MS877 - Projeto Supervisionado

PROBLEMA DE DIMENSIONAMENTO E SEQUENCIAMENTO DE LOTES DE PRODUÇÃO DE SUPLEMENTOS PARA NUTRIÇÃO ANIMAL

Aluna: Mariana Valerio da Silva (RA:092281)
Orientador: Antonio Carlos Moretti

1 Resumo

Essa trabalho tem como objetivo determinar o tamanho de cada lote a ser produzido em uma industria de produção de suplementos para nutrição animal, bem como a sequencia de produção de cada produto. Para tanto foi realizado a implementação de um modelo ATSP (Asymmetric Travelling Salesman Problem), utilizando o programa AIMMS v3.10. A fim de verificar a eficiência do modelo foram realizados exemplos números, e o estudo de um caso real.

2 Introdução

A indústria de produtos para a produção de suplementos para nutrição animal vem apresentando um grande crescimento ao longo dos anos. De acordo com SINDIRAÇÕES (2011) esse setor da indústria apresentou um crescimento de mais de 5% em 2010, com relação ao ano anterior. E movimentou mias de R$ 33 bilhões somente em matérias-primas.

Como em toda empresa em crescimento, um dos desafios são a redução de custos e do tempo de produção, de forma que a demanda seja atendida dentro dos prazos. Neste trabalho será apresentada uma modelagem para abordar o dimensionamento e sequenciamento de lotes de produção.

O dimensionamento de lotes de produção consiste em determinar a quantidade de produtos a ser produzido, de forma a ajustar a demanda com a capacidade de produção, minimizando o custo total de produção. Já o sequenciamento de lotes de produção consiste em determinar a ordem em que cada produto deve ser produzido, a fim de minimizar o tempo total de preparação dos produtos.

Normalmente o problema de dimensionamento e sequenciamento de lotes de produção são resolvidos separadamente, o que compromete os resultados de minimização de custo e de tempo de produção. Pois uma solução obtida apenas para o problema de dimensionamento não necessariamente será a mesma solução obtida para o sequenciamento de lotes.

Os modelos utilizados para resolver o problema de dimensionamento e sequenciamento de lotes permite integrar as decisões envolvidas. Porém são modelos de programação linear inteira mista, que em geral, são de difícil resolução exata em tempo computacional aceitável [Toso e Clark; 2008].

2.1 Conteúdo do Relatório

Na seção 3 temos a descrição do problema. A seção 4 contém o estudo de algumas modelagens encontradas na literatura para resolução do problema. Na seção 5 contém cinco exemplos numéricos, e os resultados obtidos. Na seção 6 temos os dados e os resultados obtidos para um estudo de caso envolvendo dados reais. A seção 7 esá a conclusão sobre esses resultados.

3 O Problema

A produção na indústria de nutrição animal pode ser resumia em quatro etapas: recepção, transformação, preparação e finalização [Toso e Clark; 2008]. A recepção engloba o recebimento e armazenagem das matérias-primas. A transformação consiste na pré-limpeza, secagem e moagem dos grãos. A preparação é a dosagem e mistura. E a finalização engloba os processos de estocagem e expedição do produto final.

Para realizar a modelagem do problema foi considerado que a cada operação existe um lote mínimo que é produzido, que varia de acordo com o produto. A capacidade produtiva foi determinada como sendo o tempo disponível para produção.

Apesar da demanda ter característica sazonal, ou seja, varia ao longo do ano, isso não foi considerado na modelagem do problema, já que o horizonte de planejamento é relativamente pequeno (em torno de um mês). Os produtos são perecíveis, mas isso também foi desconsiderada na modelagem, por considerar tomadas de decisões em curto prazo.

Como alguns produtos apresentam misturas que podem contaminar os demais produtos, é necessário sequenciar os lotes de forma a evitar que os produtos com agentes contaminantes deixem resíduos na linha de produção e comprometam a qualidade do próximo lote. Para evitar isto, é necessário fazer uma limpeza nos equipamentos (setup) após cada lote com agentes contaminantes.

4 Modelagem

Para formular esse problema usando programação linear inteira, consideramos que a possibilidade de estocagem ou não cumprimento da demanda (backlog). Cada produto possui um numero mínimo produzido em cada lote, e a quantidade produzida deve ser um múltiplo dessa quantidade mínima a ser produzida.

