

# ANÁLISE DE SENSIBILIDADE ATRAVÉS DE PÓS-OTIMIZAÇÃO PARA MICROCOMPUTADOR: APLICAÇÃO NA MISTURA DE RAÇÃO<sup>1</sup>

JOGI TAKECHI<sup>2</sup> e YOSHIHIKO SUGAI<sup>3</sup>

**RESUMO** - A estabilidade da solução ótima dos problemas de programação linear, para alterações de parâmetros pode ser crítica. A modificação no coeficiente da função-objetivo, ou seja, no preço ou custo pode ou não alterar a solução ótima. Uma modificação no nível de recurso disponível ou exigido altera a solução ótima. A análise de sensibilidade determina a faixa de preço ou o custo em que não ocorre alteração da solução e a faixa de recurso disponível ou exigido em que é conhecida a alteração que ocorre na solução otimizada, além de identificar as mudanças que ocorrem na base da solução, quando um parâmetro está fora da faixa determinada. O objetivo deste trabalho foi de implementar a análise de sensibilidade em microcomputador para possibilitar a resposta às seguintes questões: a) qual a amplitude nos preços ou custos em que a solução ótima continua estável?; b) qual a amplitude do nível de recursos ou restrições em que as modificações no valor da função-objetivo é conhecida?; e c) fora destas amplitudes, quais alterações ocorrem na base da solução?. O trabalho consta de uma parte com exposições teóricas da otimização e da análise de sensibilidade, um exemplo de aplicação e uma interpretação da análise de sensibilidade feita num problema de mistura de ração para gado de corte. Os problemas de alteração nos preços ou custos e de recursos foram resolvidos determinando-se faixas ou amplitudes destes parâmetros. A análise de sensibilidade permite conhecer as alterações de parâmetros que são críticas na solução otimizada, isto é, para um certo parâmetro a modificação do nível atual em uma direção pode alterar profundamente uma solução enquanto a modificação em outra direção causa apenas uma pequena modificação.

Termos para indexação: programação linear, análise de sensibilidade, custo de oportunidade, mistura de ração, função objetivo, solução ótima, pós-otimização, microcomputador.

## SENSIBILITY ANALYSIS BY THE POS-OPTIMIZATION APPLIED TO MICROCOMPUTER LEAST-COST RATION FORMULATION USING

**ABSTRACT** - The stability of the optimum solution of the linear programming for the parameter changes may be critical. The prices or cost variations, i.e., objective function coefficients, may or may not change optimal solution, while one modification at the resource disponibility does change the optimal solution. The sensibility analysis determines range of price or cost in which change of solution does not occur. It also determines the range of resource disponibility which is known to change the optimized solution. In addition it identifies the modifications occurring in the basic solution, when the parameter stays outside the determined range. The objective of the paper is to develop the sensibility analysis algorithm for in the microcomputer in order to answer the following questions: a) what is the range of the prices or costs that maintains optimal solution stable?; b) what is the range of the level of

<sup>1</sup> Recebido em 20 de agosto de 1986.  
Aceito para publicação em 18 de fevereiro de 1987.

<sup>2</sup> BS, Ciências de Computação, Analista de Sistemas do Departamento de Estudos e Pesquisas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (DEP/EMBRAPA) - Caixa Postal 040315 - CEP 70312 - Brasília, DF.

<sup>3</sup> Ph.D. Ciências Econômicas, Pesquisador (DEP/EMBRAPA) - Caixa Postal 040315 - CEP 70312 - Brasília, DF.

resources or technological restrictions under which the modifications in the value of the objective function are known?; c) outside of these ranges, what changes occur in the basic solution?. This work presents the theoretical expositions of the optimization, sensibility analysis, together with an example of application, economic interpretation of the sensitivity analysis applied for the least-cost ration formulation problem for the cattle feed. The sensitivity analysis permits to estimate the changes of parameters witch are critical for the optimal solution, i.e., for the certain parameter, the modification of the present level in one direction may change fundamentally the solution while the change in another parameter, causes only a small variation.

Index terms: linear programing, sensitivity analysis, opportunity cost, ration mix, objective function, optimum solution, post optimization, microcomputer.

### INTRODUÇÃO

Os algoritmos de programação linear permitem encontrar um nível ótimo de atividades sujeito às restrições tecnológicas considerando os coeficientes da função-objetivo.

Como ocorrem variações de custo ou preço de produtos e uma limitação no uso de certos recursos, o resultado da otimização deve ser avaliado dentro deste contexto. A análise de sensibilidade determina as faixas de variações dos custos/preços de produtos e níveis de recursos, dentro da qual a alteração na solução otimizada pode ser prevista, sem a necessidade de recalculer o problema para uma nova otimização.

O resultado da análise de sensibilidade é conseguido rapidamente se for comparado aos cálculos da otimização.

### DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A estabilidade da solução ótima sobre as mudanças de parâmetros podem ser críticas. Por exemplo, a variação numa direção, aumento ou diminuição da quantidade de um parâmetro pode causar uma profunda modificação na solução ótima, enquanto a variação em outra direção causa apenas uma pequena modificação (Chung, 1963).

As constantes variações nos preços dos produtos fazem com que seja necessário a determinação de uma faixa ou amplitude dentro da qual a solução ótima é válida, isto é, quais modificações podem ocorrer nos coeficientes da função-objetivo sem alteração na solução otimizada.

Certos recursos são limitantes na solução, então uma variação na disponibilidade destes recursos, contribui para a alteração da solução, sendo que até uma certa amplitude ou faixa, estas alterações podem ser determinadas (Dantzing, 1963).

