

INTEGRAÇÃO DA LOGÍSTICA NO SETOR DE ALIMENTOS: O USO DE FERRAMENTA DE OTIMIZAÇÃO

Décio Maia de Sales

Centro de Controle de Inventário da Marinha
Av. Brasil, nº 10.500, Olaria - RJ
deciomaia@ajato.com.br

Luis Ernesto Torres Guardia, D. Sc.

Universidade Federal Fluminense
Rua Passos da Pátria, nº 156, São Domingos – Niterói - RJ
tepletg@vm.uff.br

Resumo

Este artigo tem o propósito de apresentar uma modelagem matemática da estrutura logística de abastecimento de gêneros alimentícios no âmbito da Marinha do Brasil, como ferramenta de apoio à decisão para os gerentes da área. Tendo como base o software de otimização LINDO, versão 6.1, a modelagem permite sugerir, período a período, quanto se deve produzir (comprar), transportar para cada localidade, em que tipo de transporte isto deverá ser feito e quanto se deve manter em estoque nos Centros de Distribuição, com vistas à obtenção do custo mínimo.

Os resultados puderam constatar haver espaços para novas oportunidades de negócios, que permitem contribuir para uma melhoria do desempenho e uma melhor utilização dos recursos financeiros existentes.

Palavras-Chaves: Estrutura logística; Abastecimento; Modelagem Matemática.

Abstract

This paper has the purpose to present a mathematical model about the food's supply chain in the Brazilian Navy, as a tool of decision support to logistics manages. Having the optimization software LINDO 6.1 as support, the model can suggest from time to time the whole amount needed to product (or to buy), to transport to every localization, what kind of transportation it is necessary to be done and how many food it is needed to be kept at the depots, always discerning indistinctly the acquisition at a minimum cost.

The results could show we have spaces to new business opportunities that can contribute to the improvement of the performance and a better utilization of financial resources.

Keywords: Supply chain; Logistics; Mathematical model.

1. INTRODUÇÃO

A logística no Brasil tem passado por rápidas e profundas mudanças, sob os mais diversos enfoques. Seja na obtenção, na armazenagem ou na distribuição, observa-se um incremento significativo nas atividades relacionadas ao abastecimento, o que torna o ambiente logístico mais complexo. Este fato exige de todas as entidades, privadas ou governamentais, um esforço administrativo cada vez maior, na medida em que as decisões dependem da análise de um número significativo de variáveis muitas vezes relacionadas entre si.

No âmbito do setor público, as Forças Armadas, como instituições permanentes, não sofrem com a concorrência como acontece com as empresas privadas, mas têm em sua doutrina a logística como atividade fundamental para o cumprimento de sua missão constitucional. A enorme importância da logística para as Forças Armadas esbarra, no entanto, em fatores limitantes. O cenário brasileiro já há muito tempo vem apontando para

sérias dificuldades financeiras, atingindo os mais variados setores. As Forças Armadas vêm amargando grandes contingenciamentos, o que as obriga a buscar soluções criativas na forma de administrar seus recursos. Paralelamente, a sociedade, que no seu dia-a-dia reivindica melhorias no campo social, não tolera mais ineficiências no setor público, o que impõe também à Marinha mudanças em seu modo de atuação frente às inúmeras atividades desempenhadas por ela em todo o território nacional. Deming menciona que (1990 *apud* ANNUNCIACÃO, 1998, p. 7):

Na maioria das repartições públicas, não há um mercado a ser buscado. Ao invés de conquistar um mercado, uma agência governamental deveria prestar, de forma econômica, o serviço prescrito pela legislação vigente. O objetivo deveria ser destacar-se por serviço bem executado. Um aprimoramento contínuo do serviço público mereceria a aprovação do público(...), e possibilitaria a manutenção do emprego público (...).

Recentemente, o presidente do Brasil, Luís Inácio Lula da Silva, manifestou-se, afirmando que “os sacrifícios [das Forças Armadas] são resultado da escassez de recursos por parte do governo e o objetivo de atender em um primeiro momento as camadas mais pobres da população”. E complementa: “vivemos uma época de restrição orçamentária, por isso devemos sacrificar para garantir o equilíbrio das contas públicas” (PRESIDENTE..., 2003).

Este cenário impele aos servidores do estado a otimização dos recursos existentes, em todos os níveis e atividades. Diante de um ambiente cada vez mais complexo e com uma quantidade cada vez menor de recursos, a utilização de ferramentas que possam auxiliar a tomada de decisões mais efetivas torna-se imperiosa; e é exatamente este papel a que se destina a apresentação deste artigo.

2. DELIMITAÇÃO DO ESCOPO DO TRABALHO

O presente documento, delimitado pelo Sistema de Abastecimento da Marinha (SAbM), encontra-se pautado exclusivamente no gerenciamento de gêneros alimentícios. Dentro desse amplo universo, o artigo limitar-se-á às Organizações Militares (OM) que interagem direta ou indiretamente com os Depósitos Navais Regionais (DepNavRe), sendo estes o ponto focal de análise do trabalho. Como se tenciona apresentar um modelo de otimização, os DepNavRe escolhidos para estudo foram o Depósito Naval de Manaus (DepNavMa) e o Depósito Naval de Salvador (DepNavSa), o que não invalida a introdução no modelo dos demais Depósitos Secundários existentes. Vale reforçar ainda a idéia de que não será abordado nenhum aspecto, dentro ou fora do SAbM, que não tenha relação com a categoria de material gêneros alimentícios.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a elaboração do presente artigo, foi necessária a realização de uma pesquisa exploratória, com base no levantamento bibliográfico e em entrevistas, no sentido de apresentar as atividades afetas à logística militar, identificando os fatores e variáveis que interferem ou que contribuem para a compreensão da sistemática adotada pela Marinha do Brasil, para o abastecimento de gêneros alimentícios.

Em seguida, foi efetuada uma modelagem matemática, com base em pesquisa operacional, permitindo não só a otimização das atividades logísticas de forma integrada, como também a realização de inferências acerca da otimização do fluxo de alimentos, culminando com a apresentação de resultados que pudessem contribuir para a melhoria da eficiência e eficácia do Sistema.

O levantamento estatístico realizado utilizou-se de amostragem não aleatória intencional, baseando-se nos fatos ocorridos entre os anos de 2002 e 2004. A amostragem obtida permitiu observar as seguintes variáveis:

a) as demandas médias de alimentos nos centros de consumo dos Depósitos Primários e Regionais; e

b) os custos com a movimentação do material e com os estoques existentes nos Depósitos Primários e Regionais.

