T_1'	1,50
T_2'	6,00
T_3'	1,50
T_4'	1,50
T_5'	6,00
T_6'	3,00
T_7'	6,00
T_8'	3,00

PROD > Horizonte (H)

Para obter a factibilidade do planeamento ($PROD \leq H$) empregaram-se os seguintes T_i' s:

Produto	T. Corrida	T_i
P1	1,8550	1,50
P2	0,1599	6,00
P3	0,7766	1,50
P4	1,3711	1,50
P5	0,0979	6,00
P6	0,6378	3,00
P7	0,1161	6,00
P8	0,9289	1,50
PROD	5,9433	

Passo 3-1: Computar uma Seqüência de Produção

PRODUTO	$[H/T_i]$
P1	4
P2	1
P3	4
P4	4
P5	1
P6	2
P7	1
P8	4
Total Nós	21

Define-se uma nova matriz K_{ij} com estes 21 nós. O software STORM 3.0 determina a seqüência que se deve seguir:

From Node	To Node	Arc Length
V11	V43	460.0000
V43	V81	414.0000
V81	V62	552.0000
V62	V82	414.0000
V82	V44	552.0000
V44	V83	414.0000
V83	V71	552.0000
V71	V61	368.0000
V61	V84	414.0000
V84	V42	552.0000
V42	V51	276.0000
V51	V41	276.0000
V41	V31	414.0000
V31	V12	368.0000
V12	V32	368.0000
V32	V13	368.0000
V13	V33	368.0000
V33	V14	368.0000
V14	V34	368.0000
V34	V21	276.0000
V21	V11	276.0000
Length of tour = 8418.0000		

Figura 4.2 - Sequência para os 21 nós com o menor Custo *Setup*

FONTE: Calculado pelo software STORM 3.0

A sequência seria então:

P1 - P4 - P8 - P6 - P8 - P4 - P8 - P7 - P6 - P8 - P4 - P5 - P4 - P3 - P1 - P3 -
P1 - P3 - P1 - P3 - P2 - (P1)

Passo 4-1: Verificar a convergência

Calculam-se os novos A_i 's para dar início novamente ao algoritmo.

					Média A_i
A_1	P2 → P1	P3 → P1	P3 → P1	P3 → P1	
	276	368	368	368	345
A_2	P3 → P2				
	276				276
A_3	P4 → P3	P1 → P3	P1 → P3	P1 → P3	
	414	368	368	368	379,5
A_4	P1 → P4	P8 → P4	P8 → P4	P5 → P4	
	460	552	552	276	460
A_5	P4 → P5				
	276				276
A_6	P8 → P6	P7 → P6			
	552	368			460
A_7	P8 → P7				
	552				552
A_8	P4 → P8	P6 → P8	P4 → P8	P6 → P8	
	414	414	414	414	414

Passo 1A-2: Cálculo dos Ciclos “Ótimos”

	T_i^*	C_i^*
j = 1	0,89	771,15
j = 2	2,60	211,97
j = 3	1,10	692,64
j = 4	1,11	828,31
j = 5	3,61	153,09
j = 6	1,66	552,88
j = 7	4,21	262,10
j = 8	1,44	575,33
TMIN	0,895	

Passo 1B-2: Tempos de Ciclo ajustados aos Multiplicadores Potência-de-Dois

j	X_i	$X_m \leq TMIN$
1	6,00	Não
2	3,00	Não
3	1,50	Não
4	0,75	Sim

Portanto, $X_{m(m=4)} = 0,75$

Calculando os T_i 's como se fez na iteração anterior obtém-se:

RESUMO	j = 1	j = 2	j = 3	j = 4	j = 5	j = 6	j = 7	j = 8
$T_i =$	0,75	3,00	1,50	1,50	3,00	1,50	3,00	1,50

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

Produto	T. Corrida
P1	2,1105
P2	0,2210
P3	0,7766
P4	1,3711
P5	0,1632
P6	0,7740
P7	0,1841
P8	0,9289
PROD	6,5294
H	6

Faz-se $T_{i'} = 2T_i$

$T_{1'}$	1,50
$T_{2'}$	6,00
$T_{3'}$	3,00
$T_{4'}$	3,00
$T_{5'}$	6,00
$T_{6'}$	3,00
$T_{7'}$	6,00
$T_{8'}$	3,00

PROD > Horizonte (H)

Para obter a factibilidade do planejamento ($PROD \leq H$) empregaram-se os seguintes T_i 's:

Produto	T. Corrida	T_i
P1	1,8550	1,50
P2	0,1599	6,00
P3	0,6488	3,00
P4	1,2406	3,00
P5	0,1632	3,00
P6	0,7740	1,50
P7	0,1841	3,00
P8	0,9289	1,50
PROD	5,9544	

Passo 3-2: Computar uma Seqüência de Produção

PRODUTO	$[H/T_i]$
P1	4
P2	1
P3	2
P4	2
P5	2
P6	4
P7	2
P8	4
Total Nós	21

Define-se uma nova matriz K_{ij} com estes 21 nós. O software STORM 3.0 determina a seqüência que se deve seguir:

P1 - P6 - P8 - P7 - P8 - P6 - P7 - P6 - P8 - P5 - P4 - P5 - P4 - P8 - P6 - P1
 - P3 - P1 - P3 - P1 - P2 - (P1)

Passo 4-2: Verificar a convergência

A seqüência gerada no passo 3-2 é diferente da seqüência da iteração anterior nesse mesmo passo .

Portanto, calculam-se os novos A_i 's para dar início novamente ao algoritmo.

Lembra-se que o algoritmo se repete até encontrar a convergência entre duas seqüências.