### OBJETIVO

Este trabalho objetiva desenvolver um algoritmo de análise de sensibilidade adaptada à computação eletrônica, a fim de responder as seguintes questões:

- qual a amplitude de variação dos custos ou preços dos produtos na qual não se altera a solução ótima?
- passando o limite de amplitude, qual atividade entra na solução?
- qual a amplitude de variação dos níveis de restrição na qual o custo de oportunidade é conhecido?
- passando o limite de amplitude, qual atividade entra na solução?
- quais variações no custo ou preço são mais críticas para a solução?
- quais variações na restrição são mais críticas para a solução?

### METODOLOGIA

A análise de sensibilidade refere-se aos efeitos que ocorrem na solução do problema de programação linear com as mudanças de custo (preço) de produtos e nos valores das restrições (Beneke, 1973).

Na análise de sensibilidade são determinadas as faixas de utilização de produtos, dos recursos e faixas de custo dos produtos, dentro da qual o custo de oportunidade está definido e então o valor da solução ótima pode ser encontrada (Hadley, 1962).

Os cálculos da análise de sensibilidade são feitas sobre o resultado otimizado do problema. Está descrito aqui o método para a determinação destas faixas e um exemplo da aplicação do método.

#### Método de determinação de faixas

Seja o problema de programação linear dado como:

$$\text{Minimizar } Z = CX$$

$$\text{Sujeito a: } AX \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} b$$

onde:

$A = (a_{ij})$ ,  $b = (b_i)$ ,  $C = (c_j)$ ,  $X = (x_j)$ , são matrizes e vetores

$Z =$  Valor da Função Objetivo

sendo:

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

$$j = 1, 2, \dots, n$$

O resultado do problema é dado como se segue:

a. colocando o problema na forma de tabela

A	b
$C_A$	0

onde:

$C_A$  são os coeficientes da função-objetivo ( $C_j$ )

b. separando-se as variáveis básicas das variáveis não-básicas

B	N	b
$C_B$	$C_N$	0

onde:

B é a base inicial

N são os coeficientes das variáveis não-básicas

$C_B$  coeficientes da função objetivo para as variáveis básicas

$C_N$  coeficientes da função objetivo para as variáveis não-básicas

c. multiplicando-se a 1ª linha pela inversa da base  $B^{-1}$

$B^{-1}B$	$B^{-1}N$	$B^{-1}b$
$C_B$	$C_N$	0

d. fazendo  $B^{-1}B=I$  e multiplicando a 1ª linha por  $C_B$  e subtraindo da 2ª linha

I	$B^{-1}N$	$B^{-1}b$
0	$C_N - C_B B^{-1}N$	$-C_B B^{-1}b$

e. a solução otimizada será

$$\min Z = C_B B^{-1}b + (C_N - C_B B^{-1}N) X_N$$

sujeito a:

$$X_B + B^{-1}N X_N = B^{-1}b$$

$$X_B \geq 0 \text{ e } X_N \geq 0$$

onde:

$X_B$  = variáveis básicas

$X_N$  = variáveis não-básicas

### Determinação das faixas de preço/custo (C)

#### Para as variáveis não-básicas (VNB)

A variável  $X_K$  corresponde ao custo unitário  $C_K$  como variável não-básica, então para a variação em  $C_K$ , ou seja,  $C_K + \Delta$  para que a variável  $X_K$  seja básica, implica em  $\Delta > \bar{C}_K$ , onde  $\bar{C}_K$  é o custo de oportunidade para  $X_K$ . Então o limite mínimo é dado por  $C_K + \bar{C}_K$  e evidentemente não existe limite máximo (Maculan & Pereira, 1980).

#### Para as variáveis básicas (VB)

A variável  $X_K$  é básica, então a faixa de custo para  $X_K$  é:

a. para limite mínimo

$$\text{Se } Y_{Kj} < 0 \text{ então } C_K - \max \left( \frac{\bar{C}_j}{(-Y_{Kj})} \right)$$

onde:

$$j = 1, \dots, n$$

b. para limite máximo

$$\text{Se } Y_{Kj} > 0 \text{ então } C_K + \min \left( \frac{\bar{C}_j}{Y_{Kj}} \right), \text{ onde}$$

Os  $Y_{Kj}$  são os coeficientes da coluna  $j$  onde estão as variáveis não básicas e a linha  $K$  onde entrou a variável básica  $X_K$ .

## Determinação das faixas de recursos (b)

### Para as variáveis não-básicas

A variável  $X_K$  é não-básica, então os limites são:

- a. limite mínimo, se  $B_{ik} > 0$

$$\text{então } b_k^- = \min \left( \frac{\bar{b}_i}{B_{ik}} \right), \text{ onde } i=1, \dots, m$$

- b. limite máximo, se  $B_{ik} < 0$

$$\text{então } b_k^+ = \max \left( \frac{\bar{b}_i}{(-B_{ik})} \right), \text{ onde } i=1, \dots, m$$

$B_{ik}$  são coeficientes da variável não básica  $X_K$  em  $B^{-1}$ ,  $\bar{b}_i = B^{-1}b$  e  $b_k$  é o valor da restrição da variável não-básica.

### Para as variáveis básicas

A variável  $X_K$  é uma variável básica, os limites são calculados verificando-se os custos unitários após a otimização. Este procedimento indicará qual variável não-básica poderá entrar na base em substituição a  $X_K$  (Kim, 1971; Bregalda, 1981).

- a. para o limite mínimo, a variável escolhida é:

$$\max_{Y_{kj} > 0} \frac{\bar{c}_j}{(-Y_{kj})}, \text{ onde } j \text{ é o índice da variável escolhida.}$$

As variáveis  $Y_{kj}$  são os coeficientes da coluna  $j$  onde estão as variáveis não-básicas e a linha  $k$  onde entrou a variável básica  $X_K$ . A partir disto é montado uma matriz que contém os coeficientes da coluna  $j$  e do  $\bar{b}_i = B^{-1}b$ , fazendo o pivoteamento, encontramos o limite procurado.