Os produtos são agregados por famílias, onde cada família contém produtos pertencentes ao mesmo nível de contaminação, e com características comuns, com o mesmo tempo de processamento. Quando não existe risco de contaminação, o tempo de preparação entre um lote e outro é pequeno. Por simplicidade, os tempos de preparação pequenos são desprezados. O modelo considera que cada família é produzida uma única vez em cada período.

Foram encontrados quatro modelos propostos para esse problema na tese de Toso (2008). Dois desses modelos usando a formulação GLSP (Modelo Genérico de Dimensionamento e Sequenciamento de Lotes) e outros dois utilizando ATSP (Asymmetric Travelling Salesman Problem). E cada um desses modelos realizados para sequencias independentes e dependentes. Sequencias independentes considera que ao final de cada período é realizado uma limpeza na linha de produção, e para sequencias dependentes essa limpeza não é considerada.

De acordo com Clark et al. (2009), o modelo que melhor representa o problema, e que na maioria dos casos encontra a solução em menor tempo, é o modelo ATSP para sequencias dependentes. Por simplicidade, nesse trabalho iremos apresentar apenas esse modelo.

4.1 Modelo ATSP para sequencias dependentes

Nessa abordagem pressupõe-se que não existe limpeza no final de cada período. Está é a estratégia atual utilizada pela empresa na qual foi obtida os dados reais que serão apresentados na secção 6.

Os índices utilizados no modelo são:

- i e j - que representam as famílias, variando de 1 a N;
- t - que representa os períodos, variando de 0 a T.

onde $t = 0$ representa o período inicial, N e T correspondem respectivamente ao numero total de famílias e períodos.

Os parâmetros usados no modelo são:

- C_t - tempo disponível (capacidade) no período t;
- p_i - tempo necessário para produzir uma unidade da família i;
- lm_i - tamanho mínimo de um lote da família i;
- h_{it} - custo de manter uma unidade de estoque da família i por um período t;
- co_t - custo unitário de hora extra no período t;
- st_{ji} - tempo de preparação para mudar da família j para a família i;
- d_{it} - demanda da família i no período t;
- ei_i - quantidade de estoque da família i, no período inicial ($t = 0$);
- bi_i - quantidade de demanda não atendida (backlog) da família i, no período inicial ($t = 0$);

- u_t - limite máximo de horas extras permitidas no período t;
- M - penalização por períodos pendentes.

As variáveis utilizadas no modelo são:

- e_{it} - quantidade em estoque da família i no período t;
- b_{it} - quantidade de demanda não atendida (backlog) da família i no período t;
- q_{it} - quantidade produzida da família i no período t;
- O_t - quantidade de horas extras utilizadas no período t;
- FO - função objetivo;
- y_{jit} - $\begin{cases} 1 \text{ se ocorre troca da família } j \text{ para } i \text{ no período } t, \\ 0 \text{ caso contrário;} \end{cases}$
- $z_{i,t}$ - $\begin{cases} 1 \text{ se a família } i \text{ foi a última família produzida no período } (t-1), \\ 0 \text{ caso contrário;} \end{cases}$
- mtz_{it} - auxilia na eliminação de sub-rotas envolvendo a família i no período t.

Onde e_{it}, b_{it}, q_{it}, O_t e mtz_{it} são não-negativas, y_{jit} e $z_{i,t}$ são variáveis binárias. As variáveis e_{it} e b_{it} estão definidas para o período inicial ($t = 0$), enquanto as demais variáveis não estão definidas para esse período.

A função objetivo é definida por:

$$FO = \sum_{i=1}^{N} \sum_{t=1}^{T} (h_{it}e_{it} + Mb_{it}) + \sum_{t=1}^{T} co_t O_t,$$

Que consiste em minimizar as penalidades por atraso, custos de estocagem e de horas extras.