					Média A_i
A_1	$P6 \rightarrow P1$	$P3 \rightarrow P1$	$P3 \rightarrow P1$	$P2 \rightarrow P1$	
	414	368	368	276	356,5
A_2	$P1 \rightarrow P2$				
	276				276
A_3	$P1 \rightarrow P3$	$P1 \rightarrow P3$			
	368	368			368
A_4	$P5 \rightarrow P4$	$P5 \rightarrow P4$			
	276	276			276
A_5	$P8 \rightarrow P5$	$P4 \rightarrow P5$			
	552	276			414
A_6	$P1 \rightarrow P6$	$P8 \rightarrow P6$	$P7 \rightarrow P6$	$P8 \rightarrow P6$	
	460	552	368	552	483
A_7	$P8 \rightarrow P7$	$P6 \rightarrow P7$			
	552	368			460
A_8	$P6 \rightarrow P8$	$P7 \rightarrow P8$	$P6 \rightarrow P8$	$P4 \rightarrow P8$	
	414	414	414	414	414

Passo 1A-3: Cálculo dos Ciclos “Ótimos”

	T_i^*	C_i^*
$j = 1$	0,91	783,90
$j = 2$	2,60	211,97
$j = 3$	1,08	682,07
$j = 4$	0,86	641,61
$j = 5$	4,42	187,49
$j = 6$	1,71	566,53
$j = 7$	3,85	239,26
$j = 8$	1,44	575,33
TMIN	0,860	

**Passo 1B-3: Tempos de Ciclo ajustados aos Multiplicadores
Potência-de-Dois**

j	X_i	$X_m \leq TMIN$
1	6,00	Não
2	3,00	Não
3	1,50	Não
4	0,75	Sim

Portanto, $X_{m(m=4)} = 0,75$

Calculando os T_i 's como se fez na iteração anterior obtém-se:

RESUMO	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 5$	$j = 6$	$j = 7$	$j = 8$
$T_i =$	0,75	3,00	1,50	0,75	6,00	1,50	3,00	1,50

Passo 2-3: Ajustar os ciclos reordenados para assegurar a factibilidade

Produto	T. Corrida
P1	2,1105
P2	0,2210
P3	0,7766
P4	1,6322
P5	0,0979
P6	0,7740
P7	0,1841
P8	0,9289
PROD	6,7253
H	6

Faz-se $T_i = 2T_i'$

$T_{1'}$	1,50
$T_{2'}$	6,00
$T_{3'}$	3,00
$T_{4'}$	1,50
$T_{5'}$	*12,00
$T_{6'}$	3,00
$T_{7'}$	6,00
$T_{8'}$	3,00

* Este valor não é considerado visto que supera o Horizonte de Planeamento

PROD > Horizonte (H)

Para obter a factibilidade do planeamento ($PROD \leq H$) empregaram-se os seguintes T_i 's:

Produto	T. Corrida	T_i
P1	1,8550	1,50
P2	0,1599	6,00
P3	0,6488	3,00
P4	1,3711	1,50
P5	0,0979	6,00
P6	0,6378	3,00
P7	0,1841	3,00
P8	0,9289	1,50
PROD	5,8836	

Passo 3-3: Computar uma Seqüência de Produção

PRODUTO	[H/ T_i]
P1	4
P2	1
P3	2
P4	4
P5	1
P6	2
P7	2
P8	4
Total Nós	20

Define-se uma nova matriz K_{ij} com estes 20 nós. O software STORM 3.0 determina a seqüência que se deve seguir:

P1 -P4 -P8 -P7 -P8 -P4 -P8 - P6 - P7 - P6 -P8 - P4 - P5 - P4 - P1 - P3 - P1
- P3 -P1 - P2 - (P1)

Passo 4-3: Verificar a convergência

A sequência gerada no passo 3-3 é diferente da sequência da iteração anterior nesse mesmo passo.

Portanto, calculam-se os novos A_i 's para dar início novamente ao algoritmo.

					Média A_i
A_1	$P2 \rightarrow P1$	$P4 \rightarrow P1$	$P3 \rightarrow P1$	$P3 \rightarrow P1$	
	276	414	368	368	356,5
A_2	$P1 \rightarrow P2$				
	276				276
A_3	$P1 \rightarrow P3$	$P1 \rightarrow P3$			
	368	368			368
A_4	$P5 \rightarrow P4$	$P1 \rightarrow P4$	$P8 \rightarrow P4$	$P8 \rightarrow P4$	
	276	460	552	552	460
A_5	$P4 \rightarrow P5$				
	276				276
A_6	$P8 \rightarrow P6$	$P7 \rightarrow P6$			
	552	368			460
A_7	$P8 \rightarrow P7$	$P6 \rightarrow P7$			
	552	368			460
A_8	$P4 \rightarrow P8$	$P7 \rightarrow P8$	$P4 \rightarrow P8$	$P6 \rightarrow P8$	
	414	414	414	414	414

Passo 1A-4: Cálculo dos Ciclos “Ótimos”

	T_i^*	C_i^*
$j = 1$	0,91	783,90
$j = 2$	2,60	211,97
$j = 3$	1,08	682,07
$j = 4$	1,11	828,31
$j = 5$	3,61	153,09
$j = 6$	1,66	552,88
$j = 7$	3,85	239,26
$j = 8$	1,44	575,33
TMIN	0,910	

**Passo 1B-4: Tempos de Ciclo ajustados aos Multiplicadores
Potência-de-Dois**

j	X_j	$X_m \leq TMIN$
1	6,00	Não
2	3,00	Não
3	1,50	Não
4	0,75	Sim

Portanto, $X_{m(m=4)} = 0,75$

Calculando os T_i 's como se fez na iteração anterior obtém-se:

RESUMO	j = 1	j = 2	j = 3	j = 4	j = 5	j = 6	j = 7	j = 8
$T_i =$	0,75	3,00	1,50	1,50	3,00	1,50	3,00	1,50

Passo 2-4: Ajustar os ciclos reordenados para assegurar a factibilidade

Produto	T. Corrida
P1	2,1105
P2	0,2210
P3	0,7766
P4	1,3711
P5	0,1632
P6	0,7740
P7	0,1841
P8	0,9289
PROD	6,5294
H	6

Faz-se $T_{i'} = 2T_i$

$T_{1'}$	1,50
$T_{2'}$	6,00
$T_{3'}$	3,00
$T_{4'}$	3,00
$T_{5'}$	6,00
$T_{6'}$	3,00
$T_{7'}$	6,00
$T_{8'}$	3,00

PROD > Horizonte (H)

Para obter a factibilidade do planejamento ($PROD \leq H$) empregaram-se os seguintes T_i 's:

Produto	T. Corrida	T_i
P1	1,8550	1,50
P2	0,1599	6,00
P3	0,6488	3,00
P4	1,2406	3,00
P5	0,1632	3,00
P6	0,7740	1,50
P7	0,1841	3,00
P8	0,9289	1,50
PROD	5,9544	

Passo 3-4: Computar uma Seqüência de Produção

PRODUTO	[H/Ti]
P1	4
P2	1
P3	2
P4	2
P5	2
P6	4
P7	2
P8	4
Total Nós	21

Define-se uma nova matriz K_{ij} com estes 21 nós. O software STORM 3.0 determina a seqüência que se deve seguir:

P1 - P6 - P8 - P7 - P8 - P6 - P7 - P6 - P8 - P5 - P4 - P5 - P4 - P8 - P6 - P1
- P3 - P1 - P3 - P1 - P2 - (P1)

Passo 4-4: Verificar a convergência

A seqüência gerada no passo 3-4 é igual à seqüência da iteração 2 nesse mesmo passo. Isto significa que se continuar com as iterações vai se cair numa convergência de duas seqüências: a gerada na iteração 2 e a gerada na iteração 3. Então com qual ficar?. Naturalmente com a que ofereça o menor custo. No primeiro caso (Seqüência de iteração 2) tem-se um custo total de *setup* de S/. 8326 e noutro caso (Iteração 3) S/. 8050.