O pivoteamento é o método de Gauss - Jordan para a inversão de matriz, o mecanismo é o seguinte, primeiro acha-se o pivô se  $Y_{ij} > 0$  então  $\min \frac{\bar{b}_i}{Y_{ij}}$

onde  $i=1, \dots, m$  e  $j=1, \dots, n$ , depois, com base no pivô é feito o seguinte:

	$j$	$k$
$i$	$a_{ij}$	$a_{ik}$
$\ell$	$a_{\ell j}$	$a_{\ell k}$

onde  $a_{ij}$  é o pivô, então  $a_{\ell k} = a_{\ell j} \times \frac{a_{ik}}{a_{ij}}$ , com  $\ell$  e  $k$  todos os índices possíveis.

## ESTRUTURA DO PROGRAMA

### Descrição do programa

Este algoritmo foi feito para a análise de sensibilidade, com o pressuposto que a otimização já foi previamente executada, a análise de sensibilidade trabalha com os dados dos coeficientes da função-objetivo e dos valores das restrições antes da otimização; e os coeficientes tecnológicos, coeficientes da função objetivo e valores das restrições após a otimização (Sugai & Takechi, 1985; Takechi & Sugai, 1985).

### Subrotina LEITURA

Utiliza como entrada os arquivos nome.OTM e nome.NOM, onde estão o número de linhas, colunas, variáveis de folga; coeficientes de função objetivo e de restrições antes e depois da otimização; variáveis que estão na base e tipo de restrição para cada linha; coeficientes tecnológicos após a otimização; nome das linhas e colunas; que entram no programa.

### Subrotina RESTVB

São calculados para cada variável básica, o custo de oportunidade (CSTMN, CSTMX), faixa de custo (CUSTMN, CUSTMX), faixa de utilização (ATIVMN, ATIVMX) e a identificação das variáveis limitantes.

### Subrotina SENSIBIL1

Impressão dos resultados da análise de cada atividade.

**Subrotina RESTVNB**

São calculados para cada variável não básica, o custo de oportunidade, faixa de custo, faixa de utilização e a identificação das variáveis limitantes.

**Subrotina SENSIBIL2**

Impressão da análise de cada restrição.

**Subrotina COEFIC**

Esta subrotina recupera os valores dos coeficientes tecnológicos, após a otimização utilizando dois parâmetros, que são, a linha e a coluna da matriz.

**Subrotina INVERTE**

Faz inversão da matriz composta de duas colunas. Na primeira coluna estão os valores dos coeficientes tecnológicos após a otimização, referente a coluna onde está a variável limitante e na segunda coluna estão os valores da restrição, após a otimização.

**Subrotina NOMEA**

Encontra o nome de cada variável.

**Subrotina CHARACTER**

Transforma os valores numéricos em formato carácter.

**APLICAÇÃO PARA A MISTURA DE RAÇÃO DE GADO DE CORTE****Resumo do problema**

A preocupação principal para o desenvolvimento do Sistema de Mistura de Ração para Gado de Corte foi tornar acessível ao usuário, principalmente às pessoas não especializadas em modelagem de problemas de programação linear e na utilização de micro-computador, especialmente ao criador de bovinos de engorda, um sistema de decisão, rápido e eficiente.

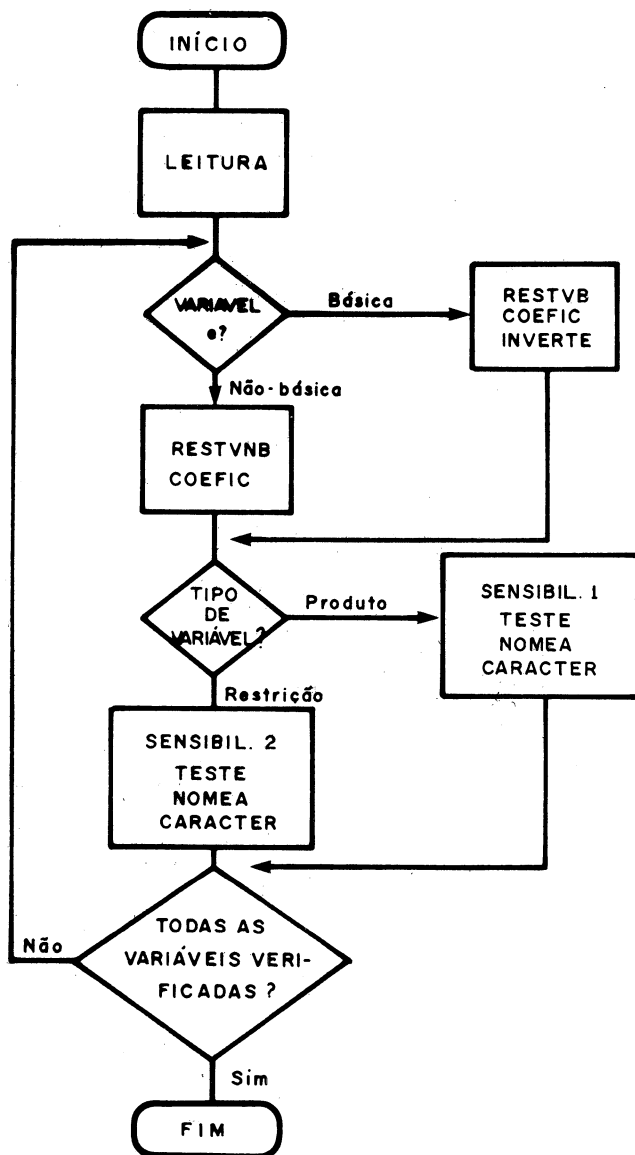
Com este sistema, o criador de bovino terá condições de saber quais produtos e em que quantidade comprar, o custo de oportunidade e o custo total da mistura. Além disto poderá prever, para uma eventual mudança de preços, se a compra deste produto ainda é vantajosa ou se há necessidade de trocar este produto por outro.



