

Este exemplar corresponde a redação final da tese defendida por Daniilo da Silva Campos e aprovada pela Comissão Julgada em 29/11/99  
Orientador [assinatura]

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
E DE COMPUTAÇÃO**

Novembro de 1999

**O problema de inventário e roteamento de veículos:  
uma aplicação ao setor agroindustrial**

**Aluno:**  
Danilo da Silva Campos

**Orientador:**  
Prof. Dr. Paulo Morelato França

**Banca examinadora:**  
Prof. Dr. Paulo Morelato França  
Prof. Dr. Luiz Henrique Antunes Rodrigues  
Prof. Dr. Akebo Yamakami

**Tese de Mestrado apresentada  
à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação  
da Universidade Estadual de Campinas**

UNICAMP  
BIBLIOTECA CENTRAL

88760000

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	T/UNICAMP
	C157p
V.	Ex
CONTINUTIVO	50/41128
PROJ.	278/00
	<input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B <input checked="" type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
	16-06-00
	CPU

CM-00142439-2

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

C157p Campos, Danilo da Silva  
O problema de inventário e roteamento de veículos:  
uma aplicação ao setor agroindustrial. / Danilo da Silva  
Campos.--Campinas, SP: [s.n.], 1999.

Orientador: Paulo Morelato França  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de  
Computação.

1. Heurística. 2. Análise combinatória. 3.  
Armazenamento e transporte de cargas. 4. Otimização  
combinatória. I. França, Paulo Morelato. II.  
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de  
Engenharia Elétrica e de Computação. III. Título.

## **RESUMO**

Neste trabalho foi estudado o problema de inventário e roteamento de veículos (PIRV). Um estudo de caso originado na agroindústria, para o problema de distribuição de ração de frangos foi relatado. O problema foi modelado como uma variação do PIRV tradicional. Uma série de restrições foram levantadas de maneira incremental e discutidas ao longo do trabalho. A estratégia de resolução focou, em primeiro lugar, o problema de manutenção do inventário nas granjas e depois, num segundo nível, no roteamento dos veículos. O algoritmo de programação de envios apresentado respeita todas as restrições técnicas e operacionais relacionadas ao problema de distribuição de ração. O algoritmo de montagem das rotas é usado sob demanda no momento dos despachos dos veículos da fábrica. O algoritmo foi colocado em operação e validado na prática. Uma simulação é apresentada para efeito de análise. Finalmente, foi desenvolvido um sistema computacional que integra todas as informações pertinentes ao problema, bem como que oferece uma interface amigável para os usuários do planejamento da empresa.

## **ABSTRACT**

In this work we have studied the inventory and vehicle routing problem (IRVP). A case study, raised on the agribusiness area, for distribution of chicken food have been described. The problem was modeled as a variation of the traditional IRVP. Many constraints have been reported in an incremental way and explained throughout this work. The resolution strategy focused, first, on the inventory guarantee problem, and in a second level on vehicle routing problem. The delivery planning algorithm considers all technical and operational constraints related with the distribution chicken food system. The dispatching algorithm is used on demand, when each vehicle arrive in the factory. The algorithms have been evaluated and validated in a real operation. The analysis of the performance of the method was done by simulation. Finally, we have developed a software that integrate all information needed to the planner, with a friendly user interface.

## **Apoio Financeiro**

Este trabalho contou como o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

## **Dedicatória**

Este trabalho é dedicado ao meu guru, amigo e orientador, *Paulo França !!!*

<i>Algoritmo de montagem de rota na balança</i> .....	38
SIMULAÇÃO DO SISTEMA.....	39
<i>Amostra</i> .....	39
<i>Perfis de Inventário</i> .....	40
<i>Resultados obtidos</i> .....	46
<b>SISTEMA “TRANSRAÇÃO”</b> .....	<b>50</b>
CADASTROS.....	51
<i>Granjas</i> .....	51
<i>Veículos</i> .....	52
<i>Ração</i> .....	53
<i>Parâmetros</i> .....	54
RESTRICÇÕES.....	55
<i>Granja x Veículo</i> .....	55
<i>Vizinhança</i> .....	56
<i>Fábrica</i> .....	57
ALOJAMENTO/ABATE.....	58
<i>Alojamento</i> .....	58
<i>Abate</i> .....	59
ACOMPANHAMENTO DE LOTE.....	60
PROGRAMAÇÃO.....	61
BALANÇA.....	62
<i>Recepção e Despacho</i> .....	62
RELATÓRIOS DE PROGRAMAÇÃO.....	63
<i>Programação de Envios</i> .....	63
<i>Programação de Fábrica</i> .....	64
<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>65</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>67</b>

# **Apresentação**

## ***Objetivos***

O objetivo deste trabalho foi estudar o “Problema de Inventário e Roteamento de Veículos” (PIRV) num contexto prático de uma aplicação real. Para isso, buscou-se pesquisar as teorias utilizadas em trabalhos já desenvolvidos no assunto, bem como encontrar uma empresa interessada na solução deste problema.

Como resultado deste trabalho, o objetivo foi desenvolver um software altamente amigável que tivesse condições de tornar o planejamento de distribuição de rações de uma indústria avícola bastante confiável e comprometido com os padrões de qualidade da empresa.

## ***Escopo do Trabalho***

Após a avaliação de como o PIRV vem sendo tratado por outros pesquisadores e também de suas oportunidades de aplicação, foi estudado o processo de distribuição e controle de inventário de granjas de frangos na região de São Carlos, interior de São Paulo.

Foi implementado um algoritmo feito sob medida para o problema encontrado, que considera todas as restrições necessárias para que sejam obtidas soluções factíveis e de boa qualidade .

Também foi desenvolvido um software para que pudesse ser tratado o conjunto de dados e parâmetros que envolvem as restrições e variáveis do problema. A programação diária e o acompanhamento histórico de cada granja também podem ser feitos pelo sistema.

## O Problema de Inventário e Roteamento de Veículos

O problema de inventário e roteamento de veículos (PIRV) surge quando as considerações sobre inventário e roteamento são incorporadas a um modelo para que adequadamente se contemple as características de um sistema de distribuição. Normalmente as considerações sobre roteamento incluem restrições sobre o comprimento/duração da rota, capacidade de carga dos veículos, restrições de acesso, e janelas de tempo nas quais o atendimento pode ser feito. Por outro lado, as considerações sobre inventário incluem capacidade de armazenagem, características de consumo e as conseqüências em caso de falta de produto (*stockout*) nos clientes.

Os primeiros estudos publicados na literatura sobre PIRV são da década 70 [2],[12], contudo os estudos se intensificaram somente na década de 80 com vários trabalhos de Dror, Ball, Larson e outros que serão citados mais adiante.

Existem dois diferente tipos de PIRV, segundo **Webb e Larson** [15] – o estratégico e o tático-operacional:

- a versão estratégica é motivada por longos *lead times* (meses ou mesmo anos) entre a compra de veículos ou assinatura de contratos de *leasing* e a efetiva disponibilização dos veículos para a distribuição. Estes *lead times* tornam impraticável a idéia de construir incrementalmente uma frota de veículos, ou seja, o foco estratégico é a determinação da menor frota possível para atender determinada demanda. Um bom exemplo deste enfoque é tratado por **Webb** em [15] e por **Larson** em [10], onde um dos objetivos é minimizar o tamanho da frota de barcas de recolhimento de detritos de esgoto para cidade de Nova Iorque.
- a versão tática e operacional está voltada para decisões de curto prazo do planejamento, a saber:
  - seleção do cliente: identificação dos clientes que serão atendidos a cada período (dia, semana etc.)

- atribuição cliente-veículo : seleção de qual veículo fará o abastecimento de qual cliente e em que momento esta operação deverá ocorrer
- roteamento: construção de rotas eficientes para cada veículo

As últimas duas decisões surgem no problema de roteamento de veículos tradicional onde uma frota de veículos deve atender a uma determinada demanda de um conjunto de clientes. A primeira decisão, porém, está intimamente relacionada ao componente “inventário” do problema. Do ponto de vista do inventário somente, o cliente deveria ser reabastecido somente quando seu estoque chegasse ao fim. Mas esta simples regra não leva em conta o potencial de economia que se pode ter trabalhando de modo integrado.

Neste trabalho os algoritmos implementados estão voltados para o nível tático e operacional. Porém, o sistema desenvolvido armazena informações de modo que decisões gerenciais e estratégicas possam ser tomadas no médio e longo prazos.

Outra classificação que é feita diz respeito ao enfoque de tratamento do PIRV, a saber:

- foco no inventário : voltado a políticas de abastecimento. Normalmente quando a falta de estoque (*stockout*) é muito crítica e a solução de roteamento é muito limitada. Muitas vezes quando a demanda é estocástica, a previsão de inventário se torna a principal preocupação. Este foco é o de distribuição de ração para granjas estudado neste trabalho.

Nesta linha **Federgruen e Zipkin** [6] tratam do PIRV considerando a demanda dos diversos clientes estocástica. Eles apresentam um modelo bastante complexo que possibilita uma conveniente separação em dois subproblemas. Com isso, resolvem o problema conjunto de alocação e roteamento via decomposição de Benders.

Outro exemplo é o trabalho de **Burns** e outros [3] que desenvolveram um método analítico para o PIRV, derivando fórmulas para o custo de transporte e o custo de inventário, de onde podem determinar o ponto de equilíbrio ótimo entre estes dois custos. Este artigo também compara os custos de entregas

fracionadas (vários clientes) com os custos de entregas diretas (cliente único), e uma das conclusões que apresentam é que o ponto de equilíbrio de cada estratégia depende do tamanho da frota disponível. Esta abordagem analítica é uma alternativa às trabalhosas implementações computacionais de algoritmos matemáticos.

- foco no roteamento : é mais comum em situações em que as possibilidades de ganhos com rotas alternativas não comprometem o abastecimento dos inventários. Outras características que levam o foco para o roteamento são as situações em que os produtos transportados permitem entregas fracionadas, as operações de atendimento são rápidas, os clientes podem ser divididos em regiões (*clusters*), e os veículos têm capacidade suficiente para acomodar cargas de clientes distintos.

É neste enfoque que recae a maioria dos trabalhos já desenvolvidos. Vários problemas reais foram modelados e tratados em trabalhos como os de **Larson** [10] que desenvolveu um modelo periódico com a visão estratégica do PIRV. O objetivo do modelo desenvolvido era a determinação do número de barcas necessárias para recolhimento de detritos de esgoto. Este algoritmo foi estendido por **Webb e Larson** [15] que propuseram uma maneira mais dinâmica de incluir clientes às rotas de atendimento.

Outro problema prático que foi estudado por **Dror e Ball** [5] é o de distribuição de gás, onde eles apresentam uma estratégia para resolver um modelo não periódico que reduz o problema de longo para um problema de curto prazo. Para isso, fixam as quantidades que são entregues a cada período.

**Silveira** [13] faz uma revisão dos modelos apresentados por Dror e outros, e propõe novas técnicas de resolução para o problema. Estas técnicas são aplicadas ao problema de distribuição de medidores de energia elétrica de uma empresa de distribuição no interior de São Paulo.

Também com o foco voltado para os custos de transporte, **Viswanathan e Mathur** [14] propõem uma nova heurística para o tratamento do PIRV multiproduto. E nesta mesma linha, **Barnersschuter e Bassok** [1]

desenvolveram algumas estratégias para tratar do PIRV com custos lineares de inventário e com demanda estocástica nos clientes.

Uma variação do PIRV é o problema de inventário monitorado e roteamento de veículos, ou ainda PIMRV. Neste problema o cliente não paga pela quantidade entregue em seu depósito, mas sim pelo consumo do produto. Esta situação surge em algumas indústrias químicas onde o fornecedor de matéria-prima é quem responde pelos custos do produto estocado. Alinhado com este problema, **Herer e Levy** [8] desenvolveram um algoritmo que envolve o conceito de distância temporal, que é o custo de se colocar dois clientes num mesmo período de atendimento.

Mais recentemente, vários trabalhos têm surgido para versões cada vez mais complexas do PIRV. Um exemplo é a extensão do PIRV para sincronizar a produção e estoque da fábrica, com o estoque do cliente e com o roteamento, feito por **Fumero e Vercellis** [7]. Eles desenvolveram um modelo que foi resolvido via relaxação Lagrangeana e se mostrou superior a resultados anteriores obtidos pela decomposição do problema em módulos desacoplados.

Outro exemplo, é o trabalho de **Qu** e outros [11] que, na mesma linha anterior, trabalharam na sincronização da cadeia produtiva, envolvendo fábrica-transporte-cliente. Eles desenvolveram uma heurística para tratar do PIRV multiperíodico e multiproduto com demanda estocástica. Esta heurística é baseada numa revisão periódica da política de inventário e tem como objetivo minimizar, a longo prazo, os custos envolvidos em todo o processo de produção e distribuição.

Outro enfoque é dado ao PIRV no artigo de **Hwang** [9], onde o problema é como distribuir alimentos para populações famintas em regiões de difícil acesso e com condições muito precárias de armazenamento. O objetivo não é minimizar custos de inventário ou de transporte, mas sim de minimizar o índice de doenças e mortes no médio prazo nestas regiões. O modelo desenvolvido foi aplicado ao planejamento da distribuição de alimentos para uma região na Coreia do Norte.

## **Estudo de Caso**

Neste trabalho estão sendo contempladas todas as restrições que surgiram na aplicação real do problema. A experiência com outros projetos [4] auxiliou muito no levantamento dos requisitos. A seguir será possível compreender o quão genérico é o problema em questão e como cada informação é essencial para a empresa que pretende colocar o software na prática de seu planejamento.

A apresentação do estudo de caso está organizada da seguinte maneira:

- distribuição de ração : onde está descrito o contexto do problema logístico e como ele pode ser entendido como um PIRV
- a origem da demanda : descreve quem é o “cliente” (granja) do nosso problema, quais suas características e como é formada a demanda pelo “produto” (ração)
- o transporte : apresenta o processo de envio de ração às granjas e o que deve ser levado em consideração na operacionalização deste processo
- outras considerações : contém informações pertinentes ao processo de programação de envio de ração e explicita quais são as informações necessárias para que se obtenha uma solução factível de boa qualidade.

### ***Descrição do problema: Distribuição de ração***

Poucas empresas dominam o setor avícola no Brasil. Do ponto de vista econômico, este setor é um dos mais importantes para o país, pois é muito significativo para a balança comercial.

A distribuição de ração de frangos é um sistema logístico complexo que gera cerca de 17% do custo direto de produção da ave, além do custo que pode advir, indiretamente, pelo mau gerenciamento deste processo.

Otimizar ou pelo menos dar uma consistência ao planejamento de distribuição de ração é portanto um problema vital para que uma indústria avícola seja competitiva tanto no mercado nacional como internacional.

A distribuição de ração de frangos pode ser entendida como um problema de inventário e roteamento de veículos porque:

- a indústria que abate os frangos é proprietária da fábrica de ração, da ração e das aves, ou seja, é dona do estoque de ração nas granjas e precisa controlá-lo
- os veículos que fazem entrega de ração são veículos especiais, normalmente de terceiros, que podem fazer entregas parciais em mais de uma granja em cada viagem, podendo obedecer roteiros de entrega

No caso da indústria em questão, podemos dizer que o controle de estoque é muito mais importante do que o roteamento dos veículos, pois é, literalmente, vital para as aves que haja ração nas granjas, a todo momento, na quantidade certa e na fase correta.

Esta é a observação que conduz a maior parte do esforço do algoritmo desenvolvido neste trabalho: o compromisso com o atendimento da demanda.

## ***A origem da demanda***

### **GRANJAS**

As 180 granjas de criação, também chamadas de agregados, são propriedades de terceiros que fornecem a infra-estrutura (galpão, silo, energia e água) e a mão-de-obra para a lida com a criação das aves.

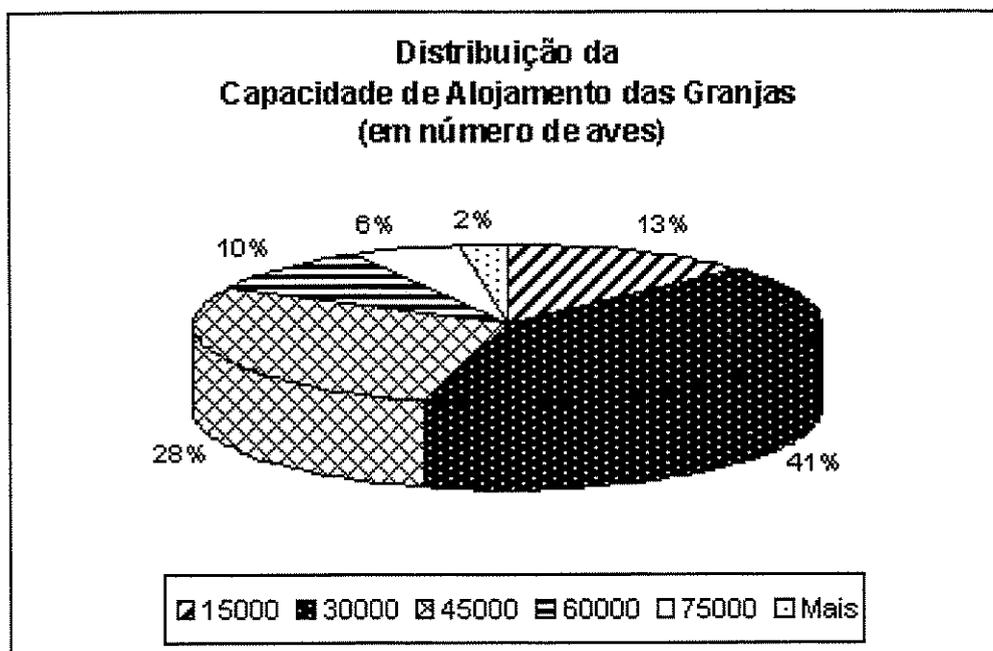
Em média, a cada dia, são alojadas 5 novas granjas e outras 5 são abatidas, seguindo com uma produção de mais de 120 mil aves por dia.