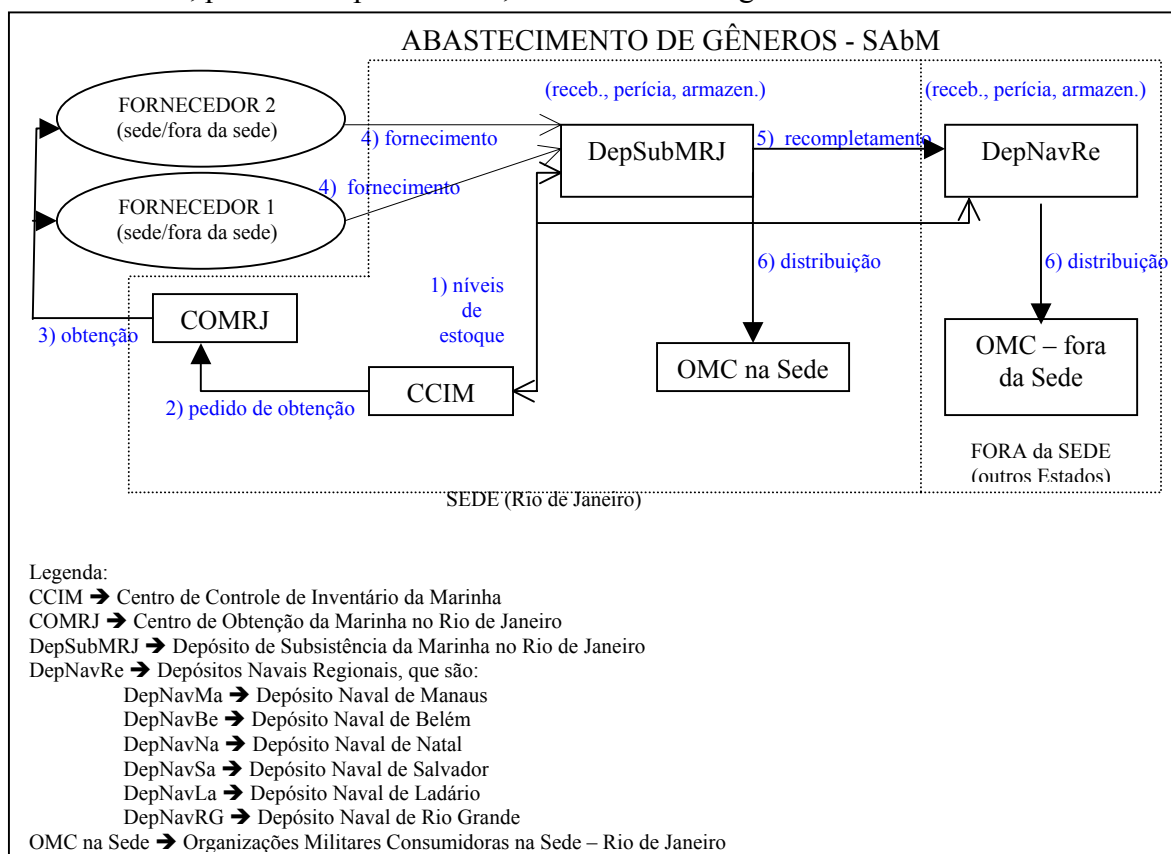
Foram buscadas as informações necessárias à realização da pesquisa na seqüência abaixo:

- 1 – nas publicações existentes sobre os assuntos abordados;
- 2 – nos setores detentores de tecnologia de informação, que pudessem disponibilizar amostragem para análise; e
- 3 – nos profissionais das áreas correspondentes aos assuntos estudados.

4. O ABASTECIMENTO DE GÊNEROS ALIMENTÍCIOS

Definido por um código alfabético, o Símbolo de Jurisdição de Material permite agrupar materiais de acordo com suas peculiaridades técnicas e gerenciais, além de sua natureza ou aplicação específica. Assim, gêneros alimentícios são identificados na Marinha como material de símbolo de jurisdição “M”.

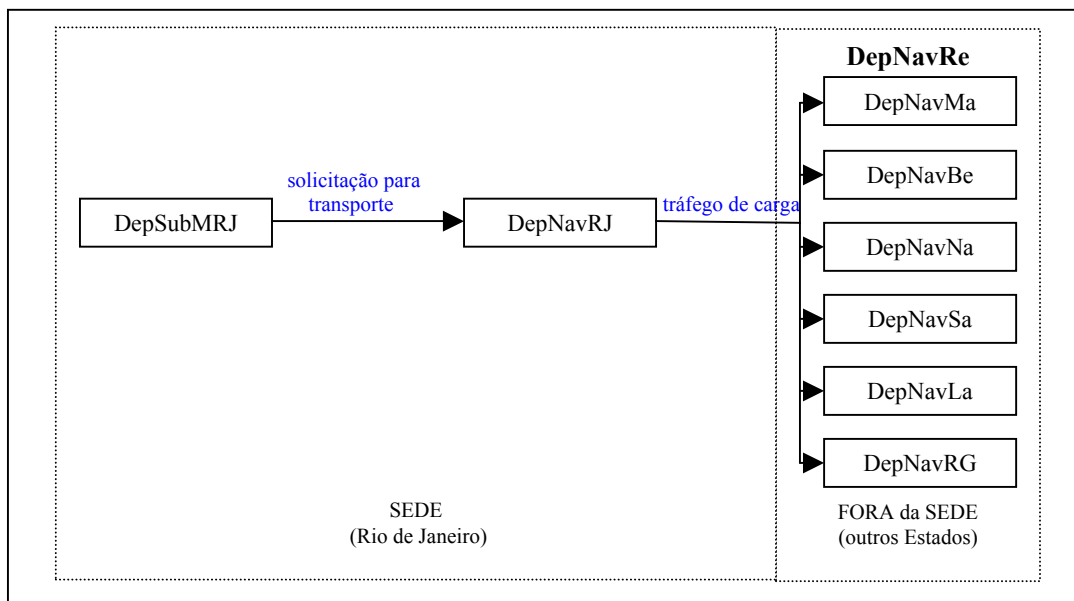
Dentro da estrutura do SAbM, observa-se que o Centro de Controle de Inventário da Marinha (CCIM), como Órgão de Controle, determina os níveis de estoque a serem mantidos nos Órgãos de Distribuição, promovendo o reabastecimento e o remanejamento dos excessos daqueles Órgãos. Já o Depósito de Subsistência da Marinha no Rio de Janeiro (DepSubMRJ) e os DepNavRe promovem o fornecimento dos gêneros às Organizações Militares Consumidoras (OMC). Em linhas gerais, a estrutura de abastecimento de gêneros alimentícios, promovido pelo SAbM, encontra-se da seguinte forma:



Fonte: Normas para Execução do Abastecimento – SGM-201, 2001.

Figura 1 – O abastecimento de gêneros na Marinha.

O recompletamento indicado na etapa nº 5 do quadro acima é realizado pelo Depósito Naval no Rio de Janeiro (DepNavRJ), que é o órgão responsável pela atividade gerencial Tráfego de Carga.



Fonte: Normas para Execução do Abastecimento – SGM-201, 2001.

Figura 2 – O recompletamento dos Depósitos Navais Regionais.