Portanto, fica-se com a seqüência determinada na iteração 3, e continua-se com o passo 5 do algoritmo.

Passo 5: Desenvolver uma seqüência de Produção Inicial

i	n_i	ρ_i	$\tau_i = \rho_i \cdot H/n_i$	Produto
1	4	0,2666	0,3999	P1
2	4	0,1850	0,2775	P4
3	4	0,1076	0,1614	P8
4	2	0,0868	0,2605	P3
5	2	0,0836	0,2509	P6
6	2	0,0080	0,0240	P7
7	1	0,0165	0,0988	P2
8	1	0,0054	0,0327	P5

Encontra-se que $n_{\max} = 4$. Portanto, de acordo com a descrição feita do algoritmo (no Capítulo 3) estabelecem-se 4 seqüências parciais da seguinte maneira:

Seq1	K_{ij}	L_1	Seq2	K_{ij}	L_2	Seq3	K_{ij}	L_3	Seq4	K_{ij}	L_4
P1	414	0,3999	P1	414	0,3999	P1	414	0,3999	P1	414	0,3999
P4	460	0,2775	P4	460	0,2775	P4	460	0,2775	P4	460	0,2775
P8	414	0,1614	P8	414	0,1614	P8	414	0,1614	P8	414	0,1614
P3			P3	644	0,2605	P3			P3	644	0,2605
P6	460	0,2509	P6			P6	460	0,2509	P6		
P7	368	0,0240	P7			P7	368	0,0240	P7		
P2			P2			P2			P2	414	0,0988
P5			P5	460	0,0327	P5			P5		
Totais	2116	1,1136	Totais	2392	1,1319	Totais	2116	1,1136	Totais	2346	1,1980

Passo 6: Ressequenciar as seqüências parciais

Ressequenciam-se estas quatro seqüências parciais de acordo com a lógica do Caixeiro Viajante:

Seq1	K_{ij}	Seq2	K_{ij}	Seq3	K_{ij}	Seq4	K_{ij}
P1	414	P1	368	P1	414	P1	276
P4	460	P5	460	P4	460	P8	552
P8	414	P4	276	P8	414	P4	552
P7	552	P8	414	P7	552	P3	414
P6	368	P3	644	P6	368	P2	276
Total K_{ij}	2208	Total K_{ij}	2162	Total K_{ij}	2208	Total K_{ij}	2070

Fazendo a ligação entre as quatro seqüências parciais determina-se a seqüência final de produção:

Seq1	K_{ij}	S_{ij}	Continuação:		
P1	276	0,0417	P1	368	0,0556
P4	460	0,0694	P4	460	0,0694
P8	414	0,0625	P8	414	0,0625
P7	552	0,0833	P7	552	0,0833
P6	368	0,0556	P6	368	0,0556
P1	414	0,0625	P1	414	0,0625
P5	460	0,0694	P8	552	0,0833
P4	276	0,0417	P4	552	0,0833
P8	414	0,0625	P3	414	0,0625
P3	644	0,0972	P2	276	0,0417
			Total <i>Setup</i>	8648	1,3056

Nesta parte do algoritmo empregam-se já os tempos de *Setup* (S_{ij}) que correspondem à ordem estabelecida.

Passo 7: Ajustar os tempos de corridas segundo a regra de “Iniciar em Zero”.

Tabela 4.7 - Sequência Final e os seus parâmetros

Produto	M (m)	r _i (cf / dia)	p _i (cf / dia)	h _i [S _i /(cf*dia)]	p _i r _i / p _i	1-p _i	r _i h _i	t _m		y _m		s _m		q _m =t _m *p _i		T _m = q _m /r _i		CME (*)
								Dias		dias		dias		dias		dias		
P1	1	2799	10500	0,41983	0,27	0,73	1175	0,391362		0,02383		0,0694	4109,30		1,4681		928,825	
P4	2	1776	9600	0,51523	0,19	0,82	915	0,281563		0		0,0625	2703,00		1,5220		863,730	
P8	3	1033	9600	0,43365	0,11	0,89	448	0,162999		0		0,0833	1564,79		1,5148		458,649	
P7	4	144	18000	0,43560	0,01	0,99	63	0,024017		0		0,0556	432,30		3,0021		280,398	
P6	5	878	10500	0,41295	0,08	0,92	363	0,251028		0		0,0625	2635,79		3,0020		1497,172	
P1	6	2799	10500	0,41983	0,27	0,73	1175	0,394687		0		0,0694	4144,21		1,4806		944,675	
P5	7	98	18000	0,43560	0,01	0,99	43	0,032667		0		0,0417	588,00		6,0000		764,209	
P4	8	1776	9600	0,51523	0,19	0,82	915	0,274407		0		0,0625	2634,31		1,4833		820,388	
P8	9	1033	9600	0,43365	0,11	0,89	448	0,165026		0		0,0972	1584,25		1,5336		470,124	
P3	10	1563	18000	0,44286	0,09	0,91	692	0,255902	0,0315	0,0556	4606,23	2,9470	2744,850					
P1	11	2799	10500	0,41983	0,27	0,73	1175	0,40548	0,0662	0,0694	4257,54	1,5211	997,049					
P4	12	1776	9600	0,51523	0,19	0,82	915	0,324762		0	0,0625	3117,72	1,7555	1149,102				
P8	13	1033	9600	0,43365	0,11	0,89	448	0,116634		0	0,0833	1119,68	1,0839	234,832				
P7	14	144	18000	0,43560	0,01	0,99	63	0,023983		0	0,0556	431,70	2,9979	279,619				
P6	15	878	10500	0,41295	0,08	0,92	363	0,250684		0	0,0625	2632,19	2,9979	1493,077				
P1	16	2799	10500	0,41983	0,27	0,73	1175	0,407893		0	0,0833	4282,88	1,5301	1008,951				
P8	17	1033	9600	0,43365	0,11	0,89	448	0,200964		0	0,0833	1929,25	1,8676	697,180				
P4	18	1776	9600	0,51523	0,19	0,82	915	0,229264	0,01568	0,0625	2200,93	1,2393	572,664					
P3	19	1563	18000	0,44286	0,09	0,91	692	0,265096		0	0,0417	4771,74	3,0529	2945,644				
P2	20	158	9600	0,52381	0,02	0,98	83	0,09875		0	0,0417	948,00	6,0000	1465,186				
TOTAIS								4,5572	0,1373	1,3056	50694			20616,32				

*CME = Custo de Manter Estoque: $T_m^{*2}(1-p_i)(r_ih_i)/2$

FONTE: Elaboração Própria

Algumas observações com respeito à Tabela 4.7:

- Os valores de s_m , t_m e y_m foram calculados empregando a programação quadrática proposta por Delporte & Thomas (1977). A soma destes valores dá exatamente 6 dias, ou seja, o período de planejamento H foi dividido para que nele caibam os tempos de corridas de produção, os tempos de *setup*, e os tempos ociosos.