O faturamento de cada produtor é calculado por uma fórmula (segredo industrial) que envolve o sexo das aves, o número de animais abatidos e a taxa de conversão alcançada (a quantidade total de ração consumida dividida pelo peso total do lote).

A capacidade média de alojamento das granjas é de aproximadamente 32 mil aves, mas existem granjas de alta capacidade chegando a 100 mil aves, com a

utilização de mais de um galpão. É importante ressaltar que o modelo considera a granja como um todo (quantidade de aves e estoque) e que isso só é possível porque os galpões recebem as aves todas do mesmo sexo e idade.

A seguir pode-se observar que mais da metade das granjas são de pequeno porte com capacidade para alojar até 30 mil aves por vez, utilizando apenas um galpão:



## ESTOQUE NAS GRANJAS

O produção na granja ocorre em ciclos que iniciam no alojamento e terminam no abate das aves. A estes ciclos dá-se o nome de granjada.

O alojamento é nome do processo de colocação das aves no galpão, no primeiro dia de vida. O alojamento só pode ser feito após um período de higienização do galpão, entre uma granjada e outra, para que os novos pintinhos, com baixa resistência, não sofram ataques dos vírus e bactérias da granjada anterior.

No mínimo um dia antes do alojamento o estoque deve ser abastecido com a primeira fase de ração do lote.

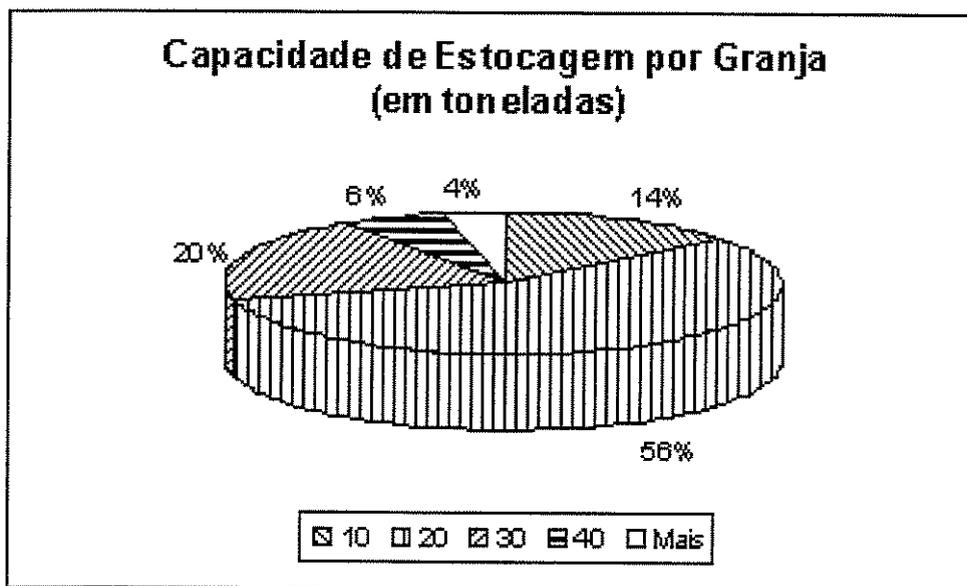
O abate das aves pode ser parcial ou integral. O envio de ração é suspenso antes do abate integral, de forma a evitar sobra de ração no final da granjada.

Ao longo da granjada o estoque deve ser mantido em níveis satisfatórios para atender as restrições operacionais e nutricionais do problema.

Para estocar a ração, as granjas têm silos de diversos tamanhos e capacidades. Outro item importante é o tipo do comedouro. Os comedouros *Tuboflex* e *Tubolar* têm certa capacidade de armazenamento em suas próprias tubulações, já o comedouro tipo *corrente* não tem esta capacidade. No sistema adotamos que o valor cadastrado na capacidade do silo já contempla a capacidade extra do comedouro.

A capacidade global das granjas é de aproximadamente 4 mil toneladas de ração, sendo que a capacidade média é de quase 20 toneladas por granja.

No gráfico a seguir pode-se perceber que a grande maioria (70%) dos estoques fica abaixo de 20 toneladas:



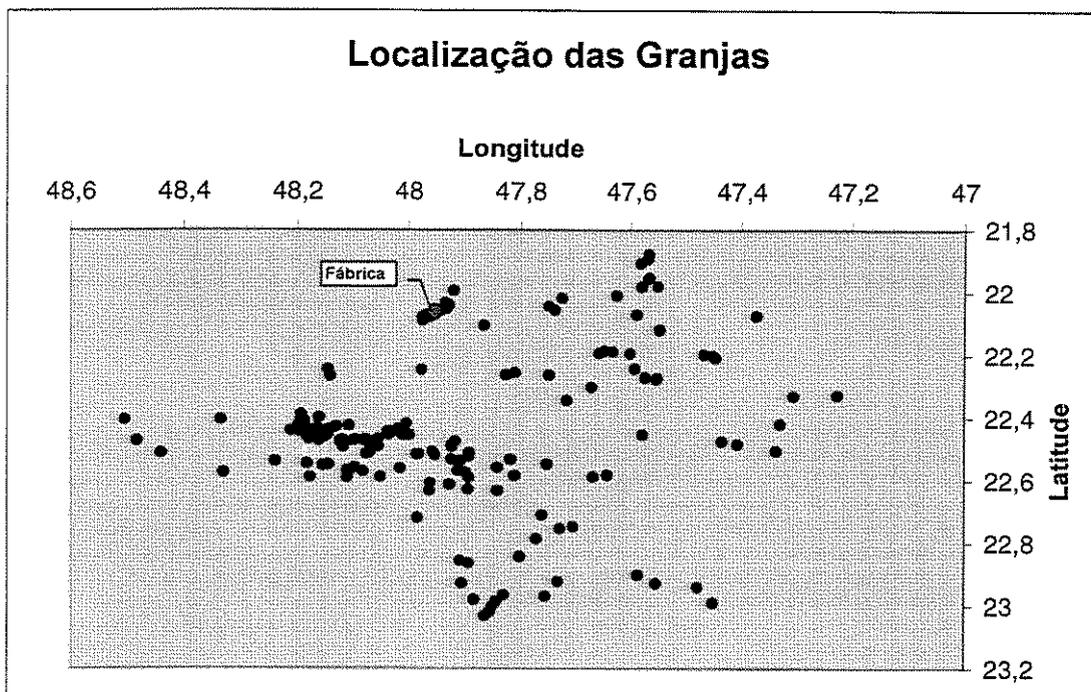
#### LOCALIZAÇÃO E VIZINHANÇA

A fábrica de ração se localiza no interior do estado de São Paulo, na região de São Carlos. As granjas distribuem-se num raio de 200 quilômetros em torno da fábrica.

Para localizarmos cada granja usamos um GPS (*Global Positioning System*), o qual fornece a latitude e a longitude de cada ponto do planeta. Estes dados servem a dois propósitos:

- cálculo da distância (geodésica) entre a fábrica e cada granja
- cálculo da distância entre as granjas para definição de vizinhanças para o roteamento dos veículos (clusterização)

No gráfico a seguir é possível visualizar como estão distribuídas as granjas em relação à fábrica:



## FASES DE RAÇÃO

A fórmula (ou a receita) da ração dada aos frangos se modifica de acordo com a idade da ave. A cada fórmula é dado o nome de fase. Então, uma fase de ração é uma formulação que a ave vai consumir durante alguns dias, numa quantidade previamente calculada.

O ideal seria que a ave consumisse exatamente de acordo com suas necessidades nutricionais (proteínas, carboidratos etc.). Para que isso ocorresse, a ração deveria ser alterada diariamente, o que é claramente impossível. A

solução adotada é dividir em 4 ou 5 fases que seguem uma seqüência única ao longo da granjada, como se observa na tabela nutricional indicada a seguir:

Macho		Fêmea	
Fase	Consumo indicado (individual por fase)	Fase	Consumo indicado (individual por fase)
F1	250 gr/ave	F1	250 gr/ave
F2	1000 gr/ave	F2	750 gr/ave
F3	2000 gr/ave	F30	1700 gr/ave
F4 <sup>1</sup>	5000 gr/ave	F40	5000 gr/ave

Com esta divisão em fases, temos um problema multiproduto. Como será discutido mais adiante, esta característica faz aumentar sensivelmente a complexidade do problema, pois gera restrições de produção, transporte e até de armazenamento.

## SEXO DOS LOTES

Como se observou na tabela padrão de fases, há uma divisão entre machos e fêmeas. Esta divisão se dá porque, como naturalmente esperado, o desempenho de cada lote está fortemente ligado ao sexo do lote.

A separação dos sexos se dá antes do alojamento e, numa mesma granja, normalmente não são misturados os dois sexos. Há, porém, a montagem de lotes mistos (com machos e fêmeas) para algumas granjas. Mas não é uma prática comum, pois o rendimento é inferior ao do tratamento sexado. Neste caso usam-se as tabelas de machos como referência.

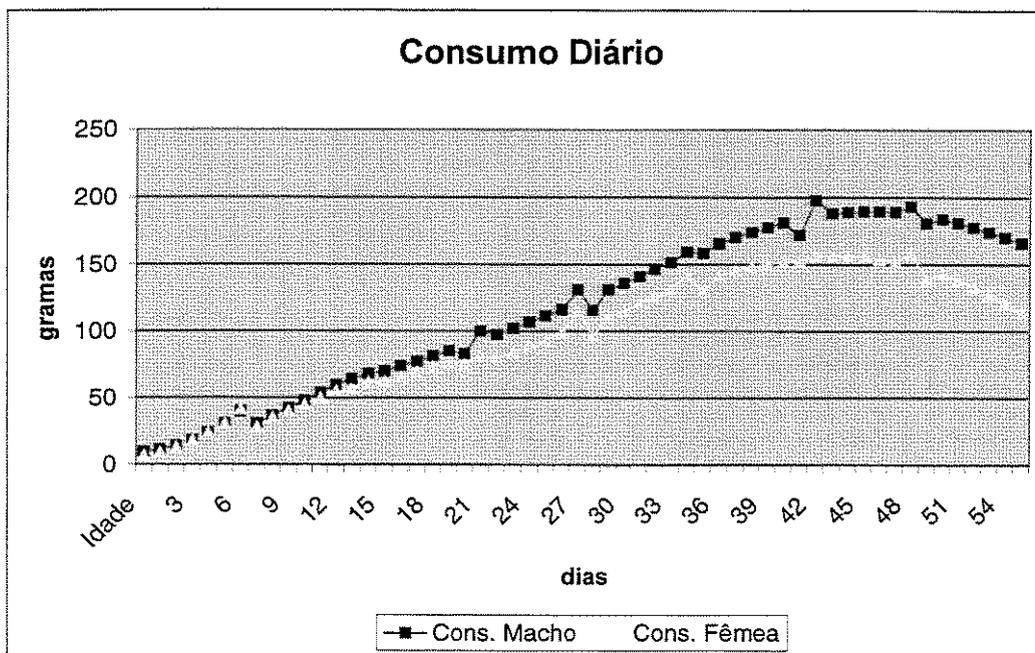
A seguir serão apresentados os dados sexados de consumo e mortalidade. Estas informações são de crucial importância para o cálculo do balanço de estoque nas granjas.

---

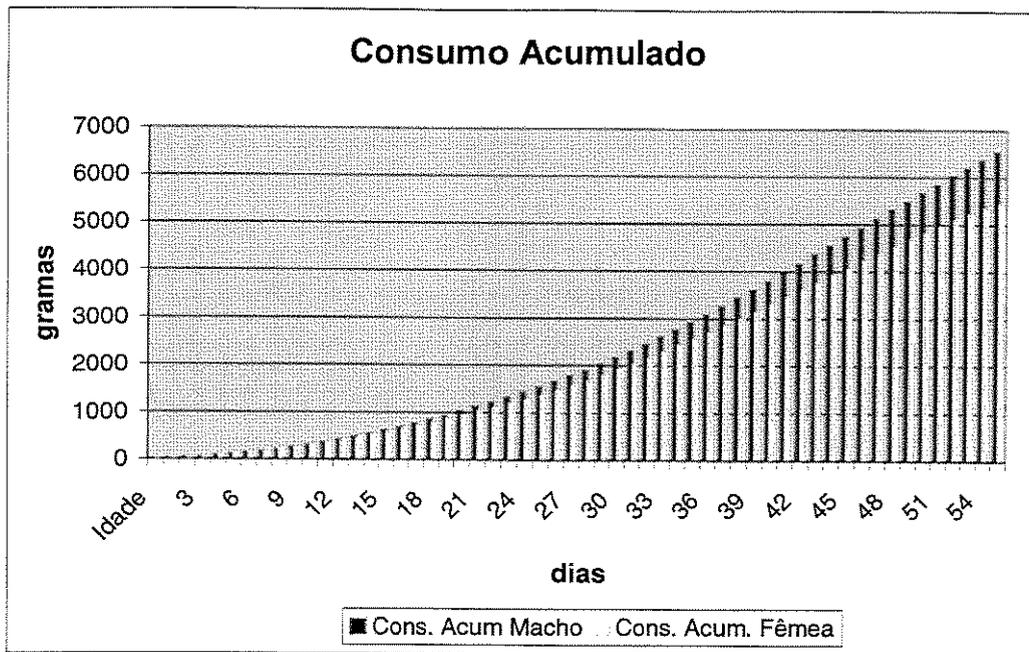
<sup>1</sup> Para referência, pois a última fase é enviada até o abate, independente do valor da tabela.

## CONSUMO

No gráfico a seguir observa-se que as fêmeas têm consumo menor que os machos. Este fator está diretamente relacionado com a mortalidade que veremos adiante. Como se pode observar no gráfico a seguir, o consumo aumenta com o crescimento da ave. Algumas quebras no gráfico acontecem simplesmente porque ele foi gerado segundo uma tabela teórica ajustada segundo a divisão de fases apresentada anteriormente.



Observe, a seguir, no gráfico de consumo acumulado, que a troca de fases se dá quase no mesmo período para machos e fêmeas, uma vez que as fêmeas têm consumo menor.



A relação “consumo diário x número de aves na granja” é o principal fator determinante da quantidade necessária a cada dia em cada granja.

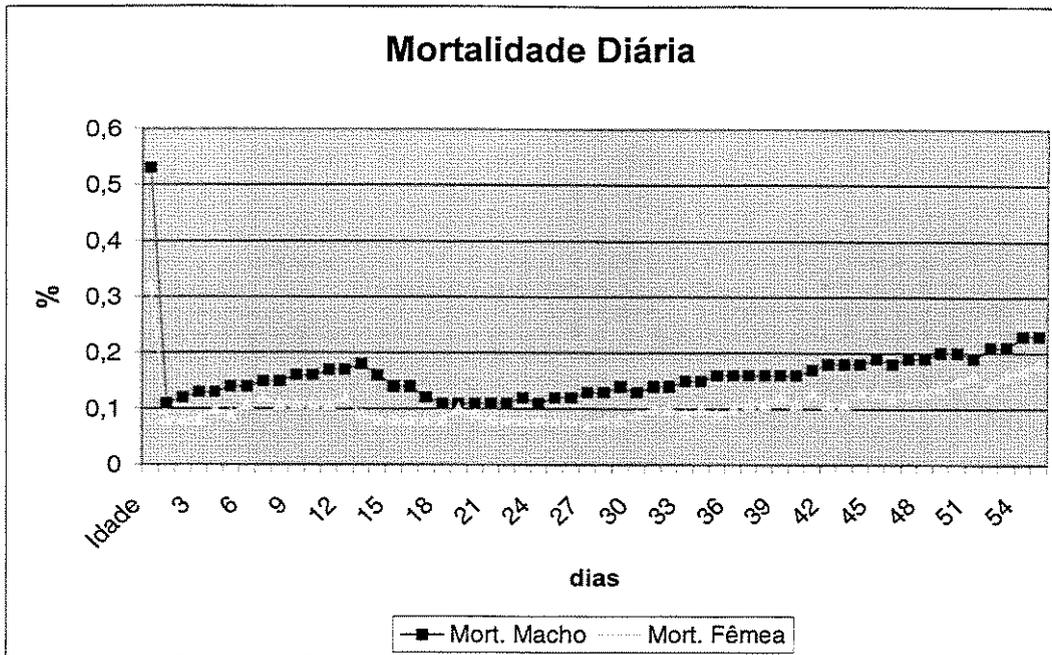
As taxas diárias de consumo não variam muito em relação à tabela padrão apresentada no gráfico anterior. Alguns fatores que fazem o consumo aumentar ou diminuir são: o clima, a umidade relativa do ar, a cor da ração. Porém, como atualizamos os valores reais de estoques nas granjas a cada envio de ração, temos como corrigir a tabela padrão individualmente em cada lote.