## Subrotina TESTE

Utiliza para testes de validade dos valores numéricos.

### Fluxo de execução



A formulação do problema de mistura de ração do exemplo apresentado a seguir na análise de sensibilidade é a seguinte: (Vide anexo).

a. Produtos disponíveis para a mistura de ração	Cz\$
1. Torta de algodão	140,00
2. Torta de girassol	135,00
3. Uréia	110,00
4. Milho moído	135,00
5. Espiga de milho	150,00
6. Melaço	210,00
7. Cana-de-açúcar	1,00
8. Cana-de-açúcar (pontas)	1,00
9. Feno de campim jaraguá	1,00
10. Feno de braquiária	1,00
11. Sal comum	450,00
12. Sais minerais-baixo	530,00

b. Exigências nutricionais em quilogramas (kg)
1. Matéria seca de 6.10 a 6.70
2. Proteína bruta a 0.73
3. Nutrientes digestivos totais a 4.44
4. Fibra longa, no mínimo de 1.22
5. Uréia, maior que zero
6. Cálcio, pelo menos 0.028
7. Fósforo, pelo menos 0.021
8. Sal comum, pelo menos 0.022

Os coeficientes tecnológicos já estão embutidos no sistema de mistura de ração (vide bibliografia: (Ruiz, 1984).

Para auxiliar a compreensão da análise de sensibilidade, anexa-se a entrada de dados e o resultado da programação linear. (Vide anexo) (Takechi & Sugai, 1985).

### Interpretação dos resultados

Vejamos a interpretação do resultado da análise de sensibilidade de um exemplo da formulação de ração dado no item anterior.

O relatório está dividido em 4 partes: utilização de produtos até o nível intermediário, são os produtos que são utilizados na ração; nutrientes até o nível intermediário, são os nutrientes que estão em algum limite intermediário; utilização de produtos até o nível limitante, são os produtos disponíveis mas não utilizados na mistura; utilização de nutrientes até o nível limitante, são os nutrientes que estão sendo utilizados até o limite possível.

### Utilização de produtos até o nível intermediário

Na coluna (1) são mostrados os produtos utilizados na mistura; na (2) os níveis atuais, mínimo e máximo; na coluna (3), a primeira linha apresenta o custo unitário e as outras duas linhas o custo de oportunidade para o limite mínimo e máximo; na coluna (4) a faixa de custo ou preço e na (5) o fator que limita ou substitui determinado produto.

Por exemplo, a quantidade atual de torta de algodão utilizada é 1.43 kg para cada acréscimo unitário deste produto, ocorre o acréscimo de Cr\$ 46,06 (custo de oportunidade) no custo da ração e para cada diminuição unitária, ocorre um acréscimo de Cr\$ 117,28 no custo da ração. Estes custos de oportunidade somente valem para a faixa de quantidade (níveis) de zero a Cr\$ 1,62, fora desta faixa não sabemos quais alterações que ocorrem na solução. O custo atual da torta de algodão é de Cr\$ 140,00 e se o custo variar entre Cr\$ 22,71 a Cr\$ 186,06, não ocorre alteração na solução da mistura de ração. Fora desta faixa de custo; para o limite mínimo, a uréia limita a maior utilização da torta de algodão; para o limite máximo, a torta de algodão é substituída na mistura pela torta de girassol<sup>4</sup>.

Além disso podemos notar que como esta solução é ótima, então qualquer tentativa de alterar os níveis atuais sempre implica em custos crescentes para a mistura. E no caso de sais minerais-baixo com nível atual de 0.19 kg, se forçarmos o decréscimo na utilização, implica em um custo de oportunidade infinitamente grande, o que é crítico para a mistura, enquanto o seu acréscimo unitário eleva o custo em Cr\$ 4.719,83.

### Utilização de nutrientes até o nível intermediário

Na coluna (1) estão os nomes dos nutrientes, na (2) os níveis atuais, mínimo e máximo, na (3) o custo de oportunidade, e na (4) o fator que limita ou substitui.

Por exemplo, o nível atual de fósforo é de 0.028 kg e a níveis de 0.025 a 0.029 conhecemos o seu custo de oportunidade, para o decréscimo unitário, há um acréscimo de Cr\$ 3.020,95 no custo da ração e para o acréscimo unitário, há um acréscimo de Cr\$ 3.856,97 no custo total fora dos níveis indicados de fósforo, abaixo do limite mínimo o feno de braquiária entra na mistura e acima do limite máximo o melaço entra na mistura.

No caso da fibra longa na faixa de zero kg a 5.33 kg, o custo de oportunidade é crítico para um decréscimo nos níveis atuais, enquanto para o acréscimo, o custo de oportunidade é de Cr\$ 48,61. Fora da faixa indicada ocorre o seguinte: aos níveis abaixo do limite mínimo, nenhuma restrição limita a sua utilização e também não ocorre nenhuma mudança de produtos na ração e aos níveis acima do limite máximo a matéria será máxima passa a ser limitante.

<sup>4</sup> Preços de março de 1985.

Como podemos notar, o processo limitante pode ser um nutriente ou um produto, no caso de nutriente, o nutriente indicado limita a utilização e no caso de um produto, este produto passa a fazer parte da mistura.

### Utilização de produtos até o nível limitante

Na coluna (1) estão os nomes dos produtos que não são utilizados na mistura, na (2) estão as faixas de quantidade em que são conhecidos os custos de oportunidade, na (3) e na (4) estão as faixas de preços e na (5) os processos limitantes.

A torta de girassol não está sendo utilizada na mistura, neste caso somente interessa o custo de oportunidade para o acréscimo na mistura, que é de Cr\$ 33,02, e podemos adicionar até o nível de 1.99 kg, quando o fósforo passa a ser limitante, a faixa de preço onde a solução é estável é de Cr\$ 101,97 a infinito, se o preço baixar mais de Cr\$ 101,97 a torta de girassol substitui a torta de algodão na mistura.