As demais restrições são:

$$e_{it} - b_{it} = e_{i,t-1} - b_{i,t-1} + q_{it} - d_{it}, \text{para } i = 1, ..., N \text{ e } t = 1, ..., T \tag{1}$$

Que representa a equação de balanceamento de estoque, atraso, produção e demanda.

$$e_{i0} = ei_i, \text{para } i = 1, ..., N \tag{2}$$

$$b_{i0} = bi_i, \text{para } i = 1, ..., N \tag{3}$$

Garantem que os parâmetros estoque inicial e a quantidade de backlog inicial sejam atribuídos as variáveis de estoque e backlog.

$$\sum_{i=1}^{N} p_i q_{it} + \sum_{j=1}^{N}\sum_{i=1}^{N} st_{ji} y_{jit} \leq C_t + O_t, \text{para } t = 1, ..., T \tag{4}$$

Essa equação considera os tempos de preparação bem como a capacidade de produção e a quantidade limite de horas extras

$$y_{iit} = 0, \text{para } i = 1, ..., N \text{ e } t = 1, ..., T \tag{5}$$

Garante que não há interrupção na produção para produtos da mesma família.

$$O_t \leq u_t, \text{para } t = 1, ..., T \tag{6}$$

Que limita a quantidade de horas extras utilizadas, a quantidade de horas extras máxima disponível no período t.

$$\sum_{i=1}^{N} z_{it} = 1, \text{para } t = 2, ..., T \tag{7}$$

Garante que a linha de produção está preparada para uma única família no começo de cada período t.

$$p_i q_{it} \leq (C_t + u_t)(z_{it} + \sum_{j=1}^{N} y_{jit}), \text{para } i = 1, ..., N \text{ e } t = 1, ..., T \tag{8}$$

A restrição acima garante que a produção de uma família só pode ocorrer se a linha de produção está preparada.

$$q_{it} \geq lm_i(\sum_{j=1}^{N} y_{jit} - z_{it}), \text{para } i = 1, ..., N \text{ e } t = 1, ..., T \tag{9}$$

Considera que o lote mínimo será atendido, e se a linha de produção está preparada família i no inicio do período t, então a produção do lote mínimo já foi atendido no período anterior.

$$\sum_{i=1}^{N} y_{ijt} \leq \sum_{k=1}^{N} y_{jkt} + z_{j,t+1}, \text{para } j = 1, ..., N \text{ e } t = 1, ..., T-1 \tag{10}$$

Essa restrição permite que a família j entre na sequencia somente se existir uma preparação depois de j.

$$z_{jt} + \sum_{i=1}^{N} y_{ijt} \geq \sum_{k=1}^{N} y_{jkt}, \text{para } j = 1, ..., N \text{ e } t = 1, ..., T \tag{11}$$

Garante que a família k só entre na sequencia depois de j somente se houve preparação para j ou se a linha de produção já estava preparada para j no começo do período.

$$1 - z_{it} \geq \sum_{j=1}^{N} y_{jit}, \text{para } i = 1, ..., N \text{ e } t = 1, ..., T \tag{12}$$

Proíbe uma preparação de uma família para a qual a linha de produção já está preparada no início do período.

$$1 - z_{i,t+1} \geq \sum_{j=1}^{N} y_{ijt}, \text{para } i = 1, ..., N \text{ e } t = 1, ..., T - 1 \tag{13}$$

A restrição acima proíbe uma nova preparação de uma família já configurada no início do período.

$$z_{i,t} \leq \sum_{j=1}^{N} y_{ijt}, \text{para } i = 1, ..., N \text{ e } t = 1, ..., T - 1 \tag{14}$$

Garante que ocorra uma preparação depois da família configurada no início do período.

As 14 restrições acima compõem o modelo ATSP encontrado em Clark et al. (2009). Como o modelo pode possuir sub-rotas, para realizar a eliminação de sub-rotas foi utilizado o modelo MTZ (Miller - Tucker - Zemlin) encontrado em Pataki (2003). Foram acrescentadas as seguintes restrições ao modelo:

$$mtz_{jt} - mtz_{it} + 1 \leq (N - 1)(1 - y_{jit}), \text{para } i = 2, ..., N, \ j = 2, ..., N \text{ e } t = 1, ..., T \tag{15}$$

$$mtz_{1,t} = 1, \text{para } t = 1, ..., T \tag{16}$$

$$mtz_{i,t} \geq 2, \text{para } i = 2, ..., N \text{ e}t = 1, ..., T \tag{17}$$

$$mtz_{i,t} \leq N, \text{para } i = 2, ..., N \text{ e}t = 1, ..., T \tag{18}$$

Esse conjunto de restrições garante que todas as sub-rotas encontradas serão eliminadas.