Estas constatações fazem com que seja possível trabalhar considerando a demanda determinística e não estocástica.

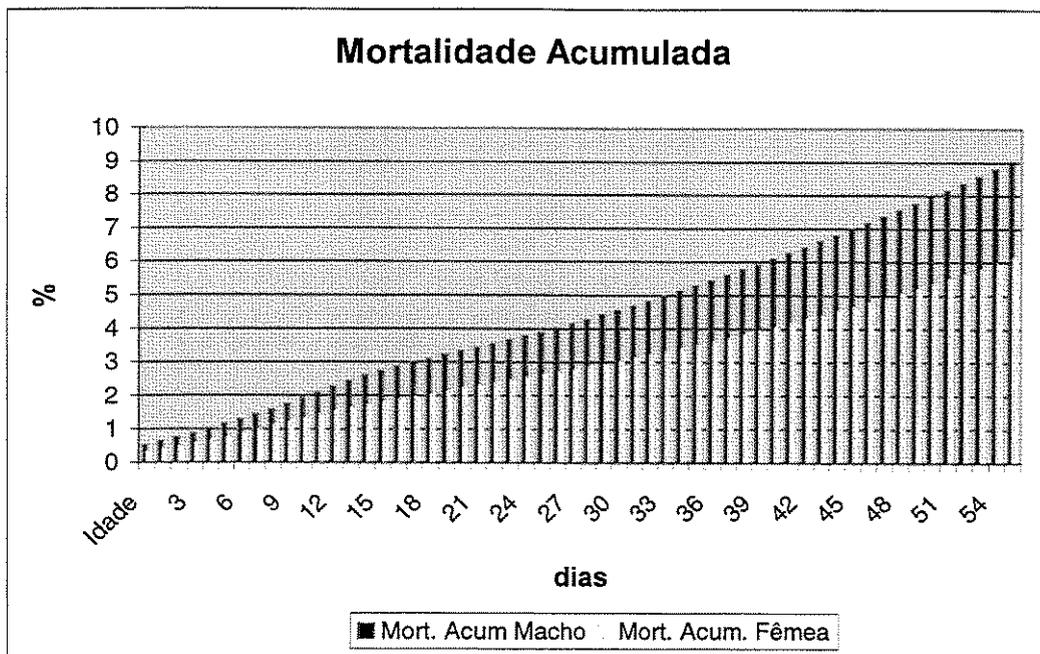
## MORTALIDADE

Outro dado de relevância para a previsão da demanda durante a granjada é a taxa de mortalidade das aves.

No primeiro dia a mortalidade é muito maior do que nos outros dias, pois há um impacto natural da mudança de ambiente que sofrem as aves. Ao longo da granjada, as aves morrem normalmente a uma taxa de 0,1% ao dia devido a vários fatores que vão do calor e falta de ar até infarte (na fase adulta). Observe estas constatações no gráfico a seguir:



Quando se analisa o gráfico da mortalidade acumulada, se verifica que a mortalidade atinge 6% do lote. Como vimos, uma granja aloja em média 32 mil aves e 6% significam mais de 4 toneladas em carne de frango que não foram obtidas. Portanto, poderia representar um envio desnecessário de mais uma carga de ração, caso está informação não fosse contabilizada no planejamento. Segue o gráfico da mortalidade acumulada; note novamente como a diferença entre machos e fêmeas é acentuada:



## ***O sistema de transporte***

### **FROTA**

A frota de veículos de transporte de ração é formada por cerca de 26 caminhões com capacidades que vão de 14 a 17 toneladas. Estes caminhões têm carrocerias especiais com divisões internas, chamadas de compartimentos. Cada compartimento tem capacidade para cerca 3 toneladas, dependendo do formato de cada um.

Portanto, o modelo deve levar em consideração que a frota não é homogênea para a montagem da carga no despacho dos veículos.

### **TABELA DE FRETE**

Os proprietários dos veículos são terceiros que recebem pelos fretes efetuados. Pelo fato de seus rendimentos estarem unicamente vinculados às entregas que fazem, eles estão disponíveis para a empresa cerca de 14 horas por dia. Porém,

sem horários fixos. Estes dados justificam a decisão de, no algoritmo, não vincular *a priori* rotas a veículos.

Os valores pagos pelos fretes são calculados segundo uma tabela preestabelecida que leva em consideração a faixa de distância em que se localiza a granja mais distante da rota e o peso total da carga enviada. Ou seja, a tabela tem o seguinte formato :

Faixa (km)	R\$ / ton
[0,10]	1,85
(10,20]	1,88
(20,30]	2,19
...	...

Por exemplo, se o envio de 16 toneladas numa rota que inclui a granja A, que está na faixa II, e a granja B, que está na faixa III, independente de quanto vai ser descarregado em cada granja, o valor pago pelo frete será de:  $2,19 \times 16 = \text{R\$ } 35,04$ .

### RESTRIÇÃO DE ACESSO

Alguns veículos não podem atender determinadas granjas devido a vários fatores como, por exemplo:

- problemas pessoais do motorista com o granjeiro
- idade do veículo que impede viagens longas
- falta de potência para tráfego em terrenos em aclive

Este tipo de restrição física ou operacional foi incluída na parte do algoritmo que faz a montagem de cargas na balança, como será apresentado mais adiante.

## ***Outras considerações***

### **FÁBRICA**

A fábrica de ração produz cerca de 16 horas por dia segundo uma programação elaborada pela equipe de planejamento de envios para as granjas. Ou seja, sua produção do dia é quase toda entregue no mesmo dia.

A capacidade de estoque da fábrica é de 200 toneladas distribuídas em 12 silos. Como diferentes fases não devem ser misturadas e a produção não é igual para cada fase, esta capacidade nunca é utilizada.

A produção é feita em bateladas de 3,5 toneladas. As receitas das fases dependem de uma série de ingredientes que devem estar disponíveis para processamento no início de cada batelada. O processo é automatizado.

Uma falha no abastecimento de matéria-prima ou a quebra da fábrica são alguns motivos que podem implicar na falta de ração para o envio. Isto faz com que a carga só possa ser montada no momento do despacho, como será explicado mais adiante.

### **PROCESSO DE DESPACHO: BALANÇA**

Na medida em que os veículos chegam ao pátio da fábrica, eles entram numa fila de espera para o carregamento. Quando um veículo é chamado para o carregamento é tirada sua tara numa balança rodoviária e a este veículo é atribuída uma carga. Uma carga significa um conjunto de uma ou mais granjas que ele deverá atender, a quantidade que será enviada a cada granja e a(s) fase(s) de ração a ser(em) entregue(s). Para cada parte (granja atendida) da carga o veículo volta para nova pesagem e correção do valor efetivamente carregado. Desta forma, tem-se boa precisão sobre a quantidade enviada.

## ***Resumo do estudo de caso***

O problema de inventário e roteamento de veículos que foi estudado, e para o qual foi implementado o algoritmo e software que veremos adiante, pode ser descrito como:

- multiproduto
- frota não homogênea
- com demanda não estocástica
- multiperíodo com horizonte rolante

## **Estratégias de Resolução**

A seguir serão apresentados em detalhes os algoritmos que foram implementados no sistema. Antes, porém, serão apresentadas justificativas para a abordagem final que foi desenvolvida.

Houve uma evolução natural no entendimento do problema, mas muitas das particularidades e, conseqüentemente, novas restrições, foram descobertas quando foram apresentados os primeiros relatórios e o primeiro protótipo de interface do sistema.

A apresentação das técnicas de resolução estão divididas nos seguintes itens:

- solução anterior: é uma descrição rápida de como era feito o planejamento antes de se pensar numa solução computacional.
- primeira abordagem: aqui está descrito a tentativa de resolver o problema real através de um modelo matemático, alternativa que se mostrou inviável.
- abordagem adotada: após extensa discussão com os planejadores e visitas a campo, foi desenvolvida uma alternativa que contempla as principais restrições do problema e que ao mesmo tempo consegue rapidamente boas soluções para o planejamento e despacho das rações. Neste item serão apresentadas todas as restrições e variáveis do sistema, bem como as justificativas para cada opção.

### ***Solução anterior: Manual***

A escolha manual de qual granja será atendida a cada dia requer um certo grau de experiência do programador, pois ele deverá ser muito criterioso no uso de seus limitados recursos: frota, fábrica, etc. Além de adequar os recursos às necessidades, o programador deverá estar consciente das restrições e variáveis do problema em questão. Fazer um bom planejamento para quase 200 granjas com um nível de precisão demandado pelo competitivo mercado agrícola é uma tarefa árdua e de difícil efetivação.

No “modelo” que a equipe de planejamento usava, com o intuito de simplificar sua tarefa, as operações se restringiam a:

- calcular quando haveria falta de ração (*stockout*) na granja:
  - contemplando apenas o consumo teórico, sem correções
  - desconsiderando a mortalidade
- arredondar as quantidades enviadas para o preenchimento dos caminhões:
  - várias vezes, acarretando no retorno de ração por falta de espaço no silo da granja
  - perda de qualidade nutricional da ave, uma vez que aumenta o erro em relação à tabela de quantidade por fase
- montar cargas de entrega a *priori* (antes do real momento de carregamento)
  - sem considerar a disponibilidade das fases na fábrica
  - desconsiderando a disponibilidade do veículo
  - muitas vezes combinando granjas não vizinhas (mais freqüente em granjas novas, por falta de conhecimento)

### ***Primeira abordagem: planejamento a priori***

#### **ENTENDIMENTO DO PROBLEMA**

O caminho para a solução implementada foi longo, pois os envolvidos na programação não tinham conhecimentos técnicos para discutir os aspectos da modelagem. A experiência prática de cada um era o único recurso que poderia ser considerado. Conseqüentemente a primeira solução sugerida demandou certa pesquisa e ficou longe do que foi implementado no *software* final.

Várias hipóteses e considerações foram feitas para delimitar o escopo de atendimento do modelo e do *software* que seria implementado, algumas delas de maior impacto foram apresentadas e posteriormente contestadas como se observa a seguir:

- a produção da fábrica é independente : o que se pretendia era programar os despachos e deixar com que a fábrica conseguisse disponibilizar a produção

adequadamente. Como a experiência do programador o levava sempre a elaborar a programação numa mesma seqüência e a expectativa era que o novo sistema gerasse a programação da mesma forma, esta foi considerada uma hipótese viável. Porém, o sequenciamento das fases de ração na produção e, conseqüentemente, a seqüência de despacho não podiam ser independentes, pois havia problemas de *set ups* das linhas de produção a cada troca de fase. Para que a produção da fábrica seguisse seu padrão de eficiência, a programação final de despachos deveria então seguir algumas regras que foram implementadas nos algoritmos que serão apresentados mais adiante.

- as cargas podem ser fracionadas : era esperado que soluções calculadas gerassem mais envios do que o que se praticava até então. Isso ocorreria graças à maior precisão sobre as quantidades consumidas em cada fase. Era um consenso que os fretistas compreenderiam as mudanças e que seguiriam as rotas que lhes fossem solicitadas. Esta hipótese foi contestada na prática quando foram apresentadas aos motoristas a várias rotas com duas ou três granjas. O valor que recebiam pela viagem era o mesmo que receberiam para uma rota de uma única granja na mesma distância. O problema das entregas fracionadas é que o tempo de serviço (parada, descarga e partida) aumenta com o número de granjas atendidas. Ou seja, a demanda por “melhores viagens” para os motoristas de certa forma implicava numa revisão das cargas.
- montagem dos roteiros diários a priori : com o objetivo de se atingir melhores soluções do ponto de vista logístico, o caminho era preparar o programa diário de envios e distribuí-lo pelos veículos de forma balanceada. Assim cada motorista receberia um conjunto de até 5 rotas que deveriam ser cumpridas ao longo de cada dia. Seria considerado o aspecto temporal da distribuição, com horários de partida, carregamento, percurso e descarga. Porém, como os fretistas são terceiros e não funcionários da empresa, nada poderia garantir os horários de trabalho dos motoristas. Não era possível esperar o cumprimento de horários preestabelecidos previamente, sob pena de não atender granjas com estoque baixo.

Como várias restrições não eram “declaradas”, mas sim subentendidas pelos programadores, era certo que o modelo apresentado não responderia adequadamente, e então alguns pontos ficaram pendentes para uma segunda abordagem, a saber:

- troca de fases: a idéia inicial que se podia enviar a qualquer momento qualquer fase, desde que se seguisse a seqüência preestabelecida, não era correta. Como será explicado adiante o momento da troca de fase, por exemplo de F1 para F2, é crítico, pois as duas fases devem se misturar o mínimo possível.
- horizonte de programação: no final de semana a fábrica produzia e enviava pouca ração. De fato, no sábado a produção era reduzida a 70% dos dias normais e no domingo a fábrica não funcionava. Como a necessidade era de atender o menor número de granjas que necessitariam de ração a cada dia, surgiu o problema do atendimento às segundas-feiras, quando a demanda era muito maior que a capacidade da fábrica.
- disponibilidade das fases na fábrica: um problema que não aparece no planejamento, mas no momento do carregamento. Ocorre que algumas cargas já montadas não podem ser atendidas por falta de uma das fases na fábrica. Neste momento o responsável pelo despacho decide pelo envio parcial da carga ou pelo rearranjo das cargas.
- política com o motorista: como o motorista fatura sobre o peso total da carga, valores inferiores aos normalmente praticados não foram de encontro ao interesse deles. A alternativa foi usar a folga na quantidade enviada por fase para montar cargas melhores para os caminhões.

O problema foi modelado matematicamente de modo que sua solução representaria a solução para o problema, e com um simples pós processamento, para adequar as fases às granjas, já se obteria a solução final procurada.

A idéia contida no modelo que será apresentado a seguir é: garantir o estoque das granjas em níveis adequados, minimizando o número de envios necessários (e conseqüentemente o tamanho da frota).

## MODELO MATEMÁTICO

(M.1) Objetivo: minimizar o número de envios

$$\text{Min} \sum_g \sum_{d=\text{inicio}}^{\text{inicio}+\text{horizonte}} CEV_{g,d}$$

Sujeito a:

(M.2) Equação de balanço de estoque

$$\forall g \forall d: INV_{g,d} = INV_{g,d-1} + ENV_{g,d} - NAV_{g,d} \cdot CNS_{g,d}$$

(M.3) Estoque inicial

$$\forall g: INV_{g,\text{inicio}-1} = INV_{g(\text{do banco de dados})}$$

(M.4) Limites de estoque

$$\forall g \forall d: 0 \leq INV_{g,d} \leq f \cdot CPG_g$$

(M.5) Capacidade de produção da fábrica

$$\forall d: LPI_d \leq \sum_g ENV_{g,d} \leq LPS_d$$

(M.6) Capacidade do veículo

$$\forall g \forall d \quad ENV_{g,d} \leq CPC$$

(M.7) Restrição lógica

$$\forall g \forall d \quad CEV_{g,d} \cdot M \geq ENV_{g,d}$$

(M.8) Variável binária

$$\forall g \forall d \quad CEV_{g,d} \in \{0,1\}$$

onde:

- $CEV_{g,d} : \begin{cases} 1 & \text{se há um envio de ração para granja } g \text{ no dia } d \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$
- $INV_{g,d}$  : inventário na granja  $g$  no dia  $d$
- $ENV_{g,d}$  : quantidade a ser enviada para a granja  $g$  no dia  $d$
- $NAV_{g,d}$  : número de aves na granja  $g$  no dia  $d$
- $CNS_{g,d}$  : consumo do dia da granja  $g$  no dia  $d$
- $f$  : fração a ser utilizada da capacidade do estoque da granja
- $CPG_g$  : capacidade nominal de estocagem da granja  $g$
- $LPI_d$  : limite inferior de produção da fábrica no dia  $d$
- $LPS_d$  : limite superior de produção da fábrica no dia  $d$
- $CPC$  : capacidade média dos caminhões

A função objetivo contabiliza todos os envios no horizonte de planejamento.

A equação M.2 faz o balanço de estoque partindo da posição de estoque anterior ao primeiro dia da programação (equação M.3), retirado do banco de dados. A mortalidade está implícita no número de aves que entra no modelo.

A equação M.4 garante que o estoque da granja nunca pode ficar negativo e que tampouco pode transbordar. Há um fator  $f$  que limita os envios de ração a uma fração da capacidade nominal dos silos nas granjas. Isto foi incluído para que fosse garantido o espaço para descarregamento, uma vez que a medição que o motorista faz do estoque para informar a programação não é precisa, além do fato de que o consumo pode ter sofrido uma variação.

A equação M.5 faz com que a produção seja escoada da fábrica, pelo menos no seu limite mínimo de produção, e garante que o total programado para envio não supere a capacidade produtiva. Na prática a idéia era usar limites não nominais, mas limites de segurança previamente calculados, pois sempre ocorrem erros: no carregamento (que é um procedimento visual do operador de carga) e nos arredondamentos de fábrica (que produz em bateladas de 3,5 toneladas).