Neste caso também devemos distinguir no processo limitante, o nutriente do produto: no caso de ser nutriente está indicando que ela passa a ser limitante para o limite máximo de utilização e no caso de ser um produto, este produto será substituído da mistura.

### Utilização de nutrientes até o nível limitante

Na coluna (1) estão os nutrientes que se encontram em níveis limitantes, na coluna (2) os níveis atuais e as faixas onde o custo de oportunidade, na (3) é conhecido e na (4) o processo limitante.

Neste caso, qualquer relaxamento nos níveis atuais, ocasiona um custo de oportunidade negativo e reduz o custo da ração e por outro lado, um maior aperto nos níveis atuais, aumenta o custo da ração. Este relaxamento deve levar em conta o tipo de restrição, se é de mínimo, máximo ou igualdade.

Para a proteína bruta e restrição é de igualdade, então se baixar o nível atual, reduz o custo de ração com custos de oportunidade Cr\$ -392,86 e não existe nenhum nutriente limitante e nenhuma substituição de produtos na ração, o aumento dos níveis atuais ocasiona um custo de oportunidade de Cr\$ 392,86 e nenhum nutriente limita e nenhuma substituição de produtos ocorre.

A matéria seca máxima tem restrição de limite máximo, então um relaxamento maior do nível atual ocasiona um custo de oportunidade de Cr\$ -71,84, enquanto um aperto no nível atual, ocorre acréscimo unitário de Cr\$ 71,84. No caso de aumentar a folga a cana-de-açúcar entra na mistura e para diminuição da folga a cana-de-açúcar (pontas) entra na mistura.

O cálcio tem restrição de limite mínimo, se diminuir o limite mínimo até o nível de 0.019 kg, então ocasiona o custo de oportunidade de Cr\$ -7571,43 e não existe nutriente que limita e não ocorre substituição de produtos na mistura, para o limite máximo, o acréscimo unitário ocasiona o aumento no custo de Cr\$ 7.571,43 e o fósforo passa a ser limitante.

## CONCLUSÕES

Com a análise de sensibilidade foi possível verificar quais modificações de parâmetros são críticas na estabilidade da solução.

Percebe-se que certas flutuações nos preços dos produtos não são relevantes na solução do problema de programação linear e quando estas flutuações ultrapassarem os limites estabelecidos, quais são as alterações que ocorrem na base da solução.

As necessidades de nutrientes podem ser modificadas, e estas modificações podem ou não serem críticas de acordo com o custo de oportunidade, i.e., com o conhecimento do custo de oportunidade, sabemos qual o custo que acarreta na ração com as modificações nos níveis dos nutrientes. Em alguns casos podemos até diminuir o custo da ração.


Facilitou-se a análise econômica da mistura de ração para gado de corte através do desenvolvimento do algoritmo da análise de sensibilidade no microcomputador.

## REFERÊNCIAS

- Beneke, R.R. & WINTER, B.R. **Linear programming applications to agriculture**. Ames, Iowa, The Iowa State University Press, 1973.
- BREGALDA, P.F. et alii. **Introdução à programação linear**. Rio de Janeiro, Campus, 1981.
- CHUMG, A. **Linear programming**. Columbus, Ohio, Charles E. Merrill Books, 1963.
- DANTZIG, G.B. **Linear programming and extensions**. Princeton, New Jersey, Princeton University Press, 1963.
- HADLEY, G. **Linear programming**. New York, Addison-Wesley, 1962.
- HEADY & CANDLER. **Linear programming methods**. Ames, Iowa, The Iowa State University Press, 1963.
- KIM, C. **Introduction to linear programming**. Holt, Rinehart and Winston, 1971.
- MACULAN, N. & PEREIRA, M.V.G. **Programação linear**. São Paulo, Atlas, 1980.
- TAKECHI, J. & SUGAI, Y. **Manual do sistema de mistura de ração para gado de corte**. Brasília, DF, EMBRAPA/DEP, 1985. Mimeo.
- SUGAI, Y. & TAKECHI, J. **Manual do usuário de mistura de ração para gado de corte**. Brasília, DF, EMBRAPA/DEP, 1985. Mimeo.
- TAKECHI, J. & SUGAI, Y. **Mistura de ração para gado de corte**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA RURAL, 23, São Paulo, 5-9 de agosto, 1985. **Anais: Grupos Especiais**. Brasília, SOBER, 1985. p. 31.
- RUIZ, M.H. **Alimentação de bovinos na estação seca: princípios e procedimentos**. Campo Grande, MS, CNPGC/EMBRAPA, 1984.

## ANEXOS

## Formulário de entrada de dados

	<b>EMBRAPA DEP</b>	<b>SISTEMA DE MISTURA DE RAÇÃO PARA GADO DE CORTE</b>	PDL Nº
			01

## 1 - IDENTIFICAÇÃO DO USUÁRIO

NOME DO USUÁRIO J O A O D A S I L V A		
NOME DA PASTEIRA B O I G O R D O		
ESTADO D F	MUNICÍPIO B R A S I L I A	
CEP 7 0 0 0 0	FONE 2 2 5 5 3 8 7	DATA 1 5 1 0 3 1 8 5

## 2 - UNIDADES UTILIZADAS

21 - UNIDADE DE MEDIDA DOS PRODUTOS É O QUILOGRAMA (Kg)