- O tempo de *setup* s_m especificado é o *setup* do produto que continua na seqüência, na posição $m+1$. Portanto é diferente do S_{ij} , que indica o *setup* do mesmo produto, mas que varia de acordo ao produto “ i ” que foi produzido antes dele na seqüência. Um determinado S_{ij} toma o valor do s_m que corresponde a uma posição anterior na seqüência. Por exemplo, o S_{ij} do segundo período é 0.0694 dias, igual ao s_m do primeiro período. No caso do S_{ij} do primeiro período, este tomaria o valor do último s_m porque se supõe um ciclo fechado.

- A seqüência que se deve seguir é assim:

$$t_1 \rightarrow y_1 \rightarrow s_1 \rightarrow t_2 \rightarrow y_2 \rightarrow s_2 \rightarrow \text{etc.}$$

- Só existem quatro tempos ociosos dentro de toda a seqüência que totalizam 0,1373 dias, o que representa tão só 2,29 % do tempo de Planejamento $H = 6$ dias.

- O $\sum q_m$'s (somatório das quantidades a serem produzidas para cada produto) é igual a 50694 CF's que é a demanda total média para os 6 dias.

- T_m é o tempo que durará em estoque a produção do produto i no período m (com quantidade q_m caixas físicas). No momento exato em que o estoque atinge o valor zero, verifica-se que começa uma nova produção do produto i .

- Para mais detalhes de como se desenvolveu e otimizou o Programa Quadrático de Delporte & Thomas (1977), veja-se o Apêndice (no final da presente dissertação). A Função-Objetivo deste programa representa o custo de manutenção de inventário por unidade de tempo (dia). Este custo é de S/. 3436.053 por dia, e em um período $H = 6$ dias seria S/. 20616,32.

Aqui termina a aplicação do algoritmo, e a Tabela 4.7 detalha a informação necessária para elaborar o programa de produção semanal.

4.2.2.

Análise de uma solução alternativa

Os passos 5 e 6 do algoritmo servem para estabelecer a seqüência que será seguida na programação dos produtos. Mas é uma seqüência diferente à

determinada no passo 3, que oferece um menor custo total de *setup* (S/.8648 achado no passo 6 versus S/.8050 achado no passo 3). Teve-se curiosidade então em analisar, o que aconteceria ao ajustar os tempos de corridas de produção segundo a regra de “Iniciar em Zero” para esta seqüência. Na tabela 4.8 exibem-se os *setups* respectivos.

Tabela 4.8 - Custos e Tempos de *Setup* da seqüência gerada no Passo 3

Seq.	K _{ij}	S _{ij}
P1	276	0,041667
P4	460	0,069444
P8	414	0,0625
P7	552	0,083333
P8	414	0,0625
P4	552	0,083333
P8	414	0,0625
P6	552	0,083333
P7	368	0,055556
P6	368	0,055556
P8	414	0,0625
P4	552	0,083333
P5	276	0,041667
P4	276	0,041667
P1	414	0,0625
P3	368	0,055556
P1	368	0,055556
P3	368	0,055556
P1	368	0,055556
P2	276	0,041667
Total	8050	1,215278

FONTE: Elaboração Própria

Seguindo os mesmos procedimentos de cálculo que se realizou no Passo 7 do algoritmo, determinam-se novos parâmetros para a seqüência mostrada na Tabela 4.8. Tais parâmetros se exibem na Tabela 4.9.

Como se observa, só existe um tempo ocioso no período 17 ($M(m) = 17$) igual a 0,2275 dias que representa 3,79% do tempo total de planejamento H. Por outro lado, o novo custo de manutenção de inventário sobe para S/.36920,15 nos 6 dias de planejamento.

Tabela 4.9 - Cálculo de Novos Parâmetros para uma Solução Alternativa

Produto	M (m)	r _i (cf / dia)	p _i (cf / dia)	h _i [S/./(cf*dia)]	p _i r _i / p _i	1-p _i	r _i h _i	t _m		y _m		q _m =t _m *p _i	T _m = q _m /r _i		CME (*)
								dias	dias	dias	dias		dias	dias	
P1	1	2799	10500	0,41983	0,27	0,73	1175	1,180429	0	0,0694	12394,50	4,4282	8450,001		
P4	2	1776	9600	0,51523	0,19	0,82	915	0,085357	0	0,0625	819,43	0,4614	79,380		
P8	3	1033	9600	0,43365	0,11	0,89	448	0,01842	0	0,0833	176,84	0,1712	5,857		
P7	4	144	18000	0,43560	0,01	0,99	63	0,006937	0	0,0625	124,86	0,8671	23,393		
P8	5	1033	9600	0,43365	0,11	0,89	448	0,059017	0	0,0833	566,56	0,5485	60,126		
P4	6	1776	9600	0,51523	0,19	0,82	915	0,343615	0	0,0625	3298,70	1,8574	1286,390		
P8	7	1033	9600	0,43365	0,11	0,89	448	0,096431	0	0,0833	925,74	0,8962	160,526		
P6	8	878	10500	0,41295	0,08	0,92	363	0,013887	0	0,0556	145,81	0,1661	4,582		
P7	9	144	18000	0,43560	0,01	0,99	63	0,041064	0	0,0556	739,15	5,1330	819,733		
P6	10	878	10500	0,41295	0,08	0,92	363	0,487835	0	0,0625	5122,27	5,8340	5654,240		
P8	11	1033	9600	0,43365	0,11	0,89	448	0,471766	0	0,0833	4528,96	4,3843	3842,050		
P4	12	1776	9600	0,51523	0,19	0,82	915	0,026333	0	0,0417	252,80	0,1423	7,555		
P5	13	98	18000	0,43560	0,01	0,99	43	0,032667	0	0,0417	588,01	6,0000	764,238		
P4	14	1776	9600	0,51523	0,19	0,82	915	0,654712	0	0,0625	6285,23	3,5390	4670,125		
P1	15	2799	10500	0,41983	0,27	0,73	1175	0,062139	0	0,0556	652,46	0,2331	23,416		
P3	16	1563	18000	0,44286	0,09	0,91	692	0,059846	0	0,0556	1077,23	0,6892	150,122		
P1	17	2799	10500	0,41983	0,27	0,73	1175	0,290702	0,2275	0,0556	3052,37	1,0905	512,475		
P3	18	1563	18000	0,44286	0,09	0,91	692	0,461162	0	0,0556	8300,92	5,3109	8914,142		
P1	19	2799	10500	0,41983	0,27	0,73	1175	0,066183	0	0,0417	694,92	0,2483	26,562		
P2	20	158	9600	0,52381	0,02	0,98	83	0,098752	0	0,0417	948,01	6,0000	1465,243		
TOTALS								4,5573	0,2275	1,2153	50694		36920,15		