Foi acrescentada mais uma restrição a fim de garantir que se não foi produzido nenhuma quantidade de uma família, então essa família não entra na sequência de produção.

$$\sum_{j=1}^{N} y_{ijt} + \sum_{j=1}^{N} y_{jit} \leq q_{it}M, \text{para } i = 1, ..., N \text{ e}t = 1, ..., T \tag{19}$$

O modelo acima proposto foi implementado no programa AIMMS 3.10, que utiliza como solver o CPLEX 12.2 . Todos os exemplos numéricos a seguir foram resolvidos nesse programa.

5 Exemplos

Para analisar o modelo proposto, foram realizados cinco exemplos numéricos, encontrados em Toso (2008). Nos exemplos usamos três famílias e dois períodos. Segue a tabela com os valores para os parâmetros do modelo.

Parâmetros utilizados em cada exemplo

Parâmetros	Exp.0	Exp.1	Exp.2	Exp.3	Exp.4
C_1	64	58	58	58	64
C_2	64	60	58	60	64
u_1	6	6	6	10	6
u_2	8	8	4	10	8
co_1	5	5	5	5	5
co_2	5	5	5	12	5
p_1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
p_2	3	3	3	3	3
p_3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
h_1	20	20	20	20	20
h_2	30	30	30	30	30
h_3	10	10	10	10	10
d_{11}	13	13	13	13	15
d_{12}	11	11	11	11	5
d_{21}	7	7	7	7	2
d_{22}	9	9	9	9	9
d_{31}	5	5	5	5	2
d_{32}	6	6	6	6	23
st_{11}	0	0	0	0	0
st_{12}	0,16	0,16	0,16	0,16	5
st_{13}	0,16	0,16	0,16	0,16	5
st_{21}	1	1	1	1	8
st_{22}	0	0	0	0	0
st_{23}	0,16	0,16	0,16	0,16	5
st_{31}	0,16	0,16	0,16	0,16	5
st_{32}	1	1	1	1	8
st_{33}	0	0	0	0	0

O parâmetro h é o mesmo para os dois períodos. Por simplicidade, os estoques inicias foram descontados das demandas. E não existe um numero mínimo de produtos a ser produzido para cada família, ou seja, $lm_i = 0$ para toda família i. O custo de não atender uma demanda foi considerado alto, para que toda a demanda fosse atendida no período estabelecido ($M = 1000$).

5.1 Resultados

Exemplo 0

Para o exemplo 0 os seguintes resultados foram encontrados.

Resultados para o Exemplo 0

Período 1				Período 2			
Sequência	Fam.3	Fam.2	Fam.1	Sequência	Fam.1	Fam.2	Fam.3
Quant. Prod.	5	7	13	Quant. Prod.	11	9	6

Para esse exemplo, não foi gerado nenhum estoque, e nenhuma hora extra foi utilizada. Esse resultado era esperado, já que a demanda poderia ser atendida sem a necessidade de contratação de horas extras.

Exemplo 1

Para o exemplo 1 os seguintes resultados foram encontrados.

Resultados para o Exemplo 1

Período 1				Período 2			
Sequência	Fam.1	Fam.2	Fam.3	Sequência	Fam.3	Fam.1	Fam.2
Quant. Prod.	13	7	5	Quant. Prod.	6	11	9

Quantidade de horas extras utilizada

Período	Quant.
1	3,32
2	3,82

Para esse exemplo, não foi gerado nenhum estoque, porém foi necessário o uso de horas extras. Esse resultado era esperado, já que a demanda não poderia ser atendida a tempo, e o custo de não atender a demanda é alto. A função objetivo avaliada no ponto ótimo tem valor: $FO = 35,7 u.m.$.

Exemplo 2

Segue a tabela com os resultados encontrados para o exemplo 2.

Resultados para o Exemplo 2

Período 1				Período 2			
Sequência	Fam.2	Fam.3	Fam.1	Sequência	Fam.1	Fam.2	Fam.3
Quant. Prod.	7	5	14	Quant. Prod.	10	9	6
Estoque	0	0	1	Estoque	0	0	0

Quantidade de horas extras utilizada

Período	Quant.
1	5,82
2	3,32

No exemplo 2, foi necessário tanto o uso de horas extras, como o estoque de produto. Isso ocorre porque a capacidade não é suficiente para atender a demanda. Neste caso o valor para a função objetivo encontrada foi: $FO = 65,7 u.m.$.
Apesar do custo de estocagem da família 1 ser maior que o da família 3, foi estocado 1 unidade da família 1 ao invés de outra família. Isso ocorreu pois se a família com produto a ser estocado fosse a 3, então a capacidade necessária no período 1 seria ultrapassada, e o numero de horas extras seria muito alto, ultrapassando a restrição 6.