22 - UNIDADE MONETÁRIA DE COMPRA DOS PRODUTOS C R I S

## 3 - DISCRIMINAR O GADO DE CORTE, ESCOLHA UMA DAS OPÇÕES AOS SEGUINTE TIPO

## 31 - RAÇA

- 1 - ZEBU OU NELORE PURO
- 2 - ZEBU OU NELORE CRUZADO COM EUROPEU
- 3 - EUROPEU PURO
- 4 - HOLSTEIN

A OPÇÃO ESCOLHIDA É 1

## 32 - SEXO

- 1 - MACHO INTEIRO
- 2 - MACHO CASTRADO SEM IMPLANTE
- 3 - MACHO CASTRADO COM IMPLANTE
- 4 - FÊMEA

A OPÇÃO ESCOLHIDA É 2

## 4 - INFORMAÇÕES SOBRE O CONFINAMENTO

- 1 - PESO MÉDIO ATUAL DO GADO DE CORTE 2 1 0 (MÍNIMO = 200 Kg)
- 2 - PESO MÉDIO ESPERADO APÓS O CONFINAMENTO 3 2 0 (MÁXIMO = 450 Kg)
- 3 - QUANTOS DIAS SERÃO MANTIDOS EM CONFINAMENTO 1 4 0
- 4 - NÚMERO DE CABEÇAS DE GADO 1 0 0

## 5 - CONDIÇÃO FÍSICA DOS ANIMAIS AO INÍCIO DA ENGORDA

- 1 - NORMAL (NEM GORDO E NEM MAGRO)
- 2 - MAGRO (ANIMAL ANGULAR E OSSOS CLARAMENTE VISÍVEIS)
- 3 - GORDO (SEM ALCANCE DO PESO DE ABATE)

A OPÇÃO ESCOLHIDA É 2

## 6 - AMBIENTE NO CURRAL DE ENGORDA

- 1 - PISO SECO, VENTOS E TEMPERATURA MODERADOS, COM SOMBRA
- 2 - PISO SECO A MAIOR PARTE DO PERÍODO, SEM SOMBRA
- 3 - PISO COM LAMA, MAL DRENADO OU CONFINAMENTO NA ÉPOCA DE CHUVA OU DE FRIO

A OPÇÃO ESCOLHIDA É 3

	<b>EMPRESA</b> <b>DEP</b>	<b>SISTEMA DE MISTURA DE RAÇÃO</b> <b>PARA GADO DE CORTE</b>	Nº. 02
			02

7- COLOCAR O PREÇO UNITÁRIO DOS PRODUTOS QUE SERÃO UTILIZADOS NA MISTURA

	NOME DO PRODUTO	PREÇO/KILOGRAMA DO PRODUTO
01	TORTA DE ALGODÃO	1.40
02	TORTA DE AMENDOIM	
03	TORTA DE GIRASSOL	1.35
04	TORTA DE SOJA	
05	FARELO DE TRIGO	
06	FARINHA DE PEIXE	
07	FARINHA DE CARNE	
08	URÉIA	1.10
09	CAMA DE AVES	
10	MILHO MOÍDO (GRÃO)	3.35
11	ESPIGA DE MILHO DESINTEGRADO	1.50
12	SORGO MOÍDO (GRÃO)	
13	PANÍCULA DE SORGO DESINTEGRADO	
14	MANDIOCA FRESCA (RAIZ)	
15	RASPA DE MANDIOCA	
16	FARELO DE ARROZ	
17	MELAÇO	2.10
18	CANA DE AÇUCAR	1
19	CANA DE AÇUCAR (PONTAS)	1
20	CANA DE AÇUCAR (BAGAÇO)	
21	CAPIM ELEFANTE (85-92 DIAS)	
22	PÉ DE MILHO TRITURADO	
23	SABUGO DE MILHO	
24	PALHA DE MILHO	
25	PALHA DE ARROZ	
26	PALHA DE FEIJÃO	
27	PALHA DE SOJA	
28	FEIJÃO GUANDÚ	
29	LEUCEMA	
30	SILAGEM DE MILHO	
31	SILAGEM DE SORGO	
32	SILAGEM DE CAPIM ELEFANTE	
33	FENO DE ALFAFA	
34	FENO DE CAPIM JARAGUÁ	1
35	FENO DE BRACHIÁRIA	1
36	SAL COMUM	4.50
37	SAIS MINERAIS - BAIXO	5.30
38	SAIS MINERAIS - MÉDIO	
39	SAIS MINERAIS - ALTO	

## \* OBSERVAÇÕES

NO ITEM 7, OS PRODUTOS ESTÃO CLASSIFICADOS EM 4 TIPOS DE ACORDO COM O TEOR DE NUTRIENTES. OS PRODUTOS DE 1 a 9 SÃO RICOS EM PROTEÍNAS, DE 10 a 17 EM ENERGIA, DE 18 a 35 EM VOLUMOSOS E 36 a 39 EM MINERAIS. PELO MENOS UM PRODUTO DE CADA CLASSIFICAÇÃO DEVE SER INDICADO PARA A MISTURA.

## Resultado da análise de sensibilidade de mistura de ração

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA  
 DEPARTAMENTO DE ESTUDOS E PESQUISAS - DEP  
 CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE GADO DE CORTE - CNPGC  
 SISTEMA DE MISTURA DE RAÇÃO PARA GADO DE CORTE - ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

(1) NOME	UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS ATÉ O NÍVEL INTERMEDIÁRIO			(5) PROCESSO LIMITANTE
	(2) QUANTIDADE UTILIZADA	(3) CUSTO DE OPORTUNIDADE	(4) FAIXA DE PREÇOS	
TORTA DE ALGODOÃO	ATUAL	1.43096	140	
	MÍNIMO	ZERO	117.281	UREIA
	MÁXIMO	1.62752	46.0691	186.069
UREIA	ATUAL	.0380775	110	
	MÍNIMO	ZERO	205769	ZERO
	MÁXIMO	.0383978	605.425	715.425
CANA DE AÇÚCAR	ATUAL	17.1095	1	
	MÍNIMO	5.07717	2.84677	ZERO
	MÁXIMO	18.6394	20.9054	21.9054
CANA DE AÇÚCAR (PONTAS)	ATUAL	2.932	1	
	MÍNIMO	ZERO	37.8961	ZERO
	MÁXIMO	9.56964	1.48542	2.48542
SAIS MINERAIS - BAIXO	ATUAL	.19258	530	
	MÍNIMO	.139285	-INFINITO	ZERO
	MÁXIMO	1.42857E+11	4719.83	5249.83