* CME = Custo de Manter Estoque: $T_m^{*2}(1-p_i)(r_ih_i)/2$

FONTE: Elaboração Própria

4.3. Análise dos Resultados

A Tabela 4.10 resume os principais resultados obtidos nos distintos métodos de solução testados.

Tabela 4.10 - Resultados dos Métodos de Solução

	Programação IS	Programação RC	Algoritmo Proposto	Solução Alternativa
Período de Planejamento (H)	Indefinido	6 dias	6 dias	6 dias
% Tempo Ocioso	0	0	2,29 %	3,79%
Custo Total de Inventário (S/.)	Não existe H	56840,322	20616,32	36920,15
Custo Total de <i>Setup</i> (S/.)	Não existe H	3036	8648	8050
Custo Total no Período H (S/.)	Não existe H	59876,322	29264,32	44970,16
Custo Total por dia (S/.)	3570,94	9979,387	4877,387	7495,027
% Adicional no Custo tomando como base a Programação IS	0%	179%	37%	110%

FONTE: Elaboração Própria

A partir da Tabela apresentada pode-se destacar:

- Fica claro qual dos Métodos de Solução Empregar. Tomando como base o resultado de Custo Total por dia obtido pela Programação IS, que foi estabelecido como Limite Inferior de Solução e que se demonstrou sua não viabilidade, se observa que a solução do Algoritmo Proposto é tão só 37% mais custoso. Comparado com os 110% e os 179% das outras duas alternativas, se percebe a grande diferença que existe quanto aos benefícios que se conseguem com o emprego do Algoritmo Proposto.

- Na suposição que as variáveis de entrada para o problema permaneçam constantes durante o ano todo, e trabalhando 310 dias no ano, se terá um custo total de S/.1511989,97 aplicando o Algoritmo Proposto. Se em lugar deste se utiliza a segunda melhor alternativa este o custo anual sobe para S/. 2323458,37. Entre uma e outra alternativa se consegue uma poupança anual de **S/.811468,4** (uma quantidade de dinheiro bastante considerável).

- A programação RC apresenta o menor custo de *setup*. Isto porque os produtos só são programados uma vez durante todo o ciclo. Mas observa-se que o custo por manutenção de inventário (inventário necessário para atender a

demanda durante o período H) é quase 200% do valor que se obtém com o emprego do Algoritmo Proposto.

- O tempo ocioso considerado na programação do algoritmo Proposto é 0,1373 dias (aproximadamente 99 minutos tomando em conta que um dia consta de 12 horas de trabalho), tempo que poderia se utilizar para compensar os eventuais contratempos que quase sempre acontecem.

4.4.

A proposta para a programação da produção

4.4.1.

Programação Teórica

Uma vez estabelecidas as quantidades a produzir para cada produto e os seus respectivos tempos através do uso do Algoritmo Proposto, é necessário agora organizar a informação de tal maneira que possa ser encaixada dentro do Horizonte de Planejamento (e de fato, teoricamente tem que se encaixar com exatidão).

Na tabela 4.11, se fez a disposição da seqüência de produção começando em uma segunda-feira e terminando no sábado. Nesta tabela pode-se apreciar:

- As flechas indicam a seqüência que seguem os produtos (e suas quantidades) na linha de produção, segundo o determinado pelo algoritmo.

- A coluna chamada “Tempo Prod.” é a soma do tempo de corrida de produção (t_m), tempo ocioso (y_m) e tempo de *setup* (s_m) correspondentes à quantidade de produção dos respectivos produtos. No caso de produções que continuam do dia anterior, esse tempo corresponde naturalmente só ao tempo de corrida de produção t_m e o subsequente tempo ocioso (y_m), tendo em vista que o *setup* se realizou no dia anterior para poder iniciar a corrida.

- Em todos os casos (salvo na sexta-feira e no sábado) fracionaram-se as quantidades do produto que ficaram no final do dia, com a finalidade de fazer exatamente as 12 horas de trabalho diárias. A fração que faltou por completar prosseguiu no dia seguinte.

Tabela 4.11 - Programa de Produção Teórico para o Horizonte de Planejamento

PRODUTO	Cod. Prod.	Dem. Diária (CF)	SEGUNDA			TERÇA			QUARTA		
			Saldo inicial (I)	Produção (CF)	Tempo prod. (hrs)	Dem. do dia (CF)	Saldo inicial	Produção (CF)	Tempo prod. (hrs)	Dem. do dia (CF)	Saldo inicial
AF1-0237	P1	2799	8397	4109	5.4823	2799	9707	4144	5.4862	2799	11052
AF1-0296	P2	158	1264		0	158	1106		0	158	948
AF1-1000	P3	1563	7815		0	1563	6252		0	1563	4689
AF2-0296	P4	1776	5328	2703	4.2121	1776	6255		0	1776	4479
AF2-1000	P5	98	392		0	98	294	469	1.1462	98	665
AF3-0237	P6	878	3512		0	878	2634	2636	3.679	878	4392
AF3-1000	P7	144	576		0	144	432	432	1.2882	144	720
BP1-0296	P8	1033	3099	1244	2.3056	1033	3310	321	0.4004	1033	2598
TOTAL		8449	30383	8056	12.00	8449	29990	8002	12.00	8449	29543