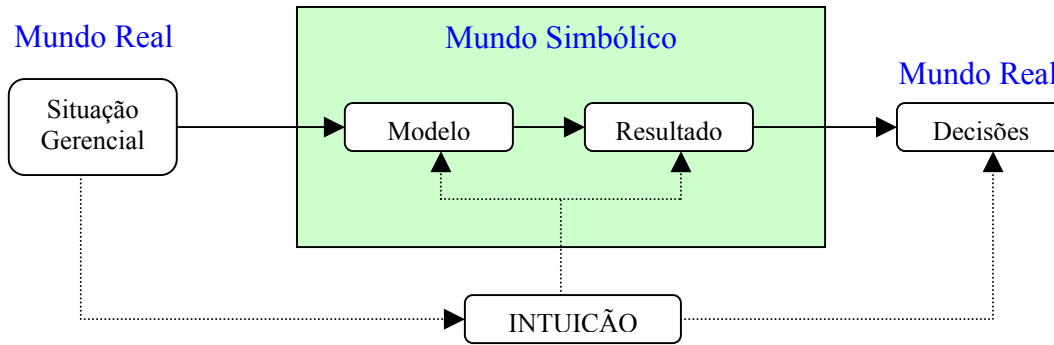
O modelo acima favorece para que a visão taylorista da fragmentação ainda perdure nos dias atuais. As atividades logísticas são distribuídas às OM envolvidas, de acordo com a missão de cada uma delas, dificultando a visão da logística como uma unidade integrada do sistema. E o gerenciamento integrado dos diversos componentes do sistema logístico é uma condição basilar para que quaisquer entidades consigam atingir excelência operacional com baixo custo.

5. A MODELAGEM MATEMÁTICA

5.1. O PROCESSO DE MODELAGEM NO APOIO À DECISÃO

Basicamente, uma modelagem é realizada para obtenção de solução de problemas. Otimização de recursos, Previsão e Planejamento, Localização, Roteirização e Alocação de Pessoas são alguns exemplos de problemas de que uma modelagem pode tratar. Os gerentes de logística se vêem, constantemente, diante de situações na qual uma decisão deve ser tomada entre uma série de alternativas normalmente conflitantes e concorrentes. Sua decisão pode pautar-se de duas formas: usando a intuição gerencial; e realizando uma modelagem da situação, com exaustivas simulações dos mais diversos cenários. É importante mencionar que, por mais que estabeleçamos um delineamento minucioso do cenário, nunca chegamos à sua total realidade. Isto significa dizer que os gerentes, ao se apoiarem em modelagens, procuram se aproximar ao máximo do mundo real com aquele mundo virtual criado.

Nesse sentido, percebe-se que as decisões dos gerentes devem ser pautadas, conjuntamente, nas duas opções descritas acima, de forma a permitir uma análise minuciosa, baseada em sua experiência, sobre as “sugestões” (resultados) apresentadas pelos modelos elaborados. Assim, podemos representar a relação do mundo real com o virtual da seguinte forma:



Fonte: Lachtermacher, 2002.

Figura 3 – Representação do mundo real com o virtual.

5.2. PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA

De modo bastante simplificado, a programação matemática busca otimizar recursos. Otimizar representa maximizar ou minimizar quantidades (valores) descritas na forma de função matemática, consideradas como variáveis de decisão. As relações entre as variáveis são descritas por meio de restrições ao problema proposto, expressas como equações e/ou inequações matemáticas. Assim, a formatação básica de uma programação matemática contém o que chamamos de função-objetivo, com suas variáveis de decisão, e as restrições, que impõem condições ao problema.

Por ser muito extensa, a programação matemática é subdividida em áreas menores dependendo do tipo das funções utilizadas nas funções-objetivo e restrições. Segundo Lachtermacher (2002, p. 25), elas podem ser:

Programação Linear – Programação Matemática em que todas as funções-objetivo e restrições são representadas por funções lineares.

Programação Não-linear – Programação matemática em que pelo menos uma das funções-objetivo e/ou restrições são representadas por funções não lineares.

A Programação Linear pode ser expressa da seguinte forma:

FUNÇÃO-OBJETIVO:
Otimizar $z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

RESTRICÇÕES:
Sujeito a: $g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq \text{ou} = \text{ou} \geq b_1$
 $g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq \text{ou} = \text{ou} \geq b_2$
 \vdots
 $g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq \text{ou} = \text{ou} \geq b_m$

Onde:
 $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n$
 $g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = a_{i1} x_1 + a_{i2} x_2 + \dots + a_{in} x_n$, para $i = 1, \dots, m$

n é o número de variáveis
m é o número de restrições do problema
i é o índice de uma determinada restrição

Fonte: Lachtermacher, 2002.

Figura 4 – A programação linear.

Quando o problema de Programação Linear possui uma ou mais variáveis que só podem ser representadas por valores inteiros, estamos tratando de um problema de Programação Linear Inteira. Esta condição torna, na grande maioria dos casos, o problema bem mais complexo e difícil de resolver, se compararmos com os problemas lineares. Isto

deve-se ao fato de que, normalmente, os algoritmos existentes procuram calcular todos os valores possíveis para a função-objetivo, sendo escolhido aquele que apresenta maior ou menor valor, dependendo da situação (maximização ou minimização, respectivamente). Dentre outros aspectos, o fato é que só se consegue resolver problemas relativamente pequenos, pois o número de combinações possíveis de soluções cresce de forma exponencial. Por exemplo, um problema de Programação Linear Inteira com 100 variáveis de decisão do tipo binária terá 2^{100} soluções viáveis.

A Programação Linear Inteira pode ser classificada como total ou mista, assim definidas por Lachtermacher (2002, p. 253):

Programação Inteira total – todas as variáveis de decisão são do tipo inteiro.

Programação Inteira mista – apenas uma parte das variáveis são do tipo inteiro, enquanto outras são do tipo real.

Quando necessitamos decidir sobre qual o tipo de transporte (A ou B) devemos movimentar um material, podemos apresentar a condição binária (0 ou 1) para estabelecermos a solução sim (1) ou não (0) em relação à escolha do transporte A ou B. Este exemplo é típico de Programação Linear Inteira, pois as variáveis que identificam os transportes A e B só podem assumir valores 0 (que representa não transportar) ou 1 (que representa transportar).

5.3. O MODELO DA LOGÍSTICA DE ALIMENTOS

Identificamos as seguintes variáveis componentes da estrutura logística de gêneros alimentícios da Marinha: a demanda dos produtos em cada centro de consumo, os estoques em cada Centro de Distribuição (CD) e os tipos de transporte existentes para a manutenção do fluxo de produtos entre os CD. Após identificadas essas variáveis, torna-se importante modelar matematicamente, com o apoio de um software de otimização, para se obter, com a premissa do menor custo total, as seguintes respostas, período a período: quanto produzir (comprar), quanto armazenar em cada CD, quanto transportar do CD principal para os secundários e em que tipo de transporte isto deverá ser feito. Percebe-se, portanto, a necessidade de, em um único modelo matemático e de forma integrada, explicitar as variáveis que compõem o cenário estudado.