A equação M.6 faz a divisão dos envios em quantidades que não ultrapassam a capacidade média dos caminhões. Como o modelo não faz o roteamento, não foi

necessário discriminar a capacidade de cada veículo. As equações M.7 e M.8 tratam da variável binária do problema. Quando há um envio, ou seja, ENV positivo, o envio CEV fica registrado (igual a 1).

Para a utilização do modelo apresentado estavam previstas três fases de processamento:

- pré-processamento : onde as posições atualizadas de estoque das granjas seriam inseridas e com isso o consumo e a mortalidade de cada granja seriam corrigidas proporcionalmente ao desvio da tabela original.
- aplicação do modelo : que determinaria quais granjas seriam atendidas a cada dia e com quais quantidades.
- pós-processamento : onde então seriam feitos os arredondamentos e montagem das rotas, considerando distâncias e as quantidades transportadas. Nesta fase é que seriam decididas quais fases iriam para quais granjas a cada dia e, conseqüentemente, qual seria a programação da produção para a fábrica.

## **Discussão do modelo**

Como se pôde observar, o modelo não contempla o custo de transporte. Este custo também não foi considerado nos algoritmos implementados e a apresentados adiante, pois, uma vez que o frete é pago proporcional ao total da carga na faixa da granja mais distante, a preocupação do roteamento era montar cargas que combinassem granjas vizinhas.

Nos modelos tradicionais, apresentados em [5] e [13], a equação de balanço de estoque não é tratada diretamente. Normalmente são definidos períodos nos quais os clientes devem ser atendidos pelo menos uma vez e para este período se determina o momento do envio. Alguns modelos colocam a quantidade a ser enviada no período como fixa e outros a incluem como variável da formulação.

No modelo apresentado a equação deve ser explicitada, pois não há uma taxa constante de demanda por cliente (a cada dia a taxa é diferente, segundo as tabelas de mortalidade e consumo).

Outra consideração feita nos modelos tradicionais, mais ao roteamento do que ao inventário, é que a função objetivo não contempla minimização de um problema de roteamento de veículo puro. A função objetivo apresentada tem pretensões menores do ponto de vista de roteamento. De fato, o que se espera com esta função objetivo é que ela leve rapidamente a uma solução factível do problema, concentrando os envios em quantidades maiores e consequentemente usando melhor a frota. Esta estratégia é justificada pelo fato de que, na prática, a maioria das viagens (85%) são diretas e completas. Portanto somente 15% das entregas são feitas em mais de uma granja na mesma rota. Para estes casos o programador pode montar as rotas por sua própria experiência.

A equação de limite de produção também é específico do problema em questão, não sendo normalmente tratado no PIRV. Esta equação tem a função de antecipar envios que seriam feitos nos fins de semana, se a fábrica funcionasse normalmente. Observe que não há nenhum custo envolvendo esta antecipação, ou seja, se uma antecipação garante que o estoque ficará dentro dos limites, com o mesmo número de envios, esta solução é igualmente boa para o modelo. Mas na prática o que gostaríamos é que o envio fosse feito o mais tarde possível. Isto não está sendo contemplado pelo modelo. No algoritmo que será apresentado adiante este tipo de necessidade é satisfeita de modo que a solução fica o mais próximo do necessário.

Não existe um limite mínimo para o envio no modelo, pois este limite é dinâmico e depende da fase de ração que a granja deve receber. Esta necessidade também só foi satisfeita nos algoritmos implementados.

### ***Abordagem adotada: granjas a priori e rotas a posteriori***

A estratégia adotada é voltar a atenção para a escolha das granjas que serão atendidas a cada dia. No algoritmo de programação foram incluídas algumas funções que facilitam o posterior roteamento. Depois desta programação definida é que são montados, em tempo real de despacho, as rotas de envio.

Serão apresentados a seguir os dois algoritmos que se integram no sistema.

No item “algoritmo” são detalhados cada passo do processamento, relacionando-os com todos os levantamentos e ressalvas descritas até aqui.

A abordagem adotada e implementada nos algoritmos segue uma série de informações que foram apresentadas anteriormente e outras novas considerações que foram consolidadas nos tópicos a seguir.

## **OBJETIVO GERAL**

O objetivo principal do algoritmo implementado é conseguir uma solução factível para o problema. Atingindo este objetivo já se está alcançando uma solução muito melhor do que a obtida manualmente, pois respeitar simultaneamente as restrições que serão apresentadas a seguir é uma tarefa árdua. Além disso, as soluções obtidas têm:

- melhor qualidade nutricional : pois o erro por fase de ração é controlado
- maior acerto na previsão de consumo : pois são computados todos os dados referentes ao consumo, mortalidade, estoques reais
- maior sincronismo com a fábrica : pois a programação fica atrelada à capacidade de produção da fábrica, bem como à sua seqüência de produção
- menor uso da frota : pois restringe os envios à quantidade necessária para manutenção da factibilidade da solução ao mesmo tempo que monta cargas mais completas para os veículos.

## **RESTRIÇÕES DE GRANJA**

As restrições que envolvem as granjas, consideradas pelos algoritmos, estão descritas a seguir:

- estoque : os limites mínimo e máximo
  - máximo: a capacidade de armazenagem da granja está diretamente relacionado ao tamanho de seu silo. Para que não haja transbordamento, ou para evitar colocar a ração no chão, existe um fator para que o envio não exceda 80% da capacidade nominal da granja. Em casos em que a

descarga no silo não é possível, há uma pequena folga para que coloque no chão para posterior carregamento manual, feito pelo proprietário da granja.

- mínimo: o estoque mínimo esperado é quase zero. O ideal seria que no momento que o silo se esvaziasse ele fosse reabastecido, com a ração sempre disponível no comedouro. Porém, na prática, se o estoque chega a zero, começa o problema de “bicagem”. Este problema aumenta a mortalidade do lote, pois as aves começam a “bicar” umas às outras dada a escassez de ração. Para evitar estes problemas, um dos objetivos do algoritmo é manter o inventário da granja num nível de segurança razoável.
- mistura de fases: a ração desce do silo para os comedouros por efeito da gravidade. Na parte inferior do silo é formado um funil para que a ração entre na tubulação. Este funil faz com que a ração da parte superior desça antes daquela que está próxima da parede do silo. No caso da troca de fases, este efeito pode fazer com que as aves se alimentem de uma fase posterior da seqüência antes de outra que deveria estar sendo usada. Para as primeiras fases este é um grande problema nutricional a ser tratado. Existe no algoritmo o tratamento para autorizar o envio de novas fases somente quando o consumo da fase corrente alcançou determinado nível.
- vizinhança: o conceito de vizinhança é aplicado tanto no algoritmo de programação quanto no de despacho na balança. A vizinhança da granja  $i$  é definida como o conjunto de granjas  $j$  que estão num raio  $r$  de quilômetros de  $i$ , ou seja, a distância entre a granja  $i$  e a granja  $j$  deve ser menor ou igual à  $(r + c)$  quilômetros, onde  $c$  é a correção feita na distância geodésica. Quando uma carga tem peso menor do que a capacidade do maior caminhão, é feita uma tentativa de se obter uma carga mais completa para o veículo. Portanto, as rotas são montadas para granjas vizinhas. Em caso de necessidade de se enviar uma carga inferior à capacidade do veículo, e não haver outra granja vizinha, onde seja necessária pelo menos 3 toneladas (um compartimento do veículo), a carga deve seguir com o peso obtido.

## RESTRICÇÕES DE FÁBRICA

A fábrica de ração também determina boa parte do planejamento, tanto com respeito à quantidade como ao que deve ser produzido:

- capacidade : a capacidade da fábrica é suficiente para o atendimento do conjunto atual de granjas. O gerenciamento, porém, dos finais de semana deve ser feito para não faltar ração no domingo e nem sobrecarregar a segunda-feira. O algoritmo tenta antecipar ao máximo os envios, de forma que não haja déficit de ração nas granjas. O horizonte é rolante e sempre deve ser feita a programação de forma a contemplar os finais de semana ou feriados que estejam próximos. Essa política de antecipação das viagens é boa na prática, pois sempre ocorrem imprevistos na distribuição ao longo da semana: ora a fábrica quebra, ora faltam ingredientes, ora a chuva impede o acesso dos veículos às granjas.

A capacidade inferior é usada para a primeira etapa da programação, onde são escolhidas as granjas com os estoques mais baixos, e a capacidade superior é o limite de produção da fábrica. O limite inferior é calculado previamente com aproximadamente o número de bateladas que são necessárias diariamente para evitar o *stockout*. O limite superior é menor do que a capacidade nominal da fábrica, pois a programação gera arredondamentos, para transformar quilos em batidas (bateladas de 3.500Kg), que fazem com que este limite seja superado em cerca de 10%. O limite superior é o real limitante diário para as granjas que projetam déficits futuros, e são antecipadas na segunda etapa do algoritmo de programação de envios.

- produção: a fábrica produz as rações em batidas de 3.500 Kg. As fases iniciais normalmente são produzidas em menores quantidades e são mais elaboradas e mais caras que as últimas fases. Como as fases finais são consumidas muito mais rapidamente pelas granjas (pois as aves estão maiores), a fábrica precisa produzi-las primeiro. E como o que a fábrica produz é enviado no mesmo dia, a seqüência de programação e despacho deve seguir aproximadamente esta ordem. Outro ponto é que a troca de fase na produção exige uma limpeza na

linha, incorrendo num custo de *set up* não desejado. O algoritmo procura aglutinar as fases na programação, para que o despacho consiga ser feito sincronizadamente, sem a necessidade do uso de grandes estoques na fábrica.

## RESTRIÇÕES DE TRANSPORTE

As restrições de transporte envolvem tanto os veículos, como a necessidade de manter uma boa política gerencial com os fretistas. Seguem as considerações envolvendo o transporte:

- veículos : no algoritmo de programação as capacidades dos veículos foram substituídas por um único valor. O veículo foi considerado como sendo dividido em compartimentos de 3 toneladas, podendo cada um receber uma fase diferente de ração. O veículo completo, foi considerado de 16 toneladas, pois há uma folga de 1 tonelada no total dos compartimentos. O algoritmo tenta descartar quantidades baixas de carga, assim como tenta preencher ao máximo os compartimentos dos veículos de modo que se tenha um melhor aproveitamento da viagem.
- balança: no momento da chegada do veículo na balança é que são escolhidas as granjas que serão atendidas, ao mesmo tempo em que se considera a capacidade de cada caminhão. Também são consideradas as restrições de acesso e de vizinhança para montagem da carga. A restrição operacional que deve ser destacada aqui é que numa mesma viagem um veículo não deve levar duas fases distintas para a mesma granja, caso ela esteja no período de troca de fases. O problema para uma carga com duas fases para mesma granja é que o motorista pouco se preocupa em descarregar a fase anterior antes da fase seguinte na seqüência. Além disso, o “efeito funil” do silo faz com que haja problemas no sequenciamento das fases.

## ALGORITMO DE PROGRAMAÇÃO DE ENVIOS

Este algoritmo tem como finalidade definir, para cada dia do horizonte de planejamento, as granjas que serão atendidas, as quantidades e fases enviadas. As decisões tomadas pelo algoritmo prevêm a integração com o algoritmo de montagem de rotas na balança, pois é aplicado o conceito de vizinhança e de cargas fracionadas de acordo com a capacidade média dos veículos.

Os coeficientes que aparecem como limitantes ao longo dos algoritmos foram obtidos empiricamente na fase desenvolvimento do sistema.

O algoritmo é dividido em duas etapas:

- primeira etapa: busca o atendimento de granjas com baixo volume de estoque em relação a sua capacidade de armazenagem. As restrições de quantidades, sequenciamento e troca de fases fazem com que nem todas as granjas candidatas nesta etapa sejam atendidas. Nesta etapa a capacidade de produção fica no limite inferior da fábrica, para que haja uma folga para uso da segunda etapa.
- segunda etapa: o objetivo desta etapa é eliminar os déficits de ração nas granjas que eventualmente permaneçam após a primeira etapa. Como a fábrica trabalha meio período no sábado e permanece fechada no domingo, é necessário antecipar os envios de ração para não nem haver *stockout* no fim de semana, nem um acúmulo na segunda-feira

É preciso efetuar o planejamento em duas etapas, pois primeiro se atende a maior parte das granjas num ambiente normal de funcionamento e depois o restante das granjas, com o cuidado de garantir a manutenção do estoque em níveis adequados.

Após a descrição deste algoritmo é apresentado um exemplo numérico do passo de avaliação das granjas.

## Descrição do algoritmo

O algoritmo a seguir deve ser aplicado à cada dia do horizonte, antes para a primeira etapa completa (todos os dias) e, no final, para a segunda etapa:

1. Antes de iniciar o processo de escolha das granjas, as programações fixas (feitas manualmente) devem ser incluídas na programação e a previsão de estoques deve ser atualizada.
2. Atualização das variáveis:
  - 2.1. Atualiza a data corrente da programação
  - 2.2. Na etapa 1, a capacidade do dia da fábrica é igual ao limite inferior de produção da fábrica nesta data
  - 2.3. Na etapa 2, a capacidade do dia da fábrica é igual ao limite superior de produção da fábrica nesta data
3. Gerar uma lista de granjas candidatas, diferenciada por etapas, com segue:
  - 3.1. Etapa 1: as candidatas são todas as granjas que têm a relação de utilização, definida como (estoque/capacidade), menores do que 45 %, no dia em que se está programando. Esta lista de candidatas é ordenada de maneira crescente segundo a utilização.
  - 3.2. Etapa 2: as candidatas são todas as granjas que estão ou estarão com o estoque negativo a partir do dia corrente da programação. Ou seja, se a programação está no segundo dia, as granjas com estoque negativo no segundo dia, no terceiro e assim por diante até o último dia do horizonte são candidatas. Esta lista deve ser ordenada primeiro cronologicamente de acordo com que os déficits aparecem e depois pelos valores faltantes em cada estoque.
4. Avaliação da lista de granjas candidatas:
  - 4.1. Para cada granja da lista deve ser calculada a quantidade faltante para a corrente fase de ração, considerando-se o estoque que disponível em cada granja.
  - 4.2. Para esta quantidade calculada, devem ser feitas as seguintes análises:
    - 4.2.1. se a quantidade for maior que a capacidade de um veículo, então a carga deve ser de 16.000kg, correspondendo a um caminhão

- 4.2.2. se esta quantidade, transformada em bateladas, não ultrapassa a capacidade da fábrica para a etapa correspondente
  - 4.2.3. se a quantidade somada ao estoque corrente na granja ultrapassar 80% da capacidade em mais de 10% do total, a quantidade deve ser reduzida para 80% da capacidade
  - 4.2.4. se a quantidade for inferior a 16 toneladas, deve ser calculada uma faixa de erro sobre a fase e verificar se a quantidade pode ser descartada (caso esteja abaixo da faixa) ou arredondada para o maior valor da faixa que corresponda ou a múltiplos de 3 toneladas ou a 16 toneladas.
  - 4.3. se a fase prevista para envio for diferente da fase corrente, deve ser analisado se a quantidade média consumida pelas aves da granja, atingem pelo menos 70% do necessário por ave para a fase corrente. Caso contrário, não se permite o envio antes que o estoque corrente seja consumido.
  - 4.4. se a quantidade final de envio for menor que 70% da capacidade do caminhão, então deve-se procurar na lista de candidatas uma granja que necessite de uma quantidade (considerando-se os itens 4.2.1 a 4.3) de ração que possa complementar a viagem. A granja escolhida deve pertencer à vizinhança da granja já selecionada. Este procedimento facilita a montagem da carga na balança, mas não é obrigatório que a viagem ocorra com esta mesma rota.
5. Atualização dos dados
    - 5.1. Para as granjas selecionadas, a quantidade enviada deve ser acrescentada ao estoque para a continuidade da avaliação.
    - 5.2. Descontar da capacidade da fábrica a quantidade a ser enviada para as granjas selecionadas, transformando em número de bateladas
  6. Volta para 2 até o último dia do horizonte.
  7. Ordenar a lista de programação por data e fase de ração. As fases devem estar ordenadas das últimas da seqüência para as primeiras (por exemplo, F4, F3, F2 e F1). Ou seja, do maior consumo diário para o menor.