Saldo inicial	Produção (CF)	Tempo prod. (hrs)	Dem. do dia (CF)	QUINTA			SEXTA			SABADO			Total Produção	Demanda Total
				Saldo inicial	Produção (CF)	Tempo prod. (hrs)	Dem. do dia (CF)	Saldo inicial	Produção (CF)	Tempo prod. (hrs)	Dem. do dia (CF)	SALDO FINAL		
8354	4157	5.5452	2799	9712	4283	5.6447	2799	11196			2799	8397	16794	16794
790		0	158	632		0	158	474	948	1.685	158	1264	948	948
7732		0	1563	6169		0	1563	4606	4772	3.931	1563	7815	9378	9378
5337	3118	4.7305	1776	6679		0	1776	4903	2201	3.939	1776	5328	10656	10656
686		0	98	588		0	98	490			98	392	588	588
3514		0	878	2636	2632	3.6749	878	4390			878	3512	5268	5268
576		0	144	432	432	1.2882	144	720			144	576	864	864
3149	779	1.7243	1033	2895	341	0.4253	1033	2203	1929	3.4116	1033	3099	6198	6198
30138	8054	12.00	8449	29743	7688	11.0331	8449	28982	9850	12.9671	8449	30383	50694	50694

FONTE: Elaboração Própria

- Na sexta-feira sobrou ainda um tempo de 0,9671 horas para começar a fazer o produto P8 que segue na seqüência. Acontece que o *setup* para passar ao produto P8 é de uma hora, superior ao tempo disponível. Portanto, optou-se por começar no dia seguinte, e o tempo que ficou sobrando na sexta-feira, se excedeu no sábado. Na somatória total de tempos utilizados para produção se dispuseram exatamente 72 horas (12 horas por cada 6 dias de trabalho).

- A coluna chamada “Dias de Estoque” corresponde aos dias contados desde a segunda-feira até o primeiro dia da semana em que se considera a primeira produção do respectivo produto, mais 2 dias de estoque de segurança por política da empresa.

- A coluna chamada “Saldo Inicial (I)” provém da multiplicação da coluna Dias de Stock com a Coluna de Demanda Diária. Isto representa a quantidade de produto que será necessário para atender ao mercado até antes de fazer a primeira produção para os respectivos produtos. Como foi explicado, consideram-se mais dois dias de estoque de segurança que podem servir como um colchão diante de possíveis flutuações da demanda. Como se está realizando a programação da produção teórica, a demanda diária é igual em todos os dias.

- As colunas “Saldo Inicial” se obtêm somando o saldo inicial com a produção do dia anterior e subtraindo a demanda diária que aconteceu no dia anterior.

- A coluna chamada “Saldo Final” é o resultado do saldo remanescente no último dia do Horizonte de Planejamento. Como a Produção Total iguala a Demanda Total dos seis dias sob análise, este Saldo Final tem que ser igual ao Saldo Inicial (I) com que se começou a semana.

4.4.2. Programação Real

Fez-se a simulação com o software Crystal Ball para 2000 demandas diárias em cada um dos 8 produtos, assumindo que os dados seguem uma Distribuição Normal. Na tabela 4.12 se mostram os valores da demanda que serviram como parâmetros da simulação. Por exemplo, para o P1 sabe-se que em média se tem uma demanda diária de 2799 caixas físicas, e os possíveis valores da demanda durante os 6 dias do horizonte de planejamento estarão compreendidos entre $\pm 10\%$ da sua média. Considera-se tão somente uma variação de $\pm 10\%$ em vista que as projeções de demanda geradas pela Área de Vendas para os 6 dias são uma boa estimativa. Segundo informações oferecidas

pela Companhia, para todos os produtos existe em média um intervalo de $\pm 10\%$ do valor da demanda projetada, onde cairá o valor real, em 90% das vezes.

Tabela 4.12 - Variações da Taxa de Demanda (com 90% de probabilidade)

	Variação Menor (Média-10%)	Demanda Diária Média (em CF's)	Variação Maior (Média+10%)
P1	2519.1	2799	3078.9
P2	142.2	158	173.8
P3	1406.7	1563	1719.3
P4	1598.4	1776	1953.6
P5	88.2	98	107.8
P6	790.2	878	965.8
P7	129.6	144	158.4
P8	929.7	1033	1136.3
		8449	

FONTE: Elaboração Própria

Aleatoriamente se escolheram 6 números entre o 1 e o 2000 para designar quais das 2000 simulações da demanda considerar para simular a demanda em cada um dos seis dias de uma semana de trabalho. Os números aleatoriamente escolhidos foram: 1565, 770, 1065, 1676, 1322, 1228.

A Tabela 4.13 apresenta os valores da demanda simulada para os 6 dias do período de planejamento.

Tabela 4.13 - Demanda Simulada para o Horizonte de Planejamento

Produto	Demanda em CF's					
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
P1	2,870	2,619	2,755	2,591	3,109	2,652
P2	149	161	158	153	144	160
P3	1,562	1,586	1,427	1,571	1,628	1,711
P4	1,713	1,786	1,692	1,675	1,745	1,640
P5	101	99	105	90	92	92
P6	817	912	811	971	916	846
P7	163	147	144	160	142	132
P8	1,110	1,039	1,037	1,063	946	977
TOTAL	8,485	8,349	8,129	8,274	8,722	8,210
# Simul.	1595	770	1065	1676	1322	1228

FONTE: Elaboração Própria

A simulação oferece uma visão mais realista dos possíveis movimentos da demanda durante a semana: em alguns dias a demanda fica maior do que a

média e em outros, é menor. Ao fazer as consolidações semanais, que se apresentam na Tabela 4.14, observa-se que as Demandas Totais Reais para cada produto não ficam muito longe das Teóricas. As porcentagens de diferença são bastante pequenas. Na Tabela 4.13 se aprecia, em troca, que as maiores variações se dão entre um dia e outro.

Tabela 4.14 - Demandas Totais Semanais Reais vs. Teóricas

	Demanda Real	Demanda Teórica	% Diferença
P1	16.596	16.794	-1,18%
P2	925	948	-2,43%
P3	9.485	9.378	1,14%
P4	10.251	10.656	-3,80%
P5	579	588	-1,53%
P6	5.273	5.268	0,09%
P7	888	864	2,78%
P8	6.172	6.198	-0,42%
TOTAL	50.169	50.694	-1,04%

FONTE: Elaboração Própria

Na Tabela 4.15, se fez a disposição da seqüência de produção começando em uma segunda-feira e terminando o sábado, de uma maneira muito similar à Programação Teórica, mas com as demandas simuladas apresentadas na Tabela 4.13.