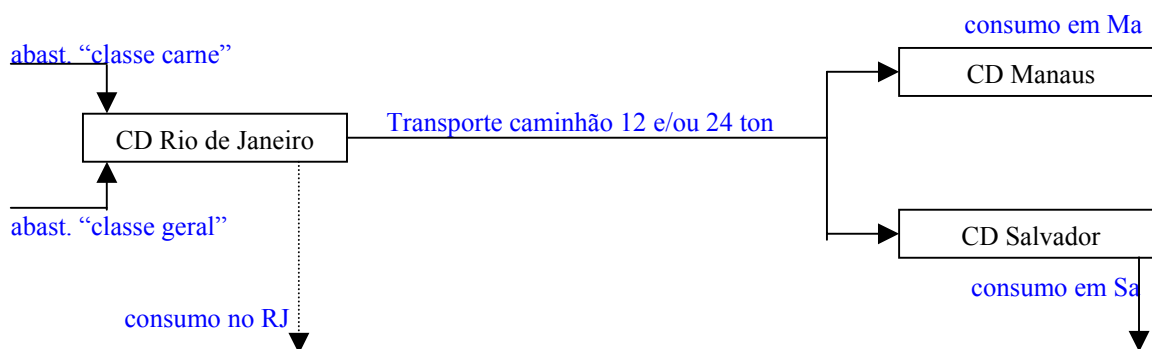
O software utilizado na modelagem foi o LINDO 6.1, em sua versão DEMO (livre), que, infelizmente, limita a modelagem em um máximo de 150 restrições, 300 variáveis e 50 variáveis inteiras, estas para o caso de uma modelagem de programação linear inteira. Para que se possa ter uma idéia, segue abaixo a comparação da modelagem realizada em anexo com as limitações da versão DEMO (de “demonstração”):

EVENTO	MODELAGEM REALIZADA	LIMITES DA VERSÃO “DEMO” DO LINDO 6.1
Número de restrições	136	150
Número de variáveis	128	300
Número de variáveis inteiras	32	50

Fonte: LINDO, 2004.

Figura 5 – Limitações do software de programação linear.

Em face das limitações impostas pelo software, a modelagem do abastecimento de gêneros alimentícios foi simplificada, seguindo a idéia de, posteriormente, com base em inferências, permitir estender o modelo para todos os produtos e localidades envolvidos. No modelo ora apresentado, dividiu-se toda a linha de fornecimento de produtos refrigerados do SAbM em duas classes (carne bovina e os demais, denominado “geral”), que são consumidos na Sede – Rio de Janeiro, em nos dois centros consumidores Fora de Sede – Manaus e Salvador, durante um período de 8 meses, ou seja, 8 períodos. Trata-se, portanto, de um modelo estruturado que envolve multi-produtos, com produção e fluxo desses produtos (transporte) e com multi-períodos. Portanto, a modelagem seguiu a estrutura abaixo:



Fonte: autor.

Figura 6 – A estrutura da modelagem matemática.

DEFINIÇÃO DA FUNÇÃO-OBJETIVO:

Inicialmente, para a definição da função-objetivo, necessitamos estabelecer os custos unitários de produção, armazenagem e transporte:

- a) o custo unitário de produção foi obtido com base na média aritmética ponderada do preço dos produtos selecionados a serem obtidos no Rio de Janeiro, uma vez que a modelagem pretende estabelecer a otimização do fluxo Sede – Fora de Sede. A ponderação foi elaborada com base na soma das demandas correspondentes às localidades de Manaus e Salvador, para cada produto.

1 – custo unitário da classe “carne bovina”: é a média aritmética ponderada dos itens abaixo:

ITEM	CONSUMO (Ma e Sa)	%	PREÇO UNIT. (R\$/Kg)	COMPOSIÇÃO (R\$/Kg)
Alcatra bovina inteira	2.081	18,6%	8,90	1,65
Bife contra filé	709	6,3%	8,30	0,53
Dianteiro bovino resfriado	3.446	30,8%	4,60	1,42
Traseiro bovino	4.946	44,3%	6,60	2,92
Total/Média (CC)	11.182	100%		R\$ 6,52/Kg

Fonte: autor.

Figura 7 – Cálculo para obtenção do preço unitário da classe “carne bovina”.

2 – custo unitário da classe “geral”: é a média aritmética ponderada dos itens abaixo:

ITEM	CONSUMO (Ma e Sa)	%	PREÇO UNIT. (R\$/Kg)	COMPOSIÇÃO (R\$/Kg)
Bucho	864,82	3,6%	2,97	0,11
Carré suíno fatiado	4.150,16	17,2%	4,66	0,80

Coxa de frango	13.549,28	56,2%	2,76	1,55
Fígado bovino corte	935,96	3,9%	5,17	0,20
File peito de frango	961,02	4,0%	4,94	0,20
Hamburger bovino	693,79	2,9%	3,89	0,11
Lombo bovino	103,82	0,4%	12,89	0,06
Lombo suíno	970,27	4,0%	6,17	0,25
Pernil suíno	518,57	2,2%	4,39	0,09
Rabada	521,57	2,2%	4,56	0,10
Salsicha	836,59	3,5%	2,75	0,10
Total/Média (CC)	24.106	100%		R\$ 3,56/Kg

Fonte: autor.

Figura 8– Cálculo para obtenção do preço unitário da classe “geral”.

- b) o custo unitário de armazenagem é:
- 1 – no Rio de Janeiro: CaRJ = R\$ 0,058/Kg de produto armazenado.
 - 2 – em Manaus: CaMa = R\$ 0,020/Kg de produto armazenado.
 - 3 – em Salvador: CaSa = R\$ 0,029/Kg de produto armazenado.
- c) o custo fixo do transporte para as cidades de Manaus e Salvador é:
- 1 – do Rio de Janeiro para Manaus:

TIPO DE TRANSPORTE	PREÇO (R\$)
Caminhão de 12.000 Kg (CTM12)	12.284,00
Caminhão de 24.000 Kg (CTM24)	22.161,00

- 2 – do Rio de Janeiro para Salvador:

TIPO DE TRANSPORTE	PREÇO (R\$)
Caminhão de 12.000 Kg (CTS12)	3.781,00
Caminhão de 24.000 Kg (CTS24)	5.868,00

O segundo passo é definir as variáveis de decisão que comporão a função-objetivo. Cabe, neste momento, identificar que a modelagem trata-se de uma programação linear inteira mista, pois o transporte é um custo fixo que apresenta duas opções de transporte, em caminhões de 12.000 Kg e/ou 24.000 kg, conforme a necessidade.

Por se tratar de Programação Linear Inteira, o software LINDO utiliza o algoritmo *Branch and Bounds*, que tem a idéia de dividir o conjunto de soluções viáveis em subconjuntos sem intersecções entre si, calculando-se os limites superiores e inferiores para cada subconjunto e eliminar certos subconjuntos de acordo com as regras preestabelecidas.