## Exemplo numérico

Após a geração da lista de granjas candidatas adequada a cada etapa, conforme descrito no passo 3, as granjas são avaliadas por um processo comum em ambas etapas. Este processo consiste em determinar qual é a necessidade de cada granja, ou seja, quantidade e fase a ser enviada no dia corrente da programação. Os dados a seguir foram preparados para que fosse possível analisar alguns passos mais críticos do processo. Observe:

- para o dia corrente no algoritmo temos os dados

Dado	Valor
Idade do lote	24 dias
Fase atual	F2
Necessidade de F2	1.000 gr/ave
Erro permitido para F2	+/- 6%
Estoque na granja	1.000 Kg
Capacidade	14 ton
Número de aves	15.000 aves
Consumo acumulado	1.050 gr/ave

- passo 4.1 : cálculo da quantidade faltante (q)  
$$q = \{ \text{necessidade de F2} - [ (\text{consumo acumulado} - \text{necessidade de F1}) + (\text{estoque} / \text{número de aves}) ] \} * \text{número de aves} / 1000$$
$$q = \{ 1000 - [ (1050 - 250) + (1000000 / 15000) ] \} * 15000 / 1000$$
**q = 2000kg**
- passo 4.2 : análises sobre a quantidade necessária para esta granja
- passo 4.2.1 : 2000 não é maior do 16000, então não tem restrição
- passo 4.2.2 :  $(2000 \text{ div } 3500) = 1$  batelada, supomos que há capacidade
- passo 4.2.3 :  $(2000+1000) = 3000$  é menor do que  $12320=0,8*(14000*1,1)$ , logo não há restrição para esta quantidade
- passo 4.2.4 : verificação da faixa de erro (6%) da fase F2:  
ou seja, o erro de  $:1000*6\%*15000/1000 = +/- 900 \text{ kg}$

- se 2000 fosse menor que 900 a quantidade seria desprezível, e seria enviado a fase seguinte na quantidade adequada
- e como  $2000+900=2900$  é menor do que 3000 (uma caixa do caminhão) então a quantidade enviada é 2900kg. Este valor inclui o erro nutricional máximo permitido, mas faz uma carga melhor para o aproveitamento do veículo, quase completando uma caixa. Outro exemplo, se o erro fosse de 1500 kg, somente 3000 kg seria enviado e não 3500kg.
- passo 4.3: a fase prevista é a mesma, então não há a restrição de troca de fase que exigiria um consumo de 70% do estoque da fase corrente
- passo 4.3: como  $(2900 / 16000) = 18,2\%$  é menor do que 70% da capacidade do caminhão (16000kg) então o algoritmo vai procurar na lista de candidatas uma granja que seja vizinha desta. No caso de encontrar uma candidata adequada, todo o processo de avaliação é feito para esta nova granja, de modo que se complete a carga deste caminhão, ou seja, as outras caixas, com  $16000-3000=13000$  kg de capacidade.

Para as granjas que recebem envio, é feita a atualização do estoque. E depois de todas as candidatas avaliadas para todos os dias do horizonte nas duas etapas, a programação é ordenada da última fase para a primeira.

## ALGORITMO DE MONTAGEM DE ROTA NA BALANÇA

A programação dada pelo algoritmo anterior, já prepara os dados para que a montagem da rota na balança seja facilitada.

A montagem da carga deve ser feita no momento da chegada do caminhão (*on line*) pois vários pontos devem ser verificados:

- fábrica: deve ser analisado se há estoque suficiente na fábrica da fase de ração que será solicitada. Como o estoque é pequeno e a fábrica pode parar algumas vezes, assumir a disponibilidade das fases a qualquer momento é um erro
- veículo: como a frota não é homogênea, a carga deve ser adequada à capacidade do veículo. Além disso, a restrição de acesso deve ser verificada neste momento. Outro ponto, como já explicado anteriormente, é que o mesmo veículo não pode carregar num mesmo envio duas fases distintas para a mesma granja.

### Descrição do algoritmo

1. Retira-se da lista de granjas programadas a primeira não atendida
2. Verifica-se se há estoque na fábrica para atender a próxima granja; se não há, volta para 1 para tentar nova granja. Caso nenhuma possa ser atendida, o despacho é suspenso.
3. Sobre a quantidade programada devem ser feitas as análises:
  - 3.1. se for superior à capacidade do veículo, volta para 1 para escolher outra granja da seqüência de programação
  - 3.2. se for inferior a 70% da capacidade do veículo, procura-se outra granja, vizinha da escolhida para que a carga seja completada. Para esta segunda granja também deve-se validar a disponibilidade de estoque.
4. Depois do carregamento, os valores reais pesados na balança rodoviária são atualizados no estoque da granja. Neste momento, o envio é dado como atendido.

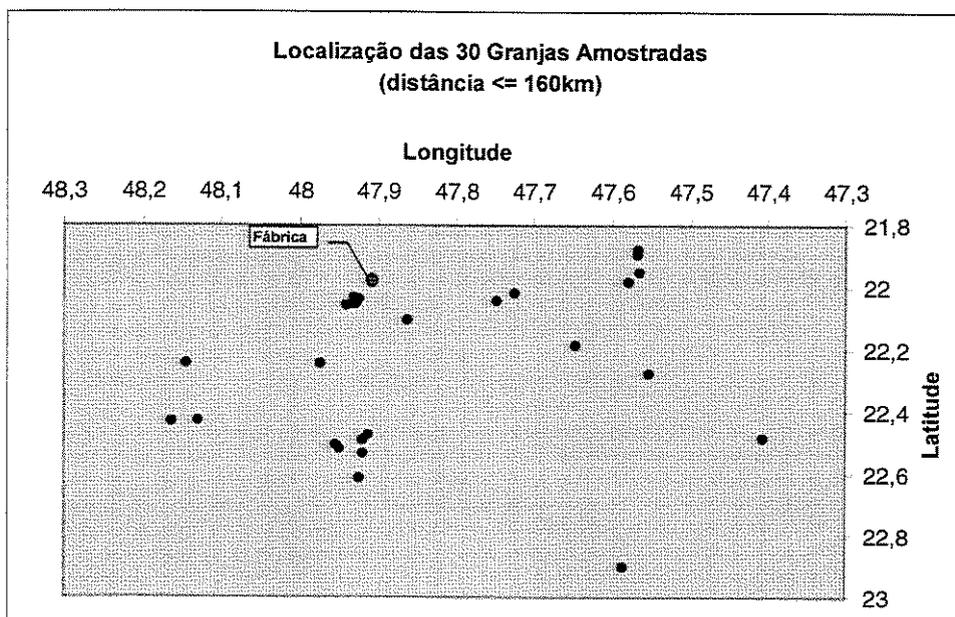
## Simulação do Sistema

Para avaliação do algoritmo apresentado anteriormente, será feita uma simulação do uso do sistema para um conjunto reduzido de granjas, obtido do banco de dados original.

### AMOSTRA

A amostra é formada por 30 granjas escolhidas aleatoriamente de um conjunto de granjas distantes, no máximo, 160 km da fábrica. Os lotes destas granjas foram alojados a partir de 15 de Janeiro de 1999. Dessa forma, a amostra contém granjas que estão desde as fases iniciais até as fases finais.

A distribuição geográfica da amostra pode ser vista no gráfico a seguir:



A data inicial da simulação será 22/02/1999. Nesta data, a amostra tinha a seguinte composição: 1.064.850 aves, sendo 392.850 fêmeas (36,9%) e 672.000 machos (63,1%).

A tabela a seguir apresenta a evolução do alojamento destas aves no período, partindo do primeiro em 15/01 e chegando a 30 alojamentos (em produção) no dia 22/02.

Granja	Alojamento	Granja	Alojamento	Granja	Alojamento
I266	15/01/1999	A13	29/01/1999	I259	12/02/1999
E77	22/01/1999	I273	30/01/1999	I146	13/02/1999
I34	22/01/1999	E11	02/02/1999	F92	16/02/1999
D270	25/01/1999	F37	05/02/1999	F201	16/02/1999
I267	25/01/1999	A07	05/02/1999	G137	17/02/1999
G122	26/01/1999	F30	05/02/1999	D72	19/02/1999
A102	26/01/1999	F31	06/02/1999	G94	19/02/1999
A195	27/01/1999	F95	06/02/1999	D125	19/02/1999
A05	27/01/1999	G151	10/02/1999	D219	20/02/1999
A06	29/01/1999	I16	11/02/1999	C84	22/02/1999

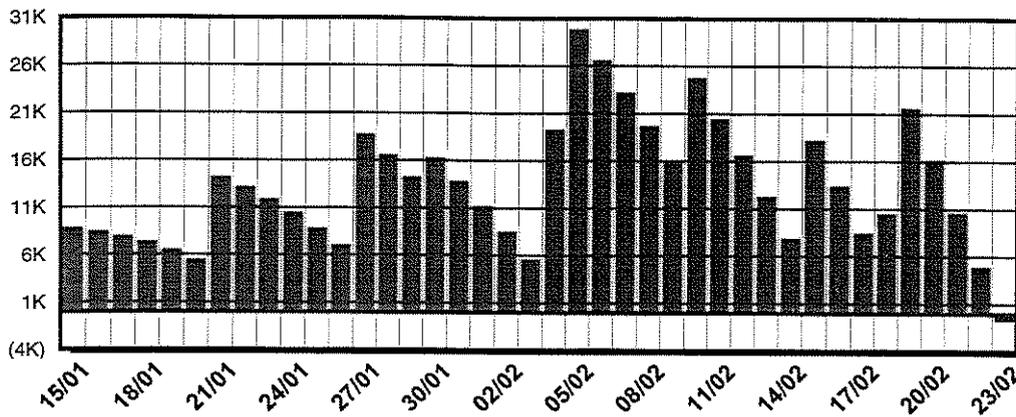
## PERFIS DE INVENTÁRIO

O histórico de cada granja depende da data de alojamento e da quantidade de vezes que seus dados foram atualizados, seja pelo envio de ração, seja por correções feitas nas medições dos silos.

Dentro da amostra foram escolhidas 4 granjas para ilustrar o que ocorreu em seu estoque antes de 22/02 e, posteriormente, nestas mesmas granjas, será analisada aplicação do algoritmo.

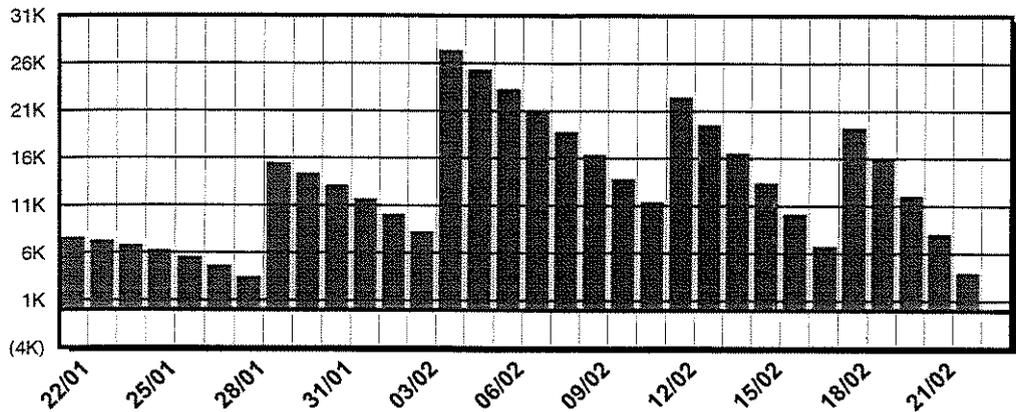
### Exemplo 1: I266

Esta granja recebeu 8 viagens antes do dia 22/02, a saber, dias 15/01, 21/01, 27/01, 04/02, 05/02, 10/02, 15/02 e 19/02. Nos dias 30/01 e 18/02 o aparente aumento do estoque se deve ao valor real do estoque ter sido informado ao sistema. Este lote está com 38 dias em 22/02 e vai ter déficit de ração no dia 23/02, o que significa que um envio é necessário no máximo até o dia 23/02, para suprir esta necessidade.



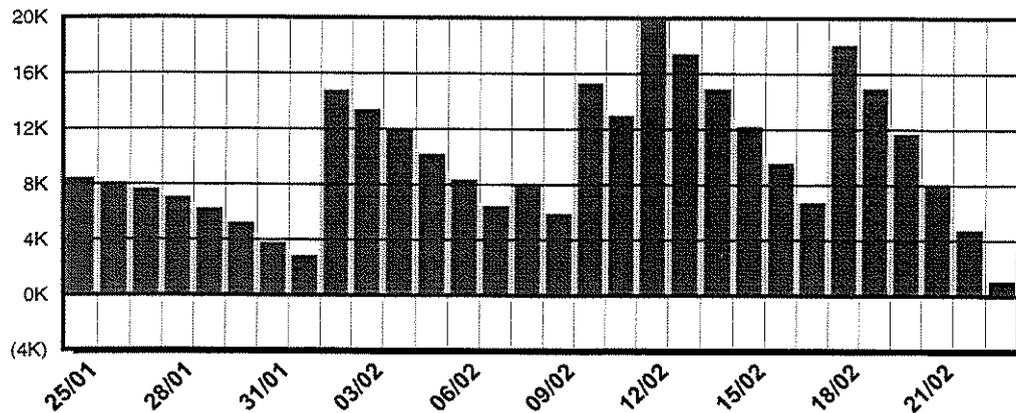
### Exemplo 2: I34

O estoque desta granja tem um perfil bastante comum. A quantidade da primeira fase é pequena (250gr por ave) e dura cerca de 7 dias. Na terceira fase o inventário atinge níveis altos e abaixa um pouco na última fase, onde o consumo é mais intenso. No dia 22/02 esta granja ainda tem ração estocada. Com isso, o algoritmo é flexível para poder ou não atendê-la. Mas o envio não deve ocorrer depois do dia 24/02, quando haveria *stockout*.



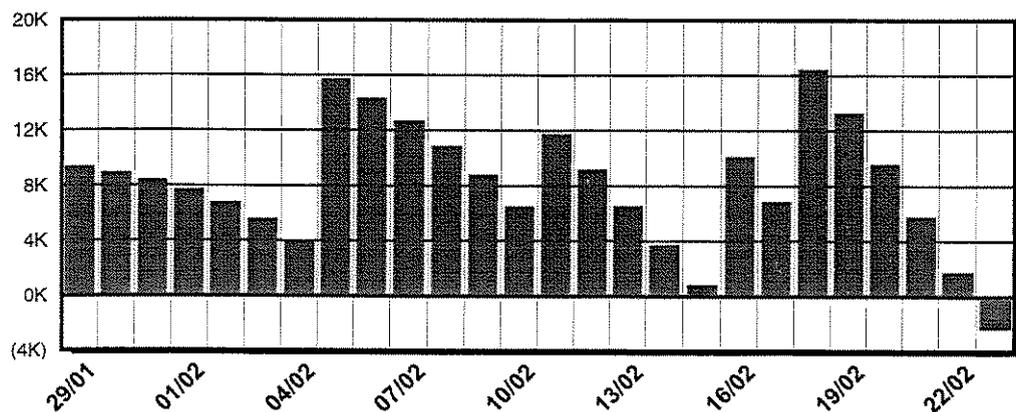
### Exemplo 3: D270

Esta granja tem perfil semelhante ao das anteriores. A diferença é que sua capacidade de estocagem é menor, o que faz com que nas últimas fases ela seja abastecida com maior frequência.



### Exemplo 4: A13

Novamente o padrão se repete nesta granja. O que é interessante notar aqui é que quase houve *stockout* no dia 15/02, pois provavelmente não houve capacidade para atendê-la no dia 15/02 que era uma segunda-feira, dia no qual a programação é mais difícil de ser cumprida, pois aos domingos não são feitas entregas. Depois disso dois envios foram feitos para recuperar o nível de estoque. Esta granja é candidata a ser atendida no dia 22/02 ou no máximo dia 23/02.



