# *PROGRAMAÇÃO LINEAR APLICADA A FORMULAÇÃO DE RAÇÃO DE CUSTO MÍNIMO PARA BOVINOS NA REGIÃO DE ARAÇATUBA*

**Arlélio Leite dos SANTOS***
**Ricardo de Assis PERINA****

**Resumo**: O trabalho tem como objetivo demonstrar que o produtor rural, com o apoio de técnicos e economistas, pode minimizar seus custos a partir de uma pesquisa atenta e detalhada sobre níveis nutricionais e preços dos diversos insumos utilizados na alimentação de bovinos. Neste artigo chegou-se a conclusão de que para a entresafra do ano de 1998 na região de Araçatuba a melhor opção para a alimentação seria a combinação dos volumosos bagaço hidrolisado e cana-de-açúcar picada mais uma suplementação composta por sal, fosfato bicálcico, uréia, farelo de polpa cítrica e mistura mineral. O custo associado a esta opção de alimentação foi estimado em R$ 6,28 por arroba líquida de carne produzida. Para se otimizar o uso de recursos utilizou-se técnicas de programação linear, operacionalizadas através do software especializado ORSYS.

**Palavras-chave:** Otimização condicionada; modelos matemáticos; programação linear; formulação de ração.

## Introdução

As técnicas de apoio à tomada de decisão evoluem a cada dia e desta maneira cada vez mais opções estão a disposição daqueles que delas necessitam. A atividade agropecuária não é exceção sendo cada vez mais importante a tomada de decisão, onde esta decisão deve produzir os resultados ótimos necessários a luz do desenvolvimento teórico disponível.

Particularmente neste atual momento do final do século XX, a dinâmica de mercado está introduzindo mudanças significativas na formação de preços, onde estes estão deixando de ser formados localmente nos países para se formarem mundialmente. Isto está levando os mercados a ficarem cada vez mais interligados e dependentes, seja para a formação de preços ou para o escoamento da produção de cada país no mercado mundial de produtos agropecuários. Isto posto, podemos afirmar que, esta interdependência expõe o

* Economista formado pelas Faculdades Toledo de Araçatuba.
** Engenheiro Agronomo (ESALQ/USP), Economista (UNIMEP/PIRACICABA). Mestrando em Economia Agricola (ESALQ/USP). Professor na FCEA-CEP 16015-280- Araçatuba
Agradecemos ao Prof. Dr. Jose Vicente Caixeta Filho (ESALQ/USP) a orientação e revisão deste trabalho, eximindo-o de eventuais erros

produtor rural a um regime de competição , onde este é tomador de preços para a venda de seus produtos. Fica claro, que entre outras estratégias, um rigoroso acompanhamento de custos se torna vital para o produtor rural obter retorno na sua atividade.

Assim técnicas de previsão e controle de custos, que maximizem o lucro ou minimize os custos , fazem parte da cesta de necessidades básicas do produtor rural, para a continuidade de sua atividade com rentabilidade, dignidade e satisfação. Dentre estes instrumentos, citaríamos a utilização de modelos matemáticos de otimização condicionada e entre eles os modelos de Programação Linear e Não Linear, que simulem situações de custos derivadas de uma determinada realidade. A utilização destes modelos, para as atividades agropecuárias, com a evolução da informática, de um modo geral tem alcançado sucesso[1] .

## 1. Justificativas e objetivos do trabalho

O objetivo do trabalho é demonstrar a possibilidade de uso de modelos matemáticos de otimização condicionada, mais especificadamente, técnicas de Programação Linear, para se obter resultados que simulem situações ótimas de minimização de custos na atividade agropecuária.

As justificativas para se usar a programação linear em otimizações na atividade agropecuária seguem abaixo com a citação extraída do trabalho de Rosa (1994):

> "O interesse...., decorre de quatro preocupações básicas: ela favorece a modelização de uma propriedade e, a partir de um modelo de base, podem se desenvolver simulações para identificar as modificações nos resultados,..., em seqüência, pode-se observar diretamente o custo marginal ou de oportunidade de cada fator do sistema..., ela permite, também, a integração nas análises dos coeficientes técnicos com os econômicos, podendo-se identificar e quantificar facilmente os fatores mais restritivos; enfim, o desenvolvimento da PL exige um trabalho

[1] Se o leitor quiser ter uma melhor idéia da aplicação do método, sugerimos por exemplo os trabalhos de:
FERREIRA, N.M Otimização Econômica em Confinamento de Bovinos de Corte. ESALQ/USP . Piracicaba - 1993.
AZEVEDO FILHO, A.J.B.V. & NEVES, E.M. O uso de Programação Matematica na Análise de Investimentos na Pecuária de