São as seguintes as variáveis que compõem a função-objetivo:

SIGLA	DEFINIÇÃO DA VARIÁVEL
PCi	Quantidade de aquisição (produção) dos itens da classe “carne bovina” no período “i”
PGi	Quantidade de aquisição (produção) dos itens da classe “geral” no período “i”
RCi	Quantidade de armazenagem no RJ dos itens da classe “carne bovina” no período “i”
RGi	Quantidade de armazenagem no RJ dos itens da classe “geral” no período “i”

MCi	Quantidade de armazenagem em Manaus dos itens da classe “carne bovina” no período “i”
MGi	Quantidade de armazenagem em Manaus dos itens da classe “geral” no período “i”
SCi	Quantidade de armazenagem em Salvador dos itens da classe “carne bovina” no período “i”
SGi	Quantidade de armazenagem em Salvador dos itens da classe “geral” no período “i”
XTMi	Variável binária (0 ou 1) que, quando 1, identifica que houve transporte de gêneros para Manaus em caminhão de 12.000 Kg no período “i”
YTMi	Variável binária (0 ou 1) que, quando 1, identifica que houve transporte de gêneros para Manaus em caminhão de 24.000 Kg no período “i”
XTSi	Variável binária (0 ou 1) que, quando 1, identifica que houve transporte de gêneros para Salvador em caminhão de 12.000 Kg no período “i”
YTSi	Variável binária (0 ou 1) que, quando 1, identifica que houve transporte de gêneros para Salvador em caminhão de 24.000 Kg no período “i”

Fonte: autor.

Figura 9– As variáveis da modelagem matemática.

Devemos ainda definir as variáveis relacionadas ao transporte que não fazem parte da função-objetivo, pois servem para verificar quantidades transportadas e não custos envolvidos:

TCMi	Quantidade de gêneros da classe “carne bovina” transportada do Rio de Janeiro para Manaus no período “i”
TGMi	Quantidade de gêneros da classe “geral” transportada do Rio de Janeiro para Manaus no período “i”
TCSi	Quantidade de gêneros da classe “carne bovina” transportada do Rio de Janeiro para Salvador no período “i”
TGSi	Quantidade de gêneros da classe “geral” transportada do Rio de Janeiro para Salvador no período “i”

Fonte: autor.

Figura 10– As variáveis inteiras da modelagem matemática.

Assim, a função-objetivo é a seguinte:

$$\text{“}\sum (CC*PCi + CG*PGi + CaRJ*RCi + CaRJ*RGi + CTM12*XTMi + CTM24*YTMi + CaMa*MCi + CaMa*MGi + CTS12*XTSi + CTS24*YTSi + CaSa*SCi + CaSa*Sgi)\text{”},$$

sendo $i = 1, 2, \dots, 8$

DEFINIÇÃO DAS RESTRIÇÕES:

Quando tratamos de fluxo de produtos com armazenagem, temos sempre a equação básica em foco: “**Estoque inicial + Entradas – Saídas = Estoque Final**”. Esta equação deverá ser utilizada nos três CD que fazem parte do modelo. Porém, antes de estabelecermos as fórmulas, necessitamos observar os consumos existentes em cada cidade. O quadro abaixo nos indica as demandas existentes em cada Centro de Consumo para cada classe de produtos. Essas demandas foram obtidas estatisticamente, de acordo com as demandas reais ocorridas nos meses de junho a agosto/2003, permitindo se chegar na demanda média, que servirá para todos os períodos. Portanto, as demandas médias mensais são as seguintes:

DEMANDA MÉDIA MENSAL DE GÊNEROS FRIGORIFICADOS (Kg)			
CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO	CLASSE DE PRODUTOS		TOTAL
	CARNE BOVINA	GERAL	

Rio de Janeiro	116.837	251.854	368.691
Manaus	3.746	10.505	14.251
Salvador	7.437	13.601	21.038
TOTAL	128.020	275.960	403.980

Fonte: autor.

Figura 11 – Cálculo da demanda média de alimentos nos Centros de Consumo.

Assim, podemos estabelecer a equação em cada CD:

1 – no CD do Rio de Janeiro relativo à estocagem “carne bovina”:

$$“RC_{i-1} + PC_i - TCM_i - TCS_i - 116.837 = RC_i”$$

2 – no CD do Rio de Janeiro relativo à estocagem “geral”:

$$“RG_{i-1} + PG_i - TGM_i - TGS_i - 251.854 = RG_i”$$

3 – no CD de Manaus relativo à estocagem “carne bovina”:

$$“MC_{i-1} + TCM_i - 3.746 = MC_i”$$

4 – no CD de Manaus relativo à estocagem “geral”:

$$“MG_{i-1} + TGM_i - 10.505 = MG_i”$$

5 – no CD de Salvador relativo à estocagem “carne bovina”:

$$“SC_{i-1} + TCS_i - 7.437 = SC_i”$$

6 – no CD de Salvador relativo à estocagem “geral”:

$$“SG_{i-1} + TGS_i - 13.601 = SG_i”, \text{ sendo, para todas as restrições acima: } i = 1,2,\dots,8$$

Além dessas restrições, observamos que o CD de Manaus, ao contrário dos CD do Rio de Janeiro e Salvador, possui uma capacidade máxima de armazenagem de 40.000 Kg, que pode ser indicada da seguinte forma:

$$“MC_i + MG_i \leq 40.000”, \text{ sendo } i = 1,2,\dots,8$$

É importante mencionar que os CD do Rio de Janeiro e Salvador são terceirizados, mediante contrato de prestação de serviço, não se impondo limites de capacidade de armazenagem.

Como a modelagem busca o menor custo possível, se não houver uma restrição impondo um estoque de segurança, o resultado tenderá a sempre manter estoque “zero”, o que, além de não representar o mundo real, pode provocar rupturas nos estoques, havendo queda nos níveis de serviço. Desta forma, sugerimos estabelecer um estoque de segurança de:

- 15% para o CD do Rio de Janeiro assegurar o abastecimento para as OM da Sede e para os demais CD; e
- 20% para os CD de Manaus e Salvador assegurarem o abastecimento às OM de suas respectivas áreas.

Assim, temos:

1 – Estoque de segurança do CD do RJ para “carne bovina”:

$$“(15\% \text{ de } 128.020) = 19.203”. \text{ Logo } “RC_i \geq 19.203”$$

2 – Estoque de segurança do CD do RJ para “geral”:

$$“(15\% \text{ de } 275.960) = 41.394”. \text{ Logo } “RG_i \geq 41.394”$$

3 – Estoque de segurança do CD de Manaus para “carne bovina”:

$$“(20\% \text{ de } 3.746) = 749”. \text{ Logo } “MC_i \geq 749”$$

4 – Estoque de segurança do CD de Manaus para “geral”:

$$“(20\% \text{ de } 10.505) = 2.101”. \text{ Logo } “MG_i \geq 2.101”$$

5 – Estoque de segurança do CD de Salvador para “carne bovina”:

$$“(20\% \text{ de } 7.437) = 1.488”. \text{ Logo } “SC_i \geq 1.488”$$

6 – Estoque de segurança do CD de Salvador para “geral”:

$$“(20\% \text{ de } 13.601) = 2.720”. \text{ Logo } “SG_i \geq 2.720”. \text{ Considere para todas as restrições:}$$

$$i = 1,2,\dots,8$$

Finalmente, necessitamos definir as restrições do transporte, pois podemos estabelecer as opções de transporte em caminhões com capacidade máxima de 12 e/ou 24 toneladas.