(1) NOME	UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES ATÉ O NÍVEL INTERMEDIÁRIO			(4) PROCESSO LIMITANTE
	(2) QUANTIDADE UTILIZADA	(3) CUSTO DE OPORTUNIDADE	(4) PROCESSO LIMITANTE	
MATÉRIA SECA MÍNIMA	ATUAL	6.699		
	MÍNIMO	5.72183	INFINITO	MEMBRUM
	MÁXIMO	6.699	71.8413	MATÉRIA SECA MÁXIMA
FIBRA LONGA	ATUAL	5.33586		
	MÍNIMO	ZERO	INFINITO	MEMBRUM
	MÁXIMO	5.33586	48.6117	MATÉRIA SECA MÁXIMA
FOSFORO	ATUAL	.0284342		
	MÍNIMO	.0153908	3020.95	FENO DE BRACHIARIA
	MÁXIMO	.0298759	38569.7	MELACO
SAL COMUM	ATUAL	.134806		
	MÍNIMO	ZERO	450	SAL COMUM
	MÁXIMO	INFINITO	6742.62	MELACO



(1) NOME	UTILIZACAO DE PRODUTOS ATE O NIVEL LIRITANTE			(5) PROCESSO LIRITANTE	
	(2) QUANTIDADE UTILIZADA	(3) CUSTO DE OPORTUNIDADE	(4) FAIXA DE PRECOS		
TORTA DE GIRASSOL	ATUAL	NINGUM	135	101,976 INFINITO	TORTA DE ALGODOAO FOSFORO
	MINIMO	ZERO	-33.0245		
	MAXIMO	INFINITO	33.0245		
MILHO MOIDO	ATUAL	NINGUM	135	20,2747 INFINITO	CANHA DE ACUCAR CANHA DE ACUCAR (PONTAS)
	MINIMO	ZERO	-114,725		
	MAXIMO	INFINITO	114,725		
ESPIGA DE MILHO	ATUAL	NINGUM	150	12,2114 INFINITO	CANHA DE ACUCAR SAL COMUM
	MINIMO	ZERO	-137,789		
	MAXIMO	INFINITO	137,789		
RELACO	ATUAL	NINGUM	210	49,9975 INFINITO	FOSFORO CANHA DE ACUCAR (PONTAS)
	MINIMO	ZERO	-160,002		
	MAXIMO	INFINITO	160,002		
FENO DE CAPIA JARAGUA	ATUAL	NINGUM	1	ZERO INFINITO	CANHA DE ACUCAR (PONTAS) SAL COMUM
	MINIMO	ZERO	-16,4551		
	MAXIMO	INFINITO	16,4551		
FENO DE BRACHIARIA	ATUAL	NINGUM	1	ZERO INFINITO	CANHA DE ACUCAR (PONTAS) FOSFORO
	MINIMO	ZERO	-7,54557		
	MAXIMO	INFINITO	7,54557		
SAL COMUM	ATUAL	NINGUM	450	ZERO INFINITO	NINGUM SAL COMUM
	MINIMO	ZERO	-450		
	MAXIMO	INFINITO	450		

(1) NOME	UTILIZACAO DE NUTRIENTES ATE O NIVEL LIRITANTE			(4) PROCESSO LIRITANTE
	(2) QUANTIDADE UTILIZADA	(3) CUSTO DE OPORTUNIDADE	(4) FAIXA DE PRECOS	
PROTEINA BRUTA	ATUAL	734208	392,862 -392,862	NINGUM NINGUM
	MINIMO	ZERO		
	MAXIMO	INFINITO		
NUTRIENTES DIGESTIVO	ATUAL	4,44592	69,0158 -69,0158	NINGUM NINGUM
	MINIMO	ZERO		
	MAXIMO	INFINITO		
MATERIA SECA MAXIMA	ATUAL	6,699	-71,8413 71,8413	CANHA DE ACUCAR (PONTAS) CANHA DE ACUCAR
	MINIMO	6,49371		
	MAXIMO	8,0772		
UREIA	ATUAL	0	295,045 -295,045	UREIA CANHA DE ACUCAR (PONTAS)
	MINIMO	ZERO		
	MAXIMO	0,0781339		
CALCIO	ATUAL	0,280812	7571,43 -7571,43	NINGUM FOSFORO
	MINIMO	0,0198271		
	MAXIMO	INFINITO		

EMBRAPA - DEPARTAMENTO DE ESTUDOS E PESQUISAS/DEP  
 RESPONSAVEIS: Y. SUGAI E J. TAKECHI  
 COLABORACAO: M. RUIZ, DA EMBRAPA/CNPIC  
 SES, SUPER CENTER VEMANCIO 2000, SALA 915  
 70333 - BRASILIA, DF. TELEFONE: 224-5935 OU 223-1352

\*\*\* BOA SORTE !!! EMBRAPA/DEP \*\*\*

## Resultado do programa de programação linear

### Relatório dos dados de entrada

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA  
 DEPARTAMENTO DE ESTUDOS E PESQUISAS - DEP  
 CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE GADO DE CORTE - CNPGC  
 SISTEMA DE MISTURA DE RACÃO PARA GADO DE CORTE - ESPELHO DOS DADOS ENTRADOS