Na tabela a seguir é apresentada a posição de cada granja no dia 21/02, no dia imediatamente anterior ao início da programação. Observe:

Granja	Idade (dias)	Consumo (gr)	Consumo Acum (gr)	Nro. Aves	Estoque (kg)	Capac. (ton)	Utilização	Dias de Estoque
E77	31	135,9	2170,2	37248	1984	20	9,92%	0,39
F201	6	31	107,8	22238	3412	20	17,06%	4,95
F31	16	69,8	622	36478	2471	12	20,60%	0,97
G137	5	23,8	71,1	26724	2972	14	21,23%	4,67
A06	24	102,1	1323,3	36137	5262	20	26,31%	1,43
A102	27	115,9	1657	20155	3521	13	27,08%	1,51
D125	3	13,9	34,5	36619	8488	31	27,38%	16,68
I34	31	135,9	2170,2	29125	8076	29	27,85%	2,04
D219	2	9,4	16,3	35173	6179	22	28,09%	18,69
I267	28	130,7	1787,7	23970	5593	18	31,07%	1,79
I273	23	97,8	1221,2	13017	2866	9	31,85%	2,25
A13	24	102,1	1323,3	37581	5753	18	31,96%	1,50
F92	6	31	107,8	109172	16858	52	32,42%	4,98
I266	38	169,9	3261	32598	10648	30	35,49%	1,92
G122	27	115,9	1657	27364	8032	21,5	37,36%	2,53
E11	20	76,9	861,3	64928	9927	26	38,18%	1,99
D270	28	114,6	1576,8	33085	7904	20	39,52%	2,08
F30	17	73,7	695,7	48085	10135	24	42,23%	2,86
I146	9	36,8	215,5	34439	8593	20	42,96%	6,78
D72	3	13,1	29,4	49272	11291	24	47,05%	17,49
I259	10	42,3	257,8	20136	7178	14,5	49,51%	8,43
F95	16	62	576,7	41073	7513	15	50,09%	2,95
A195	26	111,2	1541,1	15856	6824	13	52,50%	3,87
G94	3	13,9	34,5	27043	5646	10	56,46%	15,02
A05	26	111,2	1541,1	22107	11042	18	61,34%	4,49
G151	12	50	341,9	14683	5234	8	65,42%	7,13
I16	11	48	305,8	16182	10598	16	66,24%	13,64
F37	17	65,4	642,1	31472	8732	12	72,76%	4,24
A07	17	65,4	642,1	51969	25305	22	115,02%	7,45

No dia 22/02 a posição já é de déficit em algumas granjas (E77 e F31) e em outras o estoque já está em níveis comprometedores. As granjas com o número de dias de estoque menor que 1 também devem ser atendidas no prazo máximo de 1 dia para que em 23/02 não haja *stockout*. Observe:

Granja	Idade (dias)	Consumo (gr)	Consumo Acum (gr)	Nro. Aves	Estoque (kg)	Capac. (ton)	Utilização	Dias de Estoque
E77	32	141	2311,2	37195	-3260	20	-16,30%	-0,62
F31	17	73,7	695,7	36426	-213	12	-1,78%	-0,08
A102	28	130,7	1787,7	20128	890	13	6,85%	0,34
A06	25	106,6	1429,9	36097	1414	20	7,07%	0,37
A13	25	106,6	1429,9	37539	1751	18	9,73%	0,44
F201	7	40	147,8	22206	2524	20	12,62%	2,84
I34	32	141	2311,2	29084	3975	29	13,71%	0,97
G137	6	30,7	101,8	26686	2153	14	15,38%	2,63
I267	29	115,8	1903,5	23938	2821	18	15,67%	1,02
I266	39	173,9	3434,9	32545	4988	30	16,63%	0,88
I273	24	102,1	1323,3	13001	1539	9	17,10%	1,16
E11	21	74,9	936,2	64856	5069	26	19,50%	1,04
G122	28	130,7	1787,7	27328	4460	21,5	20,75%	1,25
D270	29	96,1	1672,9	33041	4729	20	23,64%	1,49
F92	7	40	147,8	109019	12497	52	24,03%	2,87
D125	4	18,3	52,8	36571	7818	31	25,22%	11,68
D219	3	13,1	29,4	35130	5719	22	26,00%	12,43
F30	18	77,6	773,3	48027	6408	24	26,70%	1,72
F95	17	65,4	642,1	41015	4831	15	32,21%	1,80
I146	10	42,3	257,8	34383	7138	20	35,69%	4,91
A195	27	115,9	1657	15836	4989	13	38,38%	2,72
C84	1	9,6	9,6	47248	12000	30	40,00%	26,46
I259	11	48	305,8	20103	6213	14,5	42,85%	6,44
D72	4	17,9	47,3	49207	10410	24	43,38%	11,82
A05	27	115,9	1657	22080	8483	18	47,13%	3,31
G94	4	18,3	52,8	27007	5152	10	51,52%	10,42
F37	18	69,2	711,3	31434	6556	12	54,64%	3,01
G151	13	55,2	397,1	14658	4425	8	55,31%	5,47
I16	12	54,2	360	16154	9722	16	60,76%	11,10
A07	18	69,2	711,3	51906	21713	22	98,69%	6,04

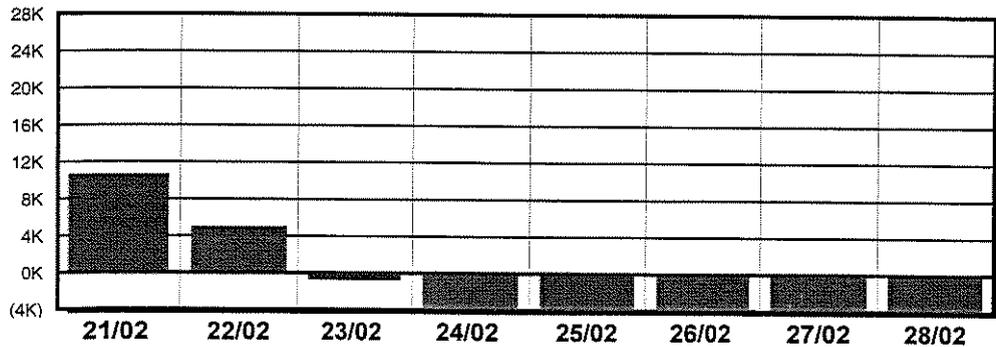
Se nada fosse feito no dia 22/02 a situação ficaria complicada no dia 23/02 com 9 granjas sem ração e outras 6 com estoque para menos de um dia. A programação é guiada pela necessidade de envio de ração dentro do horizonte de programação para que os déficits sejam evitados.

Granja	Idade (dias)	Consumo (gr)	Consumo Acum (gr)	Nro. Aves	Estoque (kg)	Capac. (ton)	Utilização	Dias de Estoque
E77	33	146,1	2457,3	37142	-8687	20	-43,43%	-1,60
F31	18	77,6	773,3	36382	-3036	12	-25,30%	-1,08
A13	26	111,2	1541,1	37493	-2418	18	-13,43%	-0,58
A06	26	111,2	1541,1	36053	-2595	20	-12,98%	-0,65
A102	29	115,8	1903,5	20101	-1438	13	-11,06%	-0,62
I266	40	177,5	3612,4	32492	-779	30	-2,60%	-0,14
I267	30	130,8	2034,3	23904	-306	18	-1,70%	-0,10
I34	33	146,1	2457,3	29043	-268	29	-0,93%	-0,06
E11	22	81,3	1017,5	64784	-198	26	-0,76%	-0,04
I273	25	106,6	1429,9	12986	155	9	1,72%	0,11
D270	30	112,5	1785,4	32994	1017	20	5,08%	0,27
G122	29	115,8	1903,5	27292	1300	21,5	6,05%	0,41
G137	7	41,4	143,2	26648	1049	14	7,50%	0,95
F201	8	30,9	178,7	22172	1838	20	9,19%	2,68
F30	19	81,5	854,8	47974	2498	24	10,41%	0,64
F95	18	69,2	711,3	40965	1996	15	13,31%	0,70
F92	8	30,9	178,7	108855	9133	52	17,56%	2,72
D125	5	24	76,8	36523	6942	31	22,39%	7,92
A195	28	130,7	1787,7	15815	2922	13	22,48%	1,41
D219	4	17,9	47,3	35084	5091	22	23,14%	8,11
I146	11	48	305,8	34327	5491	20	27,45%	3,33
A05	28	130,7	1787,7	22051	5601	18	31,11%	1,94
I259	12	54,2	360	20068	5126	14,5	35,35%	4,71
F37	19	73,1	784,4	31399	4261	12	35,51%	1,86
C84	2	11	20,6	47196	11481	30	38,27%	22,11
D72	5	23,8	71,1	49143	9240	24	38,50%	7,90
G94	5	24	76,8	26971	4505	10	45,05%	6,96
G151	14	56,1	453,2	14631	3604	8	45,05%	4,39
I16	13	59,9	419,9	16126	8756	16	54,73%	9,06
A07	19	73,1	784,4	51848	17923	22	81,47%	4,73

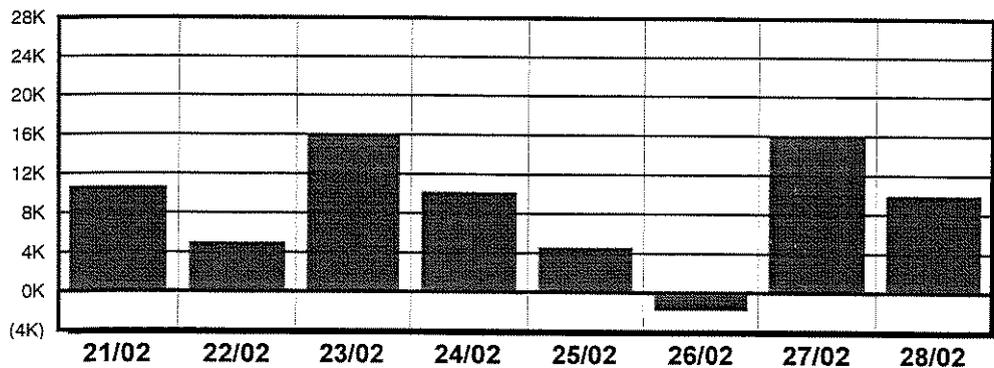
## RESULTADOS OBTIDOS

A capacidade da fábrica para os dias úteis ficou em no mínimo de 15 e no máximo de 25 toneladas. No sábado, em 8 e 13 toneladas, e domingo em 0.

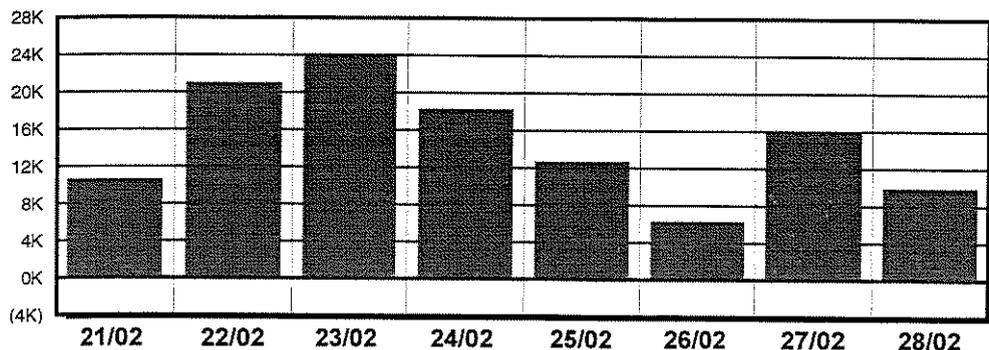
Para a granja I266 a previsão era de *stockout* no dia 23/02. Observe:



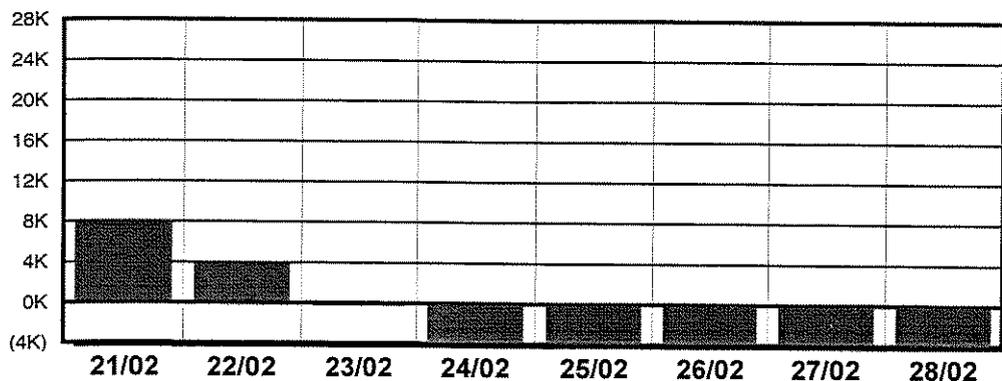
Na primeira etapa do algoritmo o déficit do dia 23 foi resolvido, e também foi programado um novo envio para o dia 27. Como se observa não foi possível resolver o déficit do dia 26, dada a baixa capacidade da fábrica na 1ª etapa.



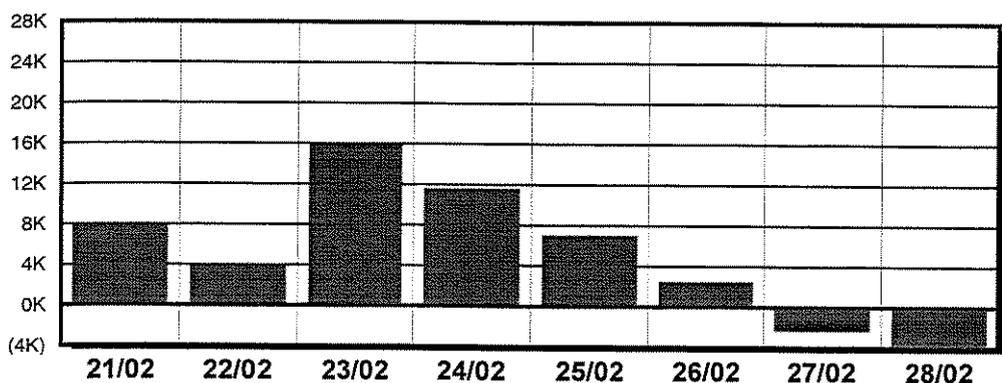
Na segunda etapa, porém, o problema do dia 26 foi resolvido pelo envio de uma carga dia 22.



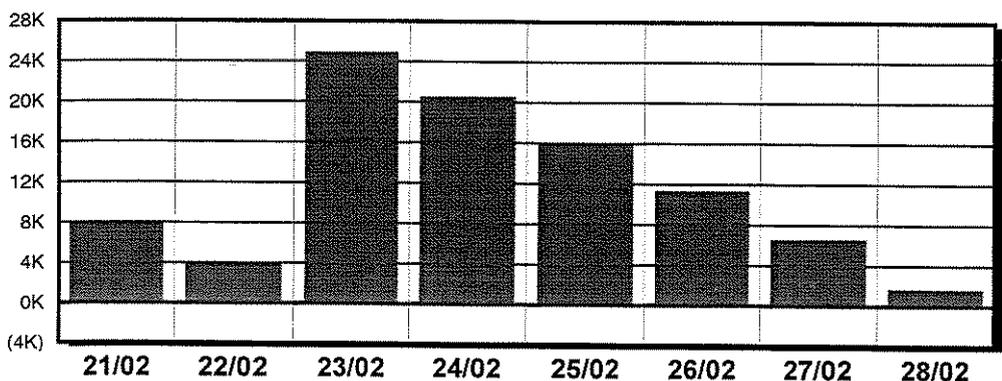
A granja I34 só teria déficit no dia 23/02. Portanto só seria atendida no dia 22 se houvesse capacidade ociosa na fábrica.



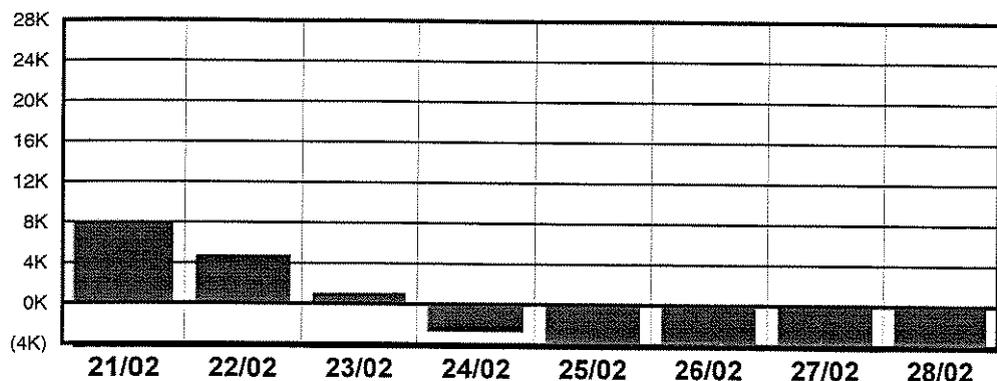
Na primeira etapa o algoritmo garantiu o estoque para o dia 23/02 mas deixou em aberto um déficit para o dia 27.



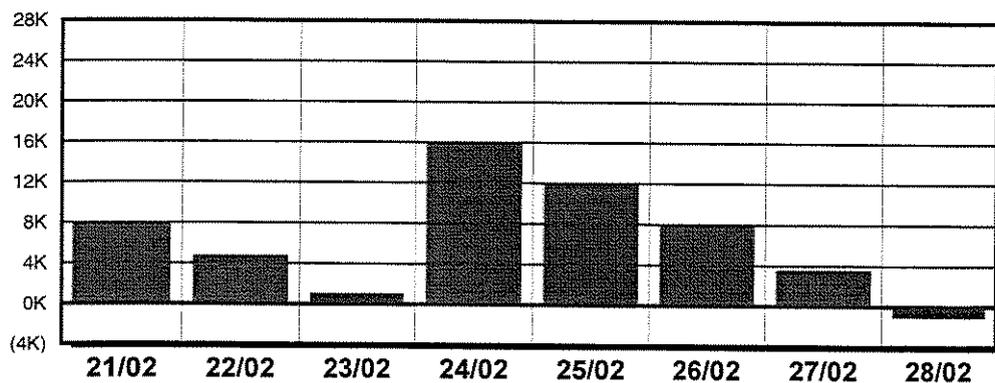
O sistema aumentou a quantidade a ser enviada no dia 23/02 de modo a solucionar o futuro déficit em 27 e 28/02.