Desta forma, temos no transporte para Manaus:

“ $TCM_i + TGM_i \geq 12.001$, se utilizarmos um caminhão de 24 toneladas”.

Logo: “ $TCM_i + TGM_i - 12.001YTM_i \geq 0$. Isto porque não faz sentido contratarmos um caminhão de 24 toneladas para transportar carga que caberia em um caminhão de 12 toneladas.

Quanto à capacidade máxima, temos:

“ $TCM_i + TGM_i \leq 36.000$ ”, se utilizarmos um caminhão de 24 e outro de 12 toneladas no mesmo período para o mesmo destino.

Logo: “ $TCM_i + TGM_i - 24.000 YTM_i - 12.000XTM_i \leq 0$ ”. Assim, estabelecemos a restrição de capacidade, uma vez que YTM_i e XTM_i são números binários que assumem apenas os valores 0 ou 1.

Analogamente, no transporte para Salvador, temos:

“ $TCS_i + TGS_i \geq 12.001$, se utilizarmos um caminhão de 24 toneladas”.

Logo: “ $TCS_i + TGS_i - 12.001YTS_i \geq 0$ ”.

Quanto à capacidade máxima:

“ $TCS_i + TGS_i \leq 36.000$ ”, se utilizarmos um caminhão de 24 e outro de 12 toneladas no mesmo período para o mesmo destino.

Logo: “ $TCS_i + TGS_i - 24.000 YTS_i - 12.000XTS_i \leq 0$ ”.

Como as variáveis YTM_i , YTS_i , XTM_i e XTS_i são binárias (assumem valores 0 ou 1), temos as seguintes opções e respectivos resultados, que validam a modelagem acima:

VALIDAÇÃO DA ESCOLHA DO TRANSPORTE PARA A CIDADE DE MANAUS		
VALORES		RESTRIÇÕES IMPOSTAS NO MODELO
YTM_i	XTM_i	$TCM_i + TGM_i - 12.001YTM_i \geq 0$ $TCM_i + TGM_i - 24.000 YTM_i - 12.000XTM_i \leq 0$
0	0	$TCM_i + TGM_i - 12.001 * 0 \geq 0$. Logo, $TCM_i + TGM_i \geq 0$ $TCM_i + TGM_i - 24.000 * 0 - 12.000 * 0 \leq 0$. Logo, $TCM_i + TGM_i \leq 0$ Resultado: Nada transportado em caminhão de 12 nem de 24 toneladas.
0	1	$TCM_i + TGM_i - 12.001 * 0 \geq 0$. Logo, $TCM_i + TGM_i \geq 0$ $TCM_i + TGM_i - 24.000 * 0 - 12.000 * 1 \leq 0$. Logo, $TCM_i + TGM_i \leq 12.000$ Resultado: Transporte em caminhão de 12 toneladas.
1	0	$TCM_i + TGM_i - 12.001 * 1 \geq 0$. Logo, $TCM_i + TGM_i \geq 12.001$ $TCM_i + TGM_i - 24.000 * 1 - 12.000 * 0 \leq 0$. Logo, $TCM_i + TGM_i \leq 24.000$ Resultado: Transporte em caminhão de 24 toneladas.
1	1	$TCM_i + TGM_i - 12.001 * 1 \geq 0$. Logo, $TCM_i + TGM_i \geq 12.001$ $TCM_i + TGM_i - 24.000 * 1 - 12.000 * 1 \leq 0$. Logo, $TCM_i + TGM_i \leq 36.000$ Resultado: Transporte em caminhões de 24 e 12 toneladas, no mesmo período.

Fonte: autor.

Figura 12 – As diversas opções de transporte.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Podemos afirmar que uma visão abrangente do assunto proposto aponta para o fato de que é fundamental a utilização racional dos escassos recursos financeiros destinados ao setor de alimentos. As necessidades são inúmeras e o Sistema deve estar preparado para atender da melhor maneira a essas necessidades.

A modelagem matemática apresentada no presente artigo mostrou que é possível a utilização de ferramentas de apoio à decisão, em especial, nas situações que envolvem

inúmeras variáveis interdependentes e que se tornam de difícil visualização em face de sua complexidade. Entretanto, por mais próxima do mundo real, esta ferramenta não consegue atuar com todas as variáveis daquele mundo real, impondo aos gerentes uma análise criteriosa dos resultados obtidos, momento que em devem ser levados em consideração as experiências dos profissionais da área. Em que pese ter sido feita apenas como uma demonstração do modo de se montar matematicamente um modelo, ela nos traz uma perspectiva bastante favorável de economia de recursos financeiros, quando observados os custos de produção (aquisição) e logísticos. Por outro lado, o estabelecimento no modelo de níveis mínimos de estoque em cada CD mostra a preocupação em se diminuir custos sem perda da qualidade desejada.

Quando “rodamos” o programa, os resultados representam as respostas de quanto devemos comprar, armazenar e transportar, além de indicar a melhor maneira de transporte. Foram 153.656 interações, com 13.821 “branches” realizados até se chegar à solução ótima. Seria bastante complicado se chegar a esta solução sem o apoio de uma ferramenta computacional como esta, considerando que o problema foi simplificado, em face da limitação da versão do sistema. Vale mencionar que necessitaríamos da versão “extended” do LINDO, ou seja, uma versão com limites maiores, para que pudéssemos, utilizando a mesma lógica de montagem do sistema, acrescentar os demais produtos e Centros de Consumo.

No que diz respeito a compras (quanto produzir), importante se faz mencionar que mudanças na Lei de Licitações (8.666/93), com o surgimento do Sistema de Registro de Preços deu maior rapidez nas obtenções, o que permitiu o provimento dos itens licitados por meio de demanda puxada, pois o processo licitatório, neste caso, tende a ser mais flexível tanto no aspecto das quantidades a serem obtidas, quanto no prazo de validade do próprio certame (até um ano). Desta forma, pode-se planejar quanto comprar mês a mês sem ter a preocupação dos prazos necessários ao processo licitatório, o que vai ao encontro da idéia da modelagem, ou seja, recebimentos de produtos período a período.

Quando tratamos de logística integrada neste trabalho, estamos tratando exclusivamente da integração interna necessária à Marinha para gerir de forma mais efetiva seus recursos na área de alimentos. Devemos, no entanto, acenar para a possibilidade de uma integração externa, que vai desde a produção e aquisição, até o fornecimento e consumo final, atividades estas ainda distantes de integração. Mas a realidade empresarial mostra que ferramentas ligadas à tecnologia da informação têm avançado significativamente nessa questão, de forma a se buscar a integração da cadeia logística como um todo. Sem dúvidas, no momento em que a logística de suprimentos (*inbound logistics*) e a logística de fornecimento (*outbound logistics*) estiverem integradas dentro da cadeia logística, outras novas oportunidades de negócios surgirão, permitindo ainda mais a efetividade do gerenciamento logístico de alimentos na Marinha.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BALLOU, Ronald H.. Logística Empresarial. **Transportes, Administração de Material e Distribuição Física**. Trad. Hugo T. Y. Yoshizaki. São Paulo: Atlas, 1993.
- [2] BOWERSOX, Donald J., CLOSS, David J.. Logística Empresarial. **O Processo de Integração da Cadeia de Suprimento**. Trad. Equipe do Centro de Estudos em Logística, Adalberto Ferreira das Neves. São Paulo: Atlas, 2001.

- [3] BRASIL. Estado Maior da Armada. **Manual de Logística da Marinha – EMA-400**. 2. rev. Brasília, DF, 1998.
- [4] BRASIL. Secretaria Geral da Marinha. **Normas para Execução do Abastecimento – SGM-201**. 3. rev. v.1. Brasília, DF, 2001.
- [5] CAIXETA-FILHO, José Vicente, GAMEIRO, Augusto Hauber (Org.). **Transporte e Logística em Sistemas Agroindustriais**. São Paulo: Atlas, 2001.
- [6] CHOPRA, Sunil, MEINDL, Peter. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimento: Estratégia, Planejamento e Operação**. São Paulo: Prentice Hall, 2003.
- [7] CHRISTOPHER, Martin. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimento. Estratégia para a Redução de Custos e Melhoria dos Serviços**. Trad. Francisco Monteiro Roque Leite. 1. ed. São Paulo: Thomson, 1997.
- [8] DEFESANET. **Presidente defende Forças Armadas bem equipadas e treinadas**. Distrito Federal, DF. Disponível em: <<http://www.defesanet.com.br/dn/03FEV03.htm>>. Acesso em 20 abr. 2003.
- [9] DEMING, W. Edwards. **Qualidade: a revolução da administração**. Rio de Janeiro: Marques-Saraiva, 1990. Apud ANNUNCIACÃO, João Wander Nascimento de. **A Tecnologia a Serviço da Logística**. Monografia (Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Administração e Logística de Material). Rio de Janeiro: Centro de Instrução Almirante Wandenkolk, 1998.
- [10] DORNIER, Philippe-Pierre et al. **Logística e Operações Globais: textos e casos**. São Paulo: Atlas, 2000.
- [11] FLEURY, Paulo Fernando, WANKE, Peter, FIGUEIREDO, Kleber Fossati (Org.). **Logística Empresarial – A Perspectiva Brasileira**. São Paulo: Atlas, 2000.
- [12] LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.
- [13] LEVINE, David M., BERENSON, Mark L., STEPHAN, David. **Estatística: Teoria e Aplicações**. Trad. Teresa Cristina Padilha de Souza. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
- [14] LINDO Systems. Software de otimização DEMO Lindo/PC. Versão 6.1. Chigago, IL. Disponível em: <<http://www.lindo.com/download/lindo>>. Acesso em 20 jun. 2004.
- [15] NOVAES, Antônio Galvão. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição**. Rio de Janeiro: Campus, 2001.
- [16] PRADO, Darci Santos do. **Programação Linear**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.

ANEXO

!MODELAGEM MATEMÁTICA DO FLUXO DE MATERIAIS

!FUNÇÃO OBJETIVA

MIN 6.52PC1 +3.56PG1 +0.058RC1 +0.058RG1 +12284XTM1 +22161YTM1 +0.029MC1 +0.029MG1+3781XTS1
+5868YTS1 +0.020SC1 +0.020SG1+
6.52PC2 +3.56PG2 +0.058RC2 +0.058RG2 +12284XTM2 +22161YTM2 +0.029MC2 +0.029MG2 +3781XTS2
+5868YTS2 +0.020SC2 +0.020SG2+
6.52PC3 +3.56PG3 +0.058RC3 +0.058RG3 +12284XTM3 +22161YTM3 +0.029MC3 +0.029MG3 +3781XTS3
+5868YTS3 +0.020SC3 +0.020SG3+

6.52PC4 +3.56PG4 +0.058RC4 +0.058RG4 +12284XTM4 +22161YTM4 +0.029MC4 +0.029MG4 +3781XTS4 +5868YTS4 +0.020SC4 +0.020SG4+
 6.52PC5 +3.56PG5 +0.058RC5 +0.058RG5 +12284XTM5 +22161YTM5 +0.029MC5 +0.029MG5 +3781XTS5 +5868YTS5 +0.020SC5 +0.020SG5+
 6.52PC6 +3.56PG6 +0.058RC6 +0.058RG6 +12284XTM6 +22161YTM6 +0.029MC6 +0.029MG6+3781XTS6 +5868YTS6 +0.020SC6 +0.020SG6+
 6.52PC7 +3.56PG7 +0.058RC7 +0.058RG7 +12284XTM7 +22161YTM7 +0.029MC7 +0.029MG7+3781XTS7 +5868YTS7 +0.020SC7 +0.020SG7+
 6.52PC8 +3.56PG8 +0.058RC8 +0.058RG8 +12284XTM8 +22161YTM8 +0.029MC8 +0.029MG8+3781XTS8 +5868YTS8 +0.020SC8 +0.020SG8 SUBJECT TO

! COMENTÁRIOS: 1) No armazém RJ ==> Estoque inicial + entradas - saídas = estoque final; e 2) A quantidade (em Kg) correspondente à "saída" do armazém da área RJ foi estabelecida com base na demanda da área RJ acrescida da demanda da área Manaus, apenas para os itens que serão adquiridos na Sede RJ.

! PRODUÇÃO DE CARNE:

PC1 -TCM1 -TCS1 -RC1 =116837
 PC2 +RC1 -TCM2 -TCS2 -RC2 =116837
 PC3 +RC2 -TCM3 -TCS3 -RC3 =116837
 PC4 +RC3 -TCM4 -TCS4 -RC4 =116837
 PC5 +RC4 -TCM5 -TCS5 -RC5 =116837
 PC6 +RC5 -TCM6 -TCS6 -RC6 =116837
 PC7 +RC6 -TCM7 -TCS7 -RC7 =116837
 PC8 +RC7 -TCM8 -TCS8 -RC8 =116837

! PRODUÇÃO GERAL:

PG1 -TGM1 -TGS1 -RG1 =251854
 PG2 +RG1 -TGM2 -TGS2 -RG2 =251854
 PG3 +RG2 -TGM3 -TGS3 -RG3 =251854
 PG4 +RG3 -TGM4 -TGS4 -RG4 =251854
 PG5 +RG4 -TGM5 -TGS5 -RG5 =251854
 PG6 +RG5 -TGM6 -TGS6 -RG6 =251854
 PG7 +RG6 -TGM7 -TGS7 -RG7 =251854
 PG8 +RG7 -TGM8 -TGS8 -RG8 =251854

! COMENTÁRIOS: 1) No armazém de Manaus ==> Estoque inicial + entradas - saídas = estoque final; e 2) A quantidade (em Kg) correspondente à "saída" do armazém da área Manaus foi estabelecida com base na demanda daquela área, considerando, apenas, os itens que serão adquiridos da Sede RJ.