Na Tabela 4.15, aprecia-se informação adicional à exibida na Tabela 4.11 (onde se realizou a programação Teórica):

- A coluna “Demanda Teórica” indica a Demanda Diária Média de cada produto (igual para todos os dias).
- A coluna “Demanda Real” mostra a Demanda Simulada para cada dia em todos os produtos, dados apresentados na Tabela 4.13.

Tabela 4.15 - Programa de Produção Real para o Horizonte de Planejamento

SEGUNDA										TERÇA					
PRODUTO	COD PROD	D.D.M. (C.F.)	Dias de Estoque	Saldo inicial	Produção (CF)	Tempo prod (hrs)	Demanda Teórica	Demanda Real	Dif. do Teórico	Saldo inicial	Produção Corr.(CF)	Tempo prod (hrs)	Demanda Teórica	Demanda Real	Dif. do Teórico
AF1-0237	P1	2799	3	8397	4109	5,4823	2799	2870	-71	9636	4215	5,5671	2799	2619	180
AF1-0296	P2	158	8	1264		0	158	149	9	1115		0	158	161	6
AF1-1000	P3	1563	5	7815		0	1563	1562	1	6253		0	1563	1586	-22
AF2-0296	P4	1776	3	5328	2703	4,2121	1776	1713	63	6318		0	1776	1786	53
AF2-1000	P5	98	4	392		0	98	101	-3	291	591	1,2273	98	99	-1
AF3-0237	P6	878	4	3512		0	878	817	61	2695	2575	3,6095	878	912	-34
AF3-1000	P7	144	4	576		0	144	163	-19	413	451	1,3007	144	147	-3
BP1-0296	P8	1033	3	3099	1565	2,706	1033	1110	-77	3554		0	1033	1039	-83
TOTAL		8449		30383	8377	12,40	8449,00	8485	-36	30275	7832	11,70	8449	8349	96

QUARTA										QUINTA					
COD PROD	Saldo inicial	Produção Corr.(CF)	Tempo prod (hrs)	Demanda Teórica	Demanda Real	Dif. do Teórico	Saldo inicial	Produção Corr.(CF)	Tempo prod (hrs)	Demanda Teórica	Demanda Real	Dif. do Teórico			
P1	11232		0	2799	2755	224	8477	4034	6,0716	2799	2591	208			
P2	954		0	158	158	6	796		0	158	153	11			
P3	4667	4628	4,6303	1563	1427	136	7868		0	1563	1571	128			
P4	4532	2581	3,7263	1776	1692	84	5421	3034	4,6258	1776	1675	101			
P5	783		0	98	105	-8	678		0	98	90	0			
P6	4358		0	878	811	33	3547		0	878	971	-60			
P7	717		0	144	144	-3	573		0	144	160	-19			
P8	2515	1667	2,83375	1033	1037	-4	3145	442	1,3026	1033	1063	-30			
TOT.	29758	8876,00	11,19	8449	8129	468	30505	7510	12	8449	8274	339			

Tabela 4.15 - Programa de Produção Real para o Horizonte de Planejamento (Continuação)

COD PROD	SEXTA						SABADO						Total Produ- ção (A)	Deman- da Total (B)	(A) - (B)	
	Saldo inicial	Produção Corr.(CF)	Tempo prod (hrs)	Deman- da Teórica	Deman- da Real	Dif. do Teórico	Saldo inicial	Produção Corr.(CF)	Tempo prod (hrs)	Deman- da Teórica	Deman- da Real	Dif. do Teórico				Saldo Final
P1	9920	4075	5,4071	2799	3109	-310	10886		0	2799	2652	-163	8234	16433	16596	-163
P2	643		0	158	144	25	499	923	1,6538	158	160	-2	1262	923	925	-2
P3	6297		0	1563	1628	63	4669	4709	3,8893	1563	1711	-148	7667	9337	9485	-148
P4	6780		0	1776	1745	132	5035	2069	3,7744	1776	1640	136	5464	10387	10251	136
P5	588		0	98	92	6	496		0	98	92	12	404	591	579	12
P6	2576	692	3,7432	878	916	-38	4352		0	878	846	-6	3506	5267	5273	-6
P7	413	451	1,3007	144	142	2	722		0	144	132	14	590	902	888	14
P8	2524	712	0,8900	1033	946	87	2290	1842	3,3025	1033	977	56	3155	6228	6172	56
TOT.	29741	7930	11,34	8449	8722	-33	28949	9543	12,62	8449	8210	-101	30282	50068	50169	-101

FONTE:

Elaboração Própria

Tempo Total Produção = 71,256 hrs.

Tempo restante = 0,744 hrs.

- A coluna “Dif. do Teórico” (na segunda-feira) indica a diferença que existe entre as colunas “Demanda Teórica” e “Demanda Real”. O sinal negativo (-) significa que a demanda real foi maior do que a teórica, e o sinal positivo (+), que a demanda teórica foi maior do que a real. A partir da terça-feira, esta coluna funciona assim: se for programado um determinado produto no dia, a metodologia a empregar é igual à realizada na segunda-feira; mas se o produto não for programado naquele dia, além de fazer a diferença entre a demanda teórica e a real do dia, tem-se que acrescentar sua respectiva “Dif. do Teórico” do dia anterior, que ainda não foi amortizada com uma nova produção; deve-se acumular estas diferenças (positivas e negativas) até o momento em que se programe a produção do produto. No dia que isto acontecer, a produção corrigida (que se explicará com mais detalhe nos próximos parágrafos) amortecerá tais diferenças, fazendo que os excessos ou déficits de produtos sejam cobertos.

- A coluna “Produção (CF)” (na segunda-feira) indica o início da seqüência de produção, e a coluna do lado “Tempo prod. (hrs)” controla que se continue com a seqüência só até quando o tempo total ficar em torno de 12 horas. Na segunda-feira produziram-se os lotes de produtos em quantidades iguais às obtidas no Passo 7 do Algoritmo Proposto, mas nos dias posteriores realizou-se uma correção nos lotes calculados pelo algoritmo. As correções se efetuam com um dia de atraso, porque lamentavelmente só no final do dia se conhece com certeza a demanda que se teve (dados especificados na coluna de “Demanda Real”).

- Para fins práticos, está-se preferindo realizar lotes de produção completos num determinado dia, sempre que não se exceda ou se diminua em mais de 1 hora as 12 horas correspondente a um dia de trabalho. Algo diferente aconteceu na quinta-feira: se não se produzir uma parte do lote do produto P8, faltaria para completar o dia mais de uma hora; portanto optou-se por fracionar parte do lote para o dia seguinte. Em vista que se conta ainda com um tempo considerável para produzir na quinta-feira o produto P8, ele foi produzido até cumprir exatamente as 12 horas, e o que restava se deixou para a sexta-feira.