Exemplo 3

A seguir estão os resultados encontrados para o exemplo 3.

Resultados para o Exemplo 3

Período 1				Período 2			
Sequência	Fam.1	Fam.2	Fam.3	Sequência	Fam.3	Fam.1	Fam.2
Quant. Prod.	13	7	7	Quant. Prod.	4	11	9
Estoque	0	0	2	Estoque	0	0	0

Quantidade de horas extras utilizada

Período	Quant.
1	6,32
2	0,82

No exemplo 3, foi necessário tanto o uso de horas extras, como o estoque de produto. Porém nesse caso foi necessário estocar duas unidades da Família 3. Como o custo de horas extras no período dois é maior, foi mais vantajoso estocar duas unidades do que utilizar mais horas extras no período 2. O custo total apresentado nesse caso foi: $FO = 61,44u.m.$

Exemplo 4

A seguir estão os resultados encontrados para o exemplo 4.

Resultados para o Exemplo 4

Período 1				Período 2		
Sequência	Fam.3	Fam.1	Fam.2	Sequência	Fam.2	Fam.3
Quant. Prod.	2	20	2	Quant. Prod.	9	23
Estoque	0	5	0	Estoque	0	0

Quantidade de horas extras utilizada

Período	Quant.
1	5,00
2	2,50

Nesse exemplo, a família 1 só foi produzida no primeiro período. Para isso foram estocados 5 unidades da família 1, e utilizada horas extras. O valor da função objetivo nesse exemplo é: $FO = 137,5u.m.$.

Todos os resultados apresentados anteriomente, foram obtidos com menos de 1 segundo, e com no máximo 125 iterações.

6 Caso real

Os dados obtidos para um problema real encontram-se no artigo de Toso e Morabito (2005). Os valores estão usando como base os dados utilizados em uma indústria de produção de suplementos para ração animal. Nesse caso seram utilizadas 21 famílias, e 4 períodos.

A capacidade produtiva C_t, o limite de horas extras u_t e o custo unitário de hora extra co_t, não varia com o período, e são iguais a 64, 16 e 859,2 respectivamente. Os estoques iniciais foram descontados da demanda, e o parâmetro h_{it} é constante em relação aos períodos. Segue as tabelas com os demais parâmetros.

Parâmetros utilizados no caso real

Famílias	p_i	h_i	d_{i1}	d_{i2}	d_{i3}	d_{i4}
1	0,4	660,0	0	0	0	0
2	0,4	170,0	2	3	9	1
3	0,4	851,0	9	16	9	25
4	0,4	151,2	0	0	1	0
5	0,2	103,4	25	15	2	5
6	0,4	110,0	0	0	0	0
7	0,2	421,0	15	16	12	11
8	0,2	443,0	29	29	32	32
9	0,2	392,0	40	32	32	52
10	0,2	488,0	58	57	65	79
11	0,2	775,0	2	6	6	5
12	0,2	591,0	2	1	1	0
13	0,3	849,0	0	1	1	1
14	0,3	922,0	12	15	20	19
15	0,2	312,0	1	1	0	0
16	0,2	432,0	1	0	0	0
17	0,2	621,0	10	3	3	3
18	0,4	592,0	0	0	0	0
19	0,6	137,1	0	1	1	4
20	0,6	102,6	4	0	4	1
21	0,3	446,0	35	38	46	47

Matrix dos tempos de preparação st_{ij}

Fam.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	0	0	1,67	1,67	1,67	0	1,67	1,67	1,67	1,67	0	1,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1,67	0	1,67	1,67	1,67	0	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	0	1,67	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	1,67	1,67	1,67	1,67	0	1,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	1,67	1,67	1,67	1,67	0	1,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	1,67	1,67	1,67	1,67	0	1,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1,67	0	0	1,67	1,67	0	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	0	1,67	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	1,67	0	0	1,67	1,67	0	0	0	0	0	0	1,67	1,67	0	1,67	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	1,67	1,67	1,67	1,67	0	0	1,67	0	0	1,67	1,67	0	0	0	0	1,67
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,67	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,67	0	0	0	0	0	0
18	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	0	0	1,67	1,67	1,67
19	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	0	1,67	1,67
20	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	0	1,67
21	1,67	0	0	1,67	0	0	0	0	0	0	0	1,67	1,67	0	1,67	0	0	0	0	0	0