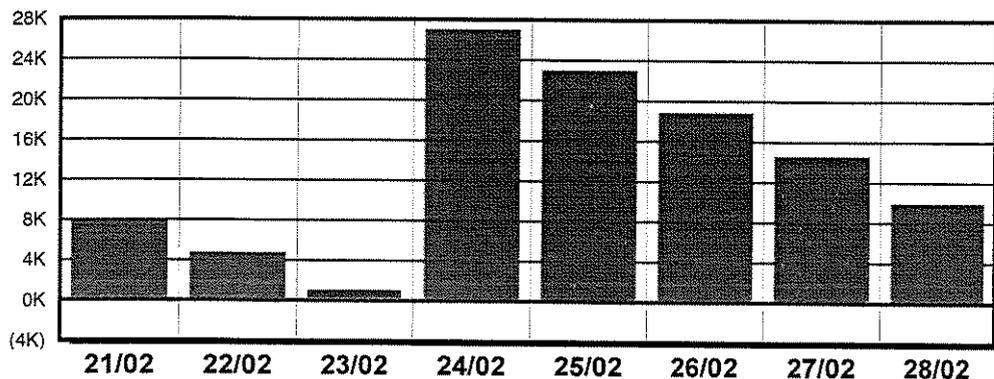
A granja D270 só terá seu estoque comprometido a partir do dia 24/02, como se observa no gráfico:



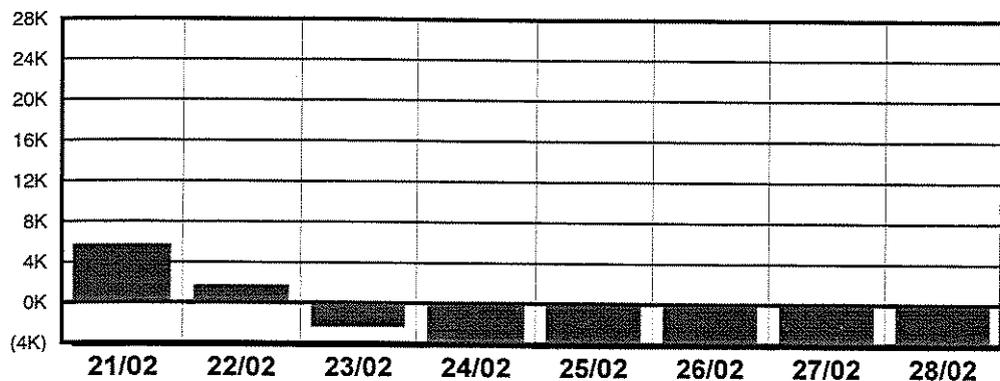
O algoritmo programa o envio de uma carga para o dia 24 para resolver o problema. Veja que neste caso não foi possível adiantar o envio.



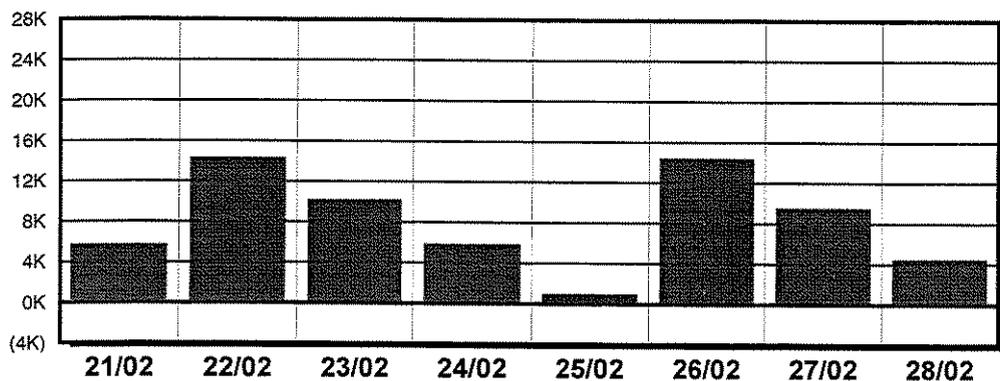
Na segunda etapa é feita uma correção no tamanho da carga do dia 24 de modo que se evite o *stockout* do dia 28, um domingo.



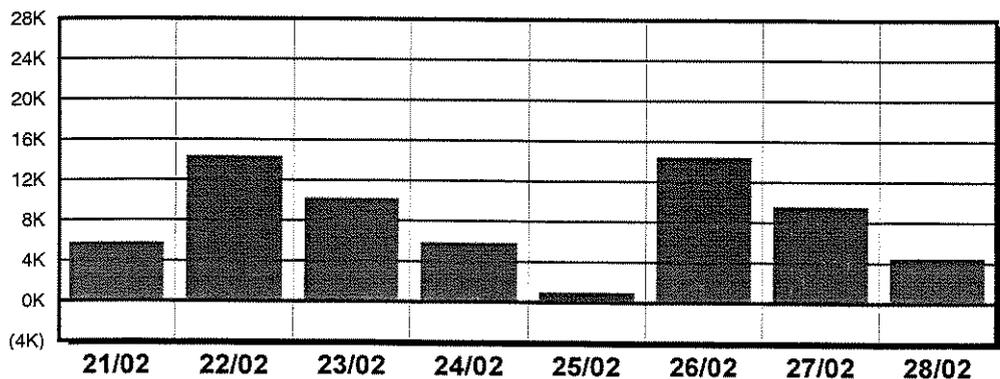
Antes da primeira etapa a granja A13 tinha uma previsão de *stockout* para o dia 23/02. Observe:



Porém após a primeira fase este déficit foi sanado e o problema resolvido para esta granja.



Como já não havia *stockout* para ser resolvido dentro do horizonte, após a segunda etapa o perfil de inventário na granja permaneceu sem alterações. Observe:

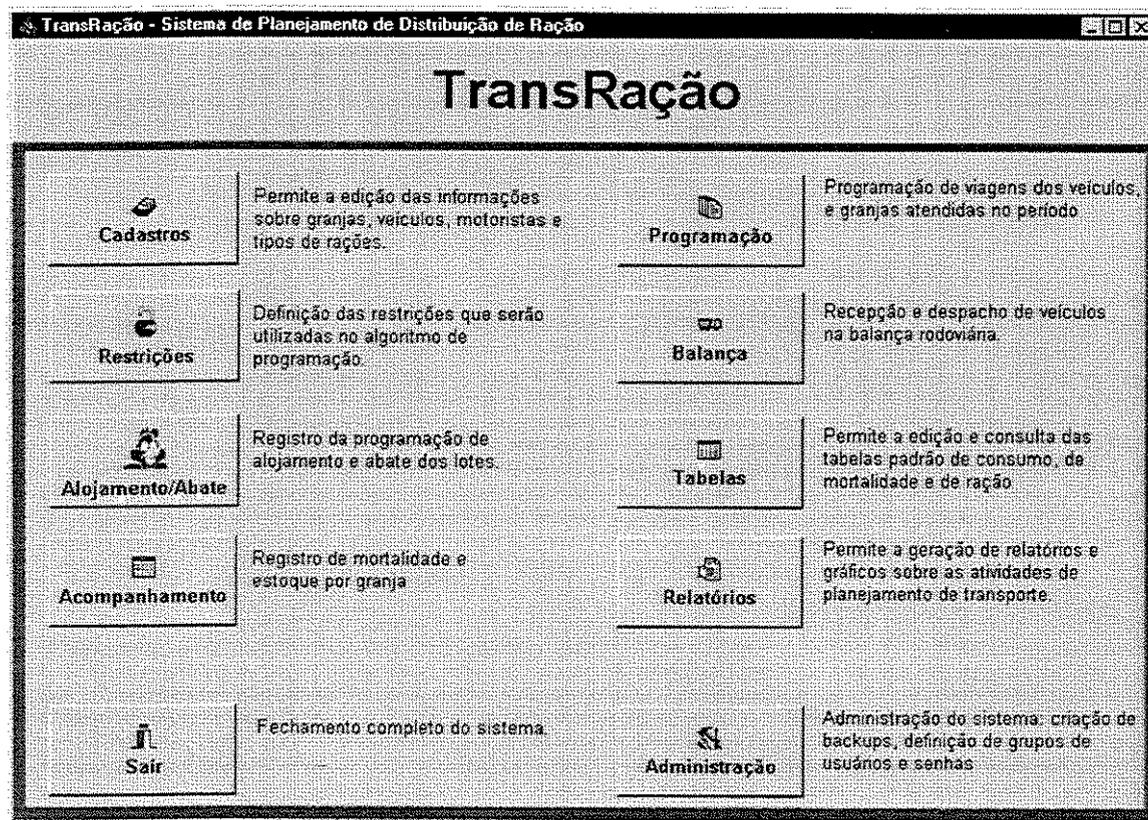


## Sistema “TransRação”

O software que contempla todas as necessidades dos usuários do departamento planejamento de distribuição de ração foi denominado *TransRação*.

O sistema *TransRação* foi desenvolvido em Delphi 3.02 da Inprise Co. e teve como base de dados o Access 98 da Microsoft Co.. Para a geração de relatórios foi utilizado o programa Crystal Reports da Seagate Software Co.

A seguir serão apresentadas as telas que compõe o sistema divididas pelos itens do menu da tela principal do sistema:



## Cadastrros

### GRANJAS

Um granja é identificada e reconhecida por um código único que é cadastrado juntamente com informações complementares de identificação.

A localização é digitada num formato que pode ser lida diretamente do GPS. Essa informação é imediatamente processada e toda sua vizinhança é calculada.

Outro dado fundamental para o cadastro da granja é o tamanho do silo, que se traduz na sua capacidade de estocagem, em toneladas.

Observe a tela a seguir:

Código da Granja	Nome		
1173	ETTORE CAVINA	<input type="button" value="Pesquisa"/>	
Endereço		Cidade	UF
SITIO SANTO ANTONIO		SANTA MARIA DA SER	SP
Telefone	Fax	Responsável	
019666666		ANTONIO AGOSTINHO CAVINA	
Distância (Km)	Tempo (hh:mm)	Comedouro	Silo (ton)
211	01:30	TUBOFLEX	40
Latitude	Longitude	Tempo de Descarga (min)	
22.34.015	48.06.355	50 <input checked="" type="checkbox"/> Ativa	

Anterior   ← Próximo   = Remover   ↕ Inserir   ↻ Atualizar   Adaptar   ✖ Cancelar   🏠 Retornar

## VEÍCULOS

A identificação do veículo é feita pela sua placa e o dado fundamental aqui é capacidade de carga, em toneladas, além do número de compartimentos do caminhão:

**Cadastro**

Granjeas | Veículos | Rações | Parâmetros

Placa  
PMF1000

Motorista  
Nelson

Capacidade (ton) Compartimentos  
15 4  Ativo

← Anterior → Próximo = Remover ✦ Inserir 🔄 Atualizar 📄 Abrir 🗑️ Cancelar 🏠 Retornar

## RAÇÃO

As fases de ração podem ser cadastradas para que a fábrica tenha flexibilidade de testar novas fórmulas a qualquer momento.

As faixas de erro (acima/abaixo) são alteradas segundo a política de qualidade da empresa que deve manter um compromisso com a relação custo/benefício de um bom programa nutricional.

Por uma questão de facilidade em outros pontos do sistema, se a ração faz parte do conjunto de fases comuns aos novos lotes, então ela é marcada como padrão.

The screenshot shows a software window titled 'Cadastro' with a menu bar containing 'Granjas', 'Veículos', 'Rações', and 'Parâmetros'. Below the menu bar, there are two tabs: 'Macho' and 'Fêmea'. The main area contains a table with the following data:

Fase	Descrição	Erro Abaixo (%)	Erro Acima (%)	Padrão
F1	FRANGO PRE INICIAL	5	5	<input checked="" type="checkbox"/>
F2	FRANGO INICIAL	6	6	<input checked="" type="checkbox"/>
F3	FRANGO CRESCIMENTO	7	7	<input checked="" type="checkbox"/>
F4	FRANGO ABATE	8	8	<input checked="" type="checkbox"/>

At the bottom of the window, there is a toolbar with the following buttons: 'Anterior', 'Próximo', 'Remover', 'Inserir', 'Atualizar', 'Aceitar', 'Cancelar', and 'Retornar'.

## PARÂMETROS

Os parâmetros isolados ficaram compartimentados em uma única tela do sistema, como é apresentada a seguir:

The screenshot shows a software window titled "Cadastro" with a menu bar containing "Granjias", "Veículos", "Rações", and "Parâmetros". The "Parâmetros" menu item is selected. The main content area displays five input fields for parameter configuration:

Parameter Name	Value
Raio de Vizinhança (km)	10,00
Velocidade Média (km/h)	50,00
Horizonte de Programação	07
Fator de Correção de Distância (%)	30,00
Fator de folga no estoque (%)	10,00

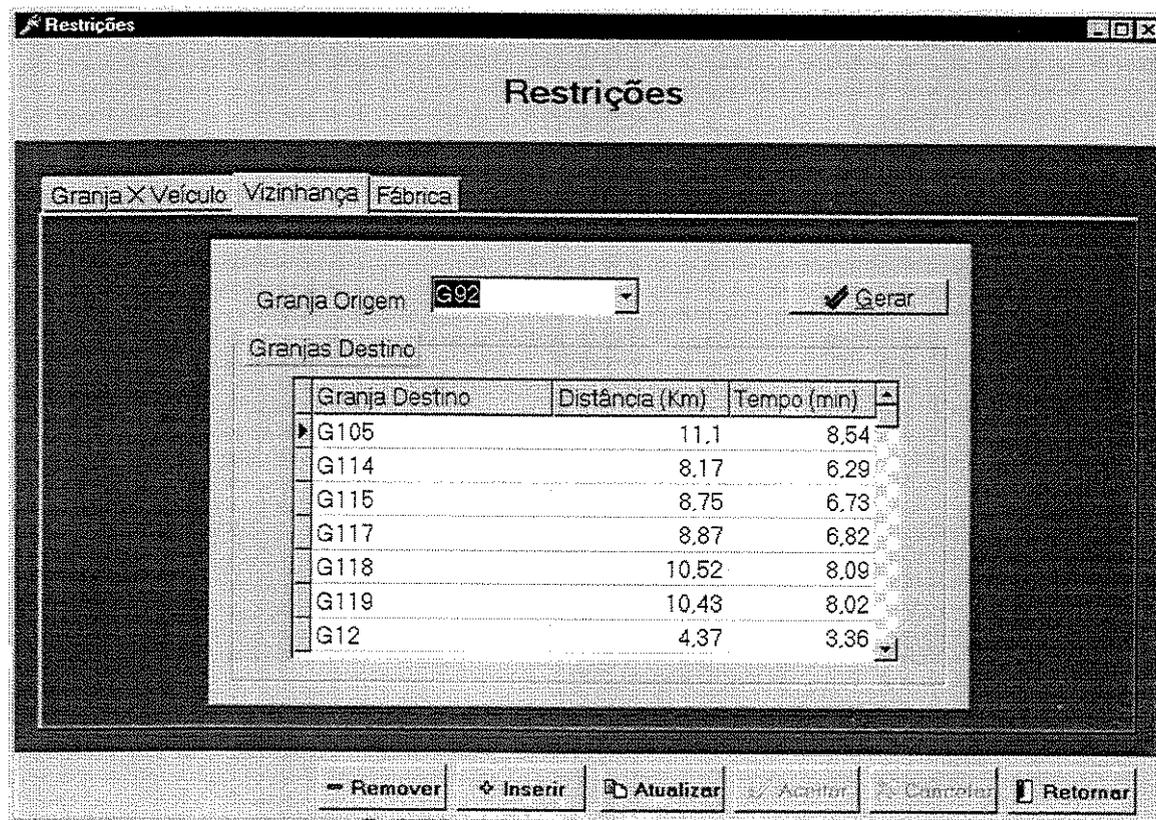
At the bottom of the window, there is a toolbar with the following buttons: "Anterior", "Próximo", "Remover", "Inserir", "Atualizar", "Aceitar", "Cancelar", and "Retornar".

Cada dado é utilizado para um fim específico, a saber:

- raio de vizinhança: é usado para determinação dos vizinhos de uma certa granja. Na tela de vizinhança será apresentado como é feita a determinação dos vizinhos.
- fator de correção: é o quanto deve ser acrescido a distância/tempos para tornar as distâncias geodésicas próximas das distâncias reais por terra.
- velocidade média: para cálculo do tempo entre as granjas vizinhas.
- horizonte de programação: o número de dias além do dia inicial da programação para programação dos envios.

## VIZINHANÇA

Diferentemente de uma região fechada onde todos são vizinhos entre si, no sistema é considerado que cada granja possui um conjunto de vizinhos. Quando uma granja é cadastrada, imediatamente ela é incluída no conjunto das granjas que estão próximas a ela, ao mesmo tempo que é criado um conjunto individual para esta granja. É importante o fato de cada granja ter seu próprio conjunto, pois se, por exemplo, há um rio (sem ponte) entre duas granjas próximas geograficamente, pode-se retirá-la do conjunto de vizinhos uma da outra, evitando-se portanto rotas indesejáveis.



## Alojamento/Abate

### ALOJAMENTO

O registro de alojamento é feito informando a granja, o sexo e o número de aves e a data em que ocorrerá. Automaticamente é atribuída uma seqüência padrão de fases, bem como as quantidades indicadas para cada fase. No caso do lote necessitar de algum tipo especial de fase, por algum motivo especial como doença no lote, é nesta tela que a seqüência e/ou valores devem ser alterados.

A inserção de um alojamento programa uma viagem fixa para o primeiro dia útil antes da data de alojamento.

Alojamentos e Abates

Alojamento Abate

Granja 1108

Alojar em 26/02/1999

Nro. de Aves 20750

Sexo

Macho

Fêmea

Fase	Qtde (gr)
F1	250
F2	1000
F3	2000
F4	5000

< Anterior    → Próximo    = Remover    ◆ Inserr    ⌂ Atualizar    ⌂ Acionar    ⌂ Cancelar    Retornar

## ABATE

O abate pode ser marcado como parcial ou integral. Ambos refletem automaticamente nos dados de acompanhamento de lote. O abate integral, zera o número de aves e cessa o envio de ração para a granja escolhida.