- A coluna “Produção Corr. (CF)” indica a produção teórica corrigida, calculada como a diferença aritmética entre o que se deveria produzir teoricamente (computada no Passo 7 do algoritmo de solução) e a coluna “Dif. do Teórico” a partir da terça-feira. Com a produção corrigida, a coluna do Tempo de Produção também se modifica em função daquelas novas quantidades. Esta produção corrigida faz com que as diferenças entre a demanda teórica e real

positivas ou negativas do dia anterior sejam amortecidas, evitando assim um acúmulo ao longo da semana de excesso de produção em alguns produtos ou um acúmulo de escassez de produção em outros. No caso em que a “Dif. do Teórico” do dia anterior for positiva, a produção realizada foi maior do que a demanda naquele dia, portanto, existe um excedente de produção que, para evitar acúmulos não necessários, se desconta na próxima produção do referido produto. No caso em que a “Dif. do Teórico” do dia anterior for negativa, a produção realizada foi insuficiente para atender a demanda daquele dia, portanto foi preciso utilizar o produto proveniente do saldo inicial, causando assim um déficit que precisa ser corrigido; por tal motivo, para evitar acúmulos de déficits que poderiam ser prejudiciais, acrescenta-se aquela quantidade na próxima produção do referido produto (como se faz uma subtração da produção teórica com a “Dif. do Teórico”, que neste caso é um valor negativo, o resultado é um acréscimo da produção).

- A coluna “(A) – (B)” indica as diferenças entre a Produção Total Semanal e a Demanda Total Real acontecida. Em total, houve 101 caixas físicas de diferentes produtos produzidos a menos. E são exatamente as mesmas diferenças encontradas no último dia (o sábado). Isto porque até a sexta-feira todos os excessos ou déficits foram amortecidos pela produção corrigida, e no sábado estas diferenças tiveram que ser retiradas ou acrescentadas, segundo o caso, do Saldo Inicial do dia. Por este motivo, as diferenças entre o Saldo Inicial e o Saldo Final da semana são também exatamente os valores da coluna “Dif. do Teórico” do dia sábado. Em outras palavras, todas as incertezas da demanda foram corrigidas oportunamente, exceto as do último dia; mas, ao considerar-se a programação como um processo contínuo, a incerteza do dia sábado será corrigida na próxima segunda-feira, e assim da mesma maneira com os dias sucessivos.

- No exemplo apresentado em particular, o tempo de produção total chegou às 71,26 horas, devido a que se produziram 50068 caixas físicas, quantidade menor do teórico de 50694 caixas físicas (volume que cobre exatamente as 72 horas de trabalho semanais).

4.4.3.

Custos Para a Programação Real Exemplificada

A Programação Real exemplificada no item 4.4.2, que utiliza as demandas provenientes das simulações sobre a demanda diária média, apresentou uma produção total semanal ligeiramente menor do que a esperada (50068 versus 50694.)

Na tabela 4.16 se detalham os custos para a programação real. Obviamente, esta oferece um custo menor: S/. 28873,72, contra 29264,32 do esperado.

É importante aclarar que as diminuições nos custos totais, ou possíveis acréscimos nele para outros exemplos, são causados principalmente pelas modificações nos tempo de corrida de produção " t_m ", os quais dependem diretamente da quantidade produzida (o " t_m " influencia diretamente sobre o cálculo do Custo de Manter Estoque (CME)). Os tempos de *setup* e os tempos ociosos permanecem constantes, porque eles só dependem da seqüência de produção, a qual uma vez estabelecida para uma semana, ela não é modificada no transcurso. Conseqüentemente o custo total de *setup* permanece também sem alterações.

Tabela 4.16 - Custos para a Programação Real

COD	r_i (CF / hr)	h_i S./ (un*dia)	S_{ij} hrs	t_m hrs	y_m hrs	q_m (real) CF	$T_m =$ q_m/r_i dias	$1-p_i$	$r_i h_i$ S./ (dia ²)	* CME (S./ / H)
P1	233,25	0,420	0,500	4,696	0,286	4109	1,468	0,73	1175	928,69
P4	148,00	0,515	0,833	3,379	0,000	2703	1,522	0,82	915	863,73
P8	86,08	0,434	0,750	1,956	0,000	1565	1,515	0,89	448	458,77
P7	12,00	0,436	1,000	0,301	0,000	451	3,132	0,99	63	305,18
P6	73,17	0,413	0,667	2,943	0,000	2575	2,933	0,92	363	1428,91
P1	233,25	0,420	0,750	4,817	0,000	4215	1,506	0,73	1175	977,22
P5	8,17	0,436	0,833	0,394	0,000	591	6,031	0,99	43	772,03
P4	148,00	0,515	0,500	3,226	0,000	2581	1,453	0,82	915	787,52
P8	86,08	0,434	0,750	2,084	0,000	1667	1,614	0,89	448	520,52
P3	130,25	0,443	1,167	3,085	0,378	4628	2,961	0,91	692	2770,86
P1	233,25	0,420	0,667	4,610	0,795	4034	1,441	0,73	1175	895,10
P4	148,00	0,515	0,833	3,793	0,000	3034	1,708	0,82	915	1088,22
P8	86,08	0,434	0,750	1,443	0,000	1154	1,117	0,89	448	249,45
P7	12,00	0,436	1,000	0,301	0,000	451	3,132	0,99	63	305,18
P6	73,17	0,413	0,667	3,077	0,000	2692	3,066	0,92	363	1561,71
P1	233,25	0,420	0,750	4,657	0,000	4075	1,456	0,73	1175	913,38
P8	86,08	0,434	1,000	2,303	0,000	1842	1,783	0,89	448	635,54
P4	148,00	0,515	1,000	2,586	0,188	2069	1,165	0,82	915	506,07
P3	130,25	0,443	0,750	3,139	0,000	4709	3,013	0,91	692	2868,70
P2	13,17	0,524	0,500	1,154	0,000	923	5,842	0,98	83	1388,94
TOTAIS			15,667	53,943	1,647	50068				20225,72
Tempos Totais em dias			1,3056	4,4952	0,1373				Custo Setup	8648,00
									CUSTO TOTAL	28873,72

* CME = Custo de Manter Estoque: $T_m^2(1-p_i)(r_i h_i)/2$

FONTE: Elaboração Própria