6.1 Resultados

Para os dados reais, o resultado obtido foi:

Resultados para o caso real

Período 1															
Sequência	Fam.20	Fam.3	Fam.5	Fam.17	Fam.15	Fam.21	Fam.14	Fam.12	Fam.10	Fam.16	Fam.8	Fam.11	Fam.9	Fam.7	Fam.2
Quant. Prod.	4	9	25	10	1	35	12	2	58	1	29	2	40	15	2
Estoque	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Período 2																
Sequência	Fam.2	Fam.21	Fam.14	Fam.12	Fam.13	Fam.10	Fam.9	Fam.7	Fam.11	Fam.17	Fam.5	Fam.20	Fam.15	Fam.8	Fam.3	Fam.19
Quant. Prod.	2	38	15	1	1	57	32	16	6	3	15	5	1	29	16	1
Estoque	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0

Período 3															
Sequência	Fam.19	Fam.13	Fam. 12	Fam.9	Fam.7	Fam.14	Fam.3	Fam.11	Fam.21	Fam.10	Fam.8	Fam.4	Fam.2	Fam.17	Fam.5
Quant. Prod.	5	1	1	32	12	20	9	6	46	65	32	1	10	3	5
Estoque	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3

Período 4										
Sequência	Fam.5	Fam.9	Fam.10	Fam.7	Fam.3	Fam.13	Fam.8	Fam.11	Fam.17	Fam.14
Quant. Prod.	2	52	79	11	25	1	52	5	3	19
Estoque	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Quantidade de horas extras utilizada

Período	Quant.
1	0,0
2	0,0
3	0,0
4	6,9

Algumas famílias não são produzidas por não ter nenhuma quantidade a ser produzida. Essa solução foi encontrada após 38470 interações, em 18 segundos.

O custo total encontrado foi de $FO = 7572,68u.m.$. De acordo com o artigo de Toso e Morabito (2005) os custos da empresa são em torno de $15809u.m.$. Utilizando esse modelo a empresa teria uma redução de 52% nos gastos.

7 Conclusão

Analisando os resultados obtidos, percebemos que esse modelo pode ser utilizado pela indústria para minimizar os custos de produção. Além de encontrar soluções mais vantajosas financeiramente, tanto nos exemplos como no caso real, a solução foi encontrada em pouco tempo, o que viabiliza a utilização desse modelo na tomada de decisões da empresa em um custo intervalo de tempo.

O modelo apresentado não está limitado ao uso em indústrias de produção de suplementos para ração animal. Esse modelo pode ser utilizado por outras indústrias para resolver o problema de dimensionamento e sequenciamento de lotes.

Estudos futuros podem ser realizados, usando heurísticas para resolver o problema de sub-rotas, ao invés de utilizar o modelo MTZ, como foi realizado nesse trabalho.

8 Bibliografia

Clarck, A. R.; Morabito, R. ;Toso, E. A. V. Production setup-sequencing and lot-sizing at an animal nutrition plant thrugh ATSP subtour elimination and patching. *Springer Science+Business Media, LLC*, p.111-121. 2009.

Pataki, G. Teaching Integer Programming Formulations Using the Traveling Salesman Problem *SIAM Review*, v.45, n.1, p.116-123. 2003.

Toso, E. A. V. Dimensionamento e sequenciamento de lotes de produção na indústria de suplementos para nutrição animal. Universidade Federal de São Carlos. *Tese de Doutorado*. 2008.

Toso, E. A. V.; Clarck, A. Combinação de abordagens GLSP e ATSP para o problema de dimensionamento e sequenciamento de lotes de produção de suplementos para nutrição animal. *Pesquisa Operacional*, v.23, n.3, p.423-450. 2008.

Toso, E. A. V.; Morabito, R. Otimização no dimensionamento e sequenciamento de lotes de produção: estudo de caso numa fábrica de rações. *Gestão e Produção*, v.12, n.2, p.203-217. 2005.