Alojamentos e Abates

Alojamento Abate

Granja 1175

Agendamento de Abates

Abate em	Nro. Aves	Integral
23/02/1999	4990	<input type="checkbox"/>
24/02/1999	51238	<input checked="" type="checkbox"/>

Anterior Próximo Remover Inserir Atualizar Abrir Cancelar Retornar

## Acompanhamento de Lote

Esta tela é fundamental para uma consulta rápida sobre a posição de uma granja. Aqui pode se ver os principais dados relevantes para a programação, tais como, consumo, mortalidade, número de aves e estoque na granja. Além disso todos os valores reais de estoque são registrados nesta tela. A coluna de abate indica quando ocorreu um abate parcial ou total na granja.

Granja: 1112      ? Verifica Estoques

Data	Idade	% Mort.	% M.Acum	Nro. Aves	Cons. (gr)	C.Acum	Estoque (kg)	Real	Abate
20/02/1999	23	0.11	3.55	17844	79.90	1097.40	3968	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21/02/1999	24	0.12	3.67	17822	84.30	1181.70	1962	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22/02/1999	25	0.11	3.78	17802	88.80	1270.50	9250	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23/02/1999	26	0.12	3.90	17780	93.50	1364.00	7188	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24/02/1999	27	0.12	4.02	17758	98.20	1462.20	5071	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25/02/1999	28	0.13	4.15	17734	114.60	1576.80	8813	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26/02/1999	29	0.13	4.28	17710	96.10	1672.90	6502	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27/02/1999	30	0.14	4.42	17685	112.50	1785.40	4134	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28/02/1999	31	0.13	4.55	17662	114.60	1900.00	1543	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
01/03/1999	32	0.14	4.69	17637	121.70	2021.70	-1113	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
02/03/1999	33	0.14	4.83	17612	126.10	2147.80	-3799	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Anterior    Próximo    Atualizar    Cancelar    Retornar

## Programação

A tela de programação, tem a finalidade de permitir uma programação manual caso seja necessário. Isso normalmente ocorre, na primeira viagem, quando o programador decide enviar com maior ou menor antecedência do que o sistema previa, ou ainda, após os 48 dias, quando o técnico solicita envios de acordo com o seu plano de abate.

É nesta tela que se solicita a programação futura dos envios. Como o horizonte é rolante, sempre a programação futura é atualizada. Por isso, a programação é ativada pelo botão de “Reprogramação”.

As cargas já despachadas são marcadas como atendidas.

Grana	Fase	Quantidade (kg)	Atendida	Fixa
J254	F40B	16000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I23	F40B	9600	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
G99	F40B	6000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I134	F40B	7200	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
G73	F40	6000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
G47	F4	8000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
P2-2	F4	13100	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
J44	F4	16000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E77	F4	15000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## Balança

### RECEPÇÃO E DESPACHO

Na balança há um microcomputador de onde um operador registra os valores reais enviados para efeito de registro no sistema.

Controle de Recepção e Despacho de Veículos

### Central de Recepção e Despacho

Recepção | Despacho

Placa:  Motorista:

**Próxima Viagem**

Preferência pela fase:

Código	Granja	Ração	Quantidade	Data
G86	EGIDIO MINATEL	F30B	14400	27/02/1999

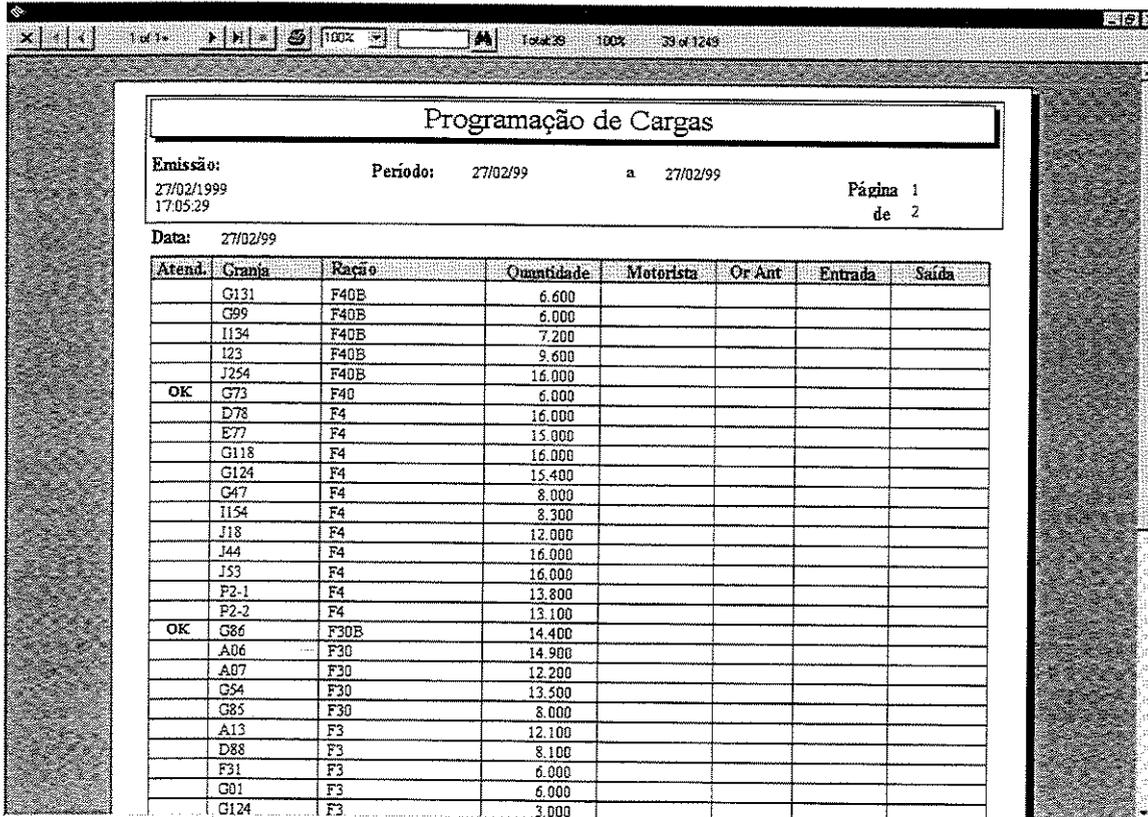
Estoque    ✓ Aceitar    ✗ Cancelar    Retornar

## Relatórios de Programação

O sistema tem vários relatórios de consulta, porém os relatórios que são utilizados para a programação são os seguintes :

### PROGRAMAÇÃO DE ENVIOS

Este relatório fica na balança para que o operador tenha uma visão do seu dia de trabalho, e também possa dar continuidade ao trabalho numa eventual falta de seu computador.



Programação de Cargas

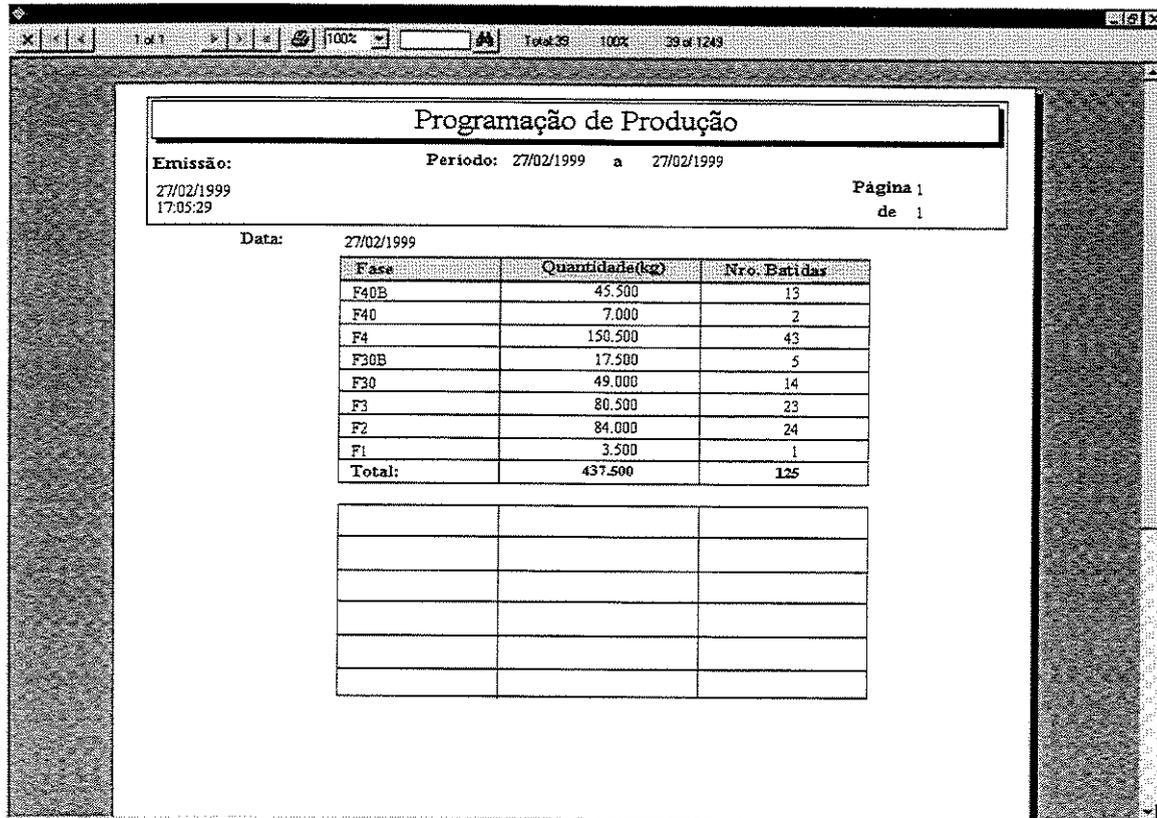
Emissão: 27/02/1999 17:05:29 Período: 27/02/99 a 27/02/99 Página 1 de 2

Data: 27/02/99

Atend.	Granja	Raço	Quantidade	Motorista	Or Ant	Entrada	Saída
	G131	F40B	6.600				
	G99	F40B	6.000				
	I134	F40B	7.200				
	I23	F40B	9.600				
	J254	F40B	16.000				
OK	G73	F40	6.000				
	D78	F4	16.000				
	E77	F4	15.000				
	G118	F4	16.000				
	G124	F4	15.400				
	G47	F4	8.000				
	I154	F4	8.300				
	J18	F4	12.000				
	J44	F4	16.000				
	J53	F4	16.000				
	P2-1	F4	13.800				
	P2-2	F4	13.100				
OK	G86	F30B	14.400				
	A06	F30	14.900				
	A07	F30	12.200				
	G54	F30	13.500				
	G85	F30	8.000				
	A13	F3	12.100				
	D88	F3	8.100				
	F31	F3	6.000				
	G01	F3	6.000				
	G124	F3	3.000				

## PROGRAMAÇÃO DE FÁBRICA

A programação de produção é enviada à fábrica na noite do dia anterior para que seja iniciada a produção na seqüência e quantidades necessárias para os envios programados. Há um espaço abaixo, para eventuais programações especiais.



The screenshot shows a software window titled "Programação de Produção". At the top, it displays "Emissão: 27/02/1999 17:05:29" and "Período: 27/02/1999 a 27/02/1999". The page is identified as "Página 1 de 1". Below this, the date "Data: 27/02/1999" is shown. The main data is presented in a table with three columns: "Fase", "Quantidade(kg)", and "Nro. Batidas". The table lists various production phases with their respective quantities and beat counts. A total row is provided at the bottom of the table. Below the table, there is an empty grid for additional entries.

Fase	Quantidade(kg)	Nro. Batidas
F40B	45.500	13
F40	7.000	2
F4	150.500	43
F30B	17.500	5
F30	49.000	14
F3	80.500	23
F2	84.000	24
F1	3.500	1
<b>Total:</b>	<b>437.500</b>	<b>125</b>


## Conclusões

O problema de inventário e roteamento de veículos estudado é considerado complexo devido às várias restrições operacionais envolvidas. A abordagem que foi feita e os algoritmos desenvolvidos responderam bem às necessidades da empresa onde foi levantado o estudo de caso apresentado neste trabalho.

Os benefícios trazidos pelo sistema implementado podem ser analisados de diversos pontos de vista, por exemplo:

- operacional: a automatização do planejamento teve impacto no tempo de trabalho da programação que caiu de 8 horas para fazer toda a programação para cerca de 2 horas. Além disso, a velocidade com que o programador consegue atender o seu público (granjeiros e técnicos) com informações sobre a programação é fantástica, uma vez que há um horizonte de programação bem definido e acessível ao usuário do sistema. Na balança rodoviária, de onde os veículos são despachados, a empresa tem a possibilidade de praticar uma política única e transparente com todos os fretistas, sem o favorecimento de alguns motoristas com viagens mais lucrativas.
- logístico : a garantia de inventário nas granjas é o principal ganho da programação. O planejamento para qualquer tamanho de horizonte também é uma ferramenta para previsão de eventuais déficits futuros nas granjas. Isso permite a tomada de decisões antecipadas.

O sistema tem como premissa o fato de que as viagens acontecem subdivididas, logo, cresceu o número de vezes nas quais o caminhão tem que passar em duas ou três granjas para completar sua carga. O crescimento em relação ao sistema manual é de aproximadamente 20%.

Conseqüentemente a soma das distâncias rodadas pelos veículos sofreram um aumento de cerca de 10% em relação a situação anterior. Este é um ponto onde o algoritmo poderia ser aperfeiçoado, pois, do ponto de vista gerencial, esta situação é mais difícil de ser administrada com os fretistas. Talvez este seja o custo das melhorias apresentadas em outros pontos ao longo deste trabalho.

- nutricional : indiretamente a programação consegue uma alimentação mais precisa e controlada dos lotes. Este fator por si só, já justifica o uso do sistema para o planejamento da distribuição de rações. Os ganhos aparecem na qualidade da ave que se obtém em cada lote, na taxa de conversão, uma vez que as seqüências/trocas são melhor respeitadas e, ainda, na economia de ração, evitando-se os desperdícios com envios de quantidades desnecessárias. Para se ter idéia do impacto desta melhoria podemos observar que, na solução manual o erro médio em relação a tabela de fases era de aproximadamente 0 para primeira fase, 10% para a segunda fase e 15% para as seguintes e passou para 0 na primeira fase, 3% na segunda fase e 5 % nas fases seguintes. Este erro poderia ainda ser menor caso as faixas fossem estreitadas pelo usuário, mas conseqüentemente haveria um prejuízo do preenchimento do caminhão.
- produtivo : a fábrica estando mais sincronizada com o despacho de veículos também tem sua produtividade aumentada, pois são evitados as trocas entre fases que consomem muito tempo de *set up*.

A cadeia produtiva de frangos é bastante complexa e o problema de distribuição de ração é uma parte do processo. Estudos futuros poderiam sincronizar e otimizar outros pontos da cadeia, tais como, o planejamento de alojamento e o planejamento de abate das aves. Além disso, na fábrica de ração existem problemas de sequenciamento muito interessantes que poderiam ser estudados juntamente com o gerenciamento otimizado de seu estoque.

## Bibliografia

- [1] Barnersschuster D., Bassok Y., "Direct shipping and the dynamic single-depot/multi-retailer inventory system", *European Journal of Operational Research* 101-3 (1997) 509-518
- [2] Beltrami E., and Bodin, L., "Networks and vehicle routing for municipal waste collection", *Networks* 14 (1984) 237-256
- [3] Burns L. D., Hall R. W., Blumenfeld D.E., "Distribution strategies that minimize transportation and inventory costs", *Operations Research* 33-3 (1985) 469-490
- [4] Clark A. R., Campos D.S., "Do the right thing: when clients aren't clear about what they want", *OR Insight* 11-2 (1998) 24-27
- [5] Dror M., Ball M. "Inventory/routing: reduction from an annual to a short-period problem" , *Naval Research Logistics* 34 (1987) 891-905
- [6] Federgruen A., Zipkin P., "A combined vehicle routing and inventory allocation problem", *Operations Research* 32-5 (1984) 1019-1037
- [7] Fumero F., Vercellis C., "Synchronized development of production, inventory and distribution schedules", *Transportation Science* 33-3 (1999) 330-340
- [8] Herer, Y.T., Levy, R. "The metered inventory routing problem, an integrative heuristic algorithm", *International Journal of Production Economics* 51 (1-2) (1997) 69-81
- [9] Hwang H.S., "A food distribution model for famine relief", *Computers & Industrial Engineering* 37 (1-2) (1999)335-338
- [10] Larson, R.C., "Transporting sludge to the 106-mile site: An inventory/ routing problem model for fleet sizing and logistic system design", *Transportation Science* 22 (1988) 186-198
- [11] Qu W.W., Bookbinder J.H., Iyogun P., "An integrated inventory-transportation system with modified periodic policy for multiple products", *European Journal of Operational Research* 115 (2) (1999) 254-269
- [12] Russel R., Igo W., "An assignment routing problem", *Networks* 9 (1979) 1-17

- [13] Silveira P.D.B. "Algoritmos para resolução do problema de estoque e roteamento de veículos", *Tese de Mestrado – FEEC – Unicamp* (1992)
- [14] Viswanathan S., Mathur K., "Integrating routing and inventory decisions in one-warehouse multi-retailer multi-product distribution system", *Management Science* 43 –3 (1997) 294-312
- [15] Webb I.R., Larson R.C., "Period and phase of customer replenishment: A new approach to the strategic inventory / routing problem", *European Journal of Operational Research* 85 (1995) 132-148