! PRODUÇÃO DE CARNE:

TCM1 -MC1 =3746
 MC1+TCM2 -MC2 =3746
 MC2+TCM3 -MC3 =3746
 MC3+TCM4 -MC4 =3746
 MC4+TCM5 -MC5 =3746
 MC5+TCM6 -MC6 =3746
 MC6+TCM7 -MC7 =3746
 MC7+TCM8 -MC8 =3746

! PRODUÇÃO GERAL:

TGM1 -MG1 =10505
 MG1+TGM2 -MG2 =10505
 MG2+TGM3 -MG3 =10505
 MG3+TGM4 -MG4 =10505
 MG4+TGM5 -MG5 =10505
 MG5+TGM6 -MG6 =10505
 MG6+TGM7 -MG7 =10505
 MG7+TGM8 -MG8 =10505

! COMENTÁRIOS: 1) No armazém de Salvador ==> Estoque inicial + entradas - saídas = estoque final; e 2) A quantidade (em Kg) correspondente à "saída" do armazém da área Salvador foi estabelecida com base na demanda daquela área, considerando, apenas, os itens que serão adquiridos da Sede RJ.

! PRODUÇÃO DE CARNE:

TCS1 -SC1 =7437
 SC1+TCS2 -SC2 =7437
 SC2+TCS3 -SC3 =7437
 SC3+TCS4 -SC4 =7437
 SC4+TCS5 -SC5 =7437
 SC5+TCS6 -SC6 =7437
 SC6+TCS7 -SC7 =7437
 SC7+TCS8 -SC8 =7437

! PRODUÇÃO GERAL:

TGS1 -SG1 =13601
 SG1+TGS2 -SG2 =13601
 SG2+TGS3 -SG3 =13601
 SG3+TGS4 -SG4 =13601
 SG4+TGS5 -SG5 =13601
 SG5+TGS6 -SG6 =13601
 SG6+TGS7 -SG7 =13601
 SG7+TGS8 -SG8 =13601

! COMENTÁRIOS: Definição da escolha do transporte para Manaus e Salvador (caminhão 12 ou 24 ton.).

TCM1+TGM1-12001YTM1>=0
 TCM1+TGM1-24000YTM1-12000XTM1<=0
 TCM2+TGM2-12001YTM2>=0
 TCM2+TGM2-24000YTM2-12000XTM2<=0
 TCM3+TGM3-12001YTM3>=0
 TCM3+TGM3-24000YTM3-12000XTM3<=0
 TCM4+TGM4-12001YTM4>=0
 TCM4+TGM4-24000YTM4-12000XTM4<=0
 TCM5+TGM5-12001YTM5>=0
 TCM5+TGM5-24000YTM5-12000XTM5<=0
 TCM6+TGM6-12001YTM6>=0
 TCM6+TGM6-24000YTM6-12000XTM6<=0
 TCM7+TGM7-12001YTM7>=0
 TCM7+TGM7-24000YTM7-12000XTM7<=0
 TCM8+TGM8-12001YTM8>=0

TCS1+TGS1-12001YTS1>=0
 TCS1+TGS1-24000YTS1-12000XTS1<=0
 TCS2+TGS2-12001YTS2>=0
 TCS2+TGS2-24000YTS2-12000XTS2<=0
 TCS3+TGS3-12001YTS3>=0
 TCS3+TGS3-24000YTS3-12000XTS3<=0
 TCS4+TGS4-12001YTS4>=0
 TCS4+TGS4-24000YTS4-12000XTS4<=0
 TCS5+TGS5-12001YTS5>=0
 TCS5+TGS5-24000YTS5-12000XTS5<=0
 TCS6+TGS6-12001YTS6>=0
 TCS6+TGS6-24000YTS6-12000XTS6<=0
 TCS7+TGS7-12001YTS7>=0
 TCS7+TGS7-24000YTS7-12000XTS7<=0
 TCS8+TGS8-12001YTS8>=0



TCM8+TGM8-24000YTM8-12000XTM8<=0

TCS8+TGS8-24000YTS8-12000XTS8<=0

! COMENTÁRIOS: Estoque de Segurança na Sede RJ correspondente a 15% da demanda total.

!ESTOQUE MÍNIMO DE

!ESTOQUE MÍNIMO

CARNE NO RIO DE JANEIRO:

GERAL NO RIO DE JANEIRO:

[15% de (128.020) = 19.203 kg].

[15% de 27.5960 = 41.394 kg].

RC1 >=19203

RG1 >=41394

RC2 >=19203

RG2 >=41394

RC3 >=19203

RG3 >=41394

RC4 >=19203

RG4 >=41394

RC5 >=19203

RG5 >=41394

RC6 >=19203

RG6 >=41394

RC7 >=19203

RG7 >=41394

RC8 >=19203

RG8 >=41394

! COMENTÁRIOS: Estoque de Segurança em Manaus correspondente a 20% da demanda naquele local, respeitando a capacidade máxima de armazenagem.

!ESTOQUE MÍNIMO DE

!ESTOQUE MÍNIMO

CARNE EM MANAUS:

GERAL EM MANAUS:

[20% de (3.746) = 749 kg].

[20% de (10.505) = 2.101 kg].

MC1 >=749

MG1 >=2101

MC2 >=749

MG2 >=2101

MC3 >=749

MG3 >=2101

MC4 >=749

MG4 >=2101

MC5 >=749

MG5 >=2101

MC6 >=749

MG6 >=2101

MC7 >=749

MG7 >=2101

MC8 >=749

MG8 >=2101

! COMENTÁRIOS: Estoque de Segurança em Salvador correspondente a 20% da demanda naquele local, respeitando a capacidade máxima de armazenagem.

!ESTOQUE MÍNIMO DE

!ESTOQUE MÍNIMO

CARNE EM SALVADOR:

GERAL EM SALVADOR:

[20% de (7.437) = 1.488 kg].

[20% de (13.601) = 2.720 kg].

SC1 >=1488

SG1 >=2720

SC2 >=1488

SG2 >=2720

SC3 >=1488

SG3 >=2720

SC4 >=1488

SG4 >=2720

SC5 >=1488

SG5 >=2720

SC6 >=1488

SG6 >=2720

SC7 >=1488

SG7 >=2720

SC8 >=1488

SG8 >=2720

! COMENTÁRIOS: Restrição de capacidade do armazém Fora de Sede (Manaus = 40.000 Kg).

MC1 +MG1 <=40000 MC2 +MG2 <=40000 MC3 +MG3 <=40000 MC4 +MG4 <=40000

MC5 +MG5 <=40000 MC6 +MG6 <=40000 MC7 +MG7 <=40000 MC8 +MG8 <=40000

! Não há restrição de capacidade nos armazéns do Rio de Janeiro e de Salvador por serem serviços terceirizados.

END

INT XTM1 INT YTM1 INT XTM2 INT YTM2 INT XTM3 INT YTM3

INT XTM4 INT YTM4 INT XTM5 INT YTM5 INT XTM6 INT YTM6

INT XTM7 INT YTM7 INT XTM8 INT YTM8 INT XTS1 INT YTS1

INT XTS2 INT YTS2 INT XTS3 INT YTS3 INT XTS4 INT YTS4

INT XTS5 INT YTS5 INT XTS6 INT YTS6 INT XTS7 INT YTS7

INT XTS8 INT YTS8