1. IDENTIFICAÇÃO DO USUÁRIO  
 NOME DO USUÁRIO: JOAO DA SILVA  
 NOME DA FAZENDA: BOI GORDO  
 ESTADO: DF MUNICÍPIO: BRASÍLIA  
 CEP: 70000 FONE: 225-5387 DATA: 15/03/85
2. UNIDADES UTILIZADAS  
 2.1. UNIDADE DE MEDIDA DE PRODUTOS E O QUILOGRAMA (KG)  
 2.2. UNIDADE MONETÁRIA DE COMPRA DOS PRODUTOS: CR\$
3. DISCRIMINAR O GADO DE CORTE  
 3.1. RACA: ZEDU OU NELORE PURO  
 3.2. SEXO: RACHO CASTRADO SEM IMPLANTE
4. INFORMAÇÕES SOBRE O CONFINAMENTO  
 PESO MÉDIO ATUAL DO GADO DE CORTE (KG): 210  
 PESO MÉDIO ESPERADO APÓS O CONFINAMENTO (KG): 320  
 DIAS MANTIDOS EM CONFINAMENTOS: 140  
 NÚMERO DE CABECAS DE GADO: 100  
 GANHO DIÁRIO DE PESO (KG): .785714  
 GANHO DIÁRIO DE PESO DEVIDO À EFICIÊNCIA DE SEXO,  
 RACA E TÉCNICAS DE MANEJO (KG): 1.05265
5. CONDIÇÕES FÍSICAS DOS ANIMAIS NO INÍCIO DO CONFINAMENTO: MAGRO
6. AMBIENTE NO CURRAL DE ENGORDA: PISO COM LARA, MAL DRENADO, CHUVA OU FRIO
7. PRODUTOS DISPONÍVEIS PARA A MISTURA  

NOME DO PRODUTO	PREÇO/UNIDADE DO PRODUTO
TORTA DE ALGODÃO	140.00 CR\$
TORTA DE GIRASSOL	135.00 CR\$
UREIA	110.00 CR\$
ÓLEO DE SOJA	135.00 CR\$
ESPILGA DE MILHO	150.00 CR\$
MELADO	210.00 CR\$
CANA DE AÇÚCAR	1.00 CR\$
CANA DE AÇÚCAR (PONTAS)	1.00 CR\$
FENO DE CAPIM JARAGUA	1.00 CR\$
FENO DE BRACHIÁRIA	1.00 CR\$
SAL COMUM	450.00 CR\$
SÓIS MINERAIS - BAIXO	530.00 CR\$

## Resultado ótimo da mistura de ração

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA  
DEPARTAMENTO DE ESTUDOS E PESQUISAS - DEP  
CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE GADO DE CORTE - CNPGC  
SISTEMA DE MISTURA DE RAÇÃO PARA GADO DE CORTE - RECEITA DA MISTURA DE RAÇÃO

INGREDIENTE DIÁRIO PARA A ENGORDA DE 100 CABEÇAS DE GADO DE CORTE  
PESO INICIAL DE 210 ATE O ALCANCE DO PESO DE 320

NOME DO PRODUTO	QUANTIDADE UTILIZADA	CUSTO DO PRODUTO
TORTA DE ALGODÃO	143.10 KG	20033.40 CR\$
UREIA	3.81 KG	418.85 CR\$
CANA DE AÇÚCAR	1710.95 KG	1710.95 CR\$
CANA DE AÇÚCAR (PONTAS)	293.20 KG	293.20 CR\$
SAIS MINERAIS - BAIXO	19.26 KG	10206.70 CR\$

CUSTO TOTAL DIÁRIO DA MISTURA: 32663.1 CR\$

\*\*\*\*\*  
CUSTO TOTAL NOS 140 DIAS DE CONFINAMENTO: 4572840 CR\$  
\*\*\*\*\*

### RELATORIO DA OTIMIZACAO POR UNIDADE

#### RELATORIO POR PRODUTO (POR CABECA/DIA)

NOME DO PRODUTO	QUANTIDADE UTILIZADA	PREÇO/UNIDADE	CUSTO DO PRODUTO	CUSTO DE OPORTUNIDADE
TORTA DE ALGODÃO	1.43	140.00	200.33	0.00
TORTA DE GIRASSOL	0.00	135.00	0.00	33.82
UREIA	0.04	110.00	4.19	0.00
MILHO MOIDO	0.00	135.00	0.00	116.73
ESPIGA DE MILHO	0.00	150.00	0.00	137.79
RELACO	0.00	210.00	0.00	140.00
CANA DE AÇÚCAR	17.11	1.00	17.11	0.00
CANA DE AÇÚCAR (PONTAS)	2.93	1.00	2.93	0.00
FENO DE CAPIA JARAGUA	0.00	1.00	0.00	14.46
FENO DE BRACHIARIA	0.00	1.00	0.00	7.55
SAL CORUM	0.00	450.00	0.00	450.00
SAIS MINERAIS - BAIXO	0.19	530.00	102.07	0.00

CUSTO TOTAL DA MISTURA: 326.631

### RELATORIO DOS NUTRIENTES (POR CABECA/DIA)

NOME	QUANTIDADE UTILIZADA	NAO UTILIZADA	EXIGENCIA MINIMA	LIMITE MAXIMA	CUSTO DE OPORTUN
MATERIA SECA MINIMA	6.70	-0.59	6.10777	NENHUM	0.00
PROTEINA BRUTA	0.73	0.00	7.734208	7.734208	392.86
NUTRIENTES DIGESTIVO	4.45	0.00	4.44592	4.44592	69.02
FIBRA LONGA	5.34	-4.11	1.22155	NENHUM	0.00
MATERIA SECA MAXIMA	6.70	0.00	NENHUM	6.699	-71.84
UREIA	0.00	0.00	0	NENHUM	295.05
CALCIO	0.03	0.00	0.0280812	NENHUM	7571.43
FOSFORO	0.03	-0.01	0.0219125	NENHUM	0.00
SAL CORUM	0.13	-0.11	0.022	NENHUM	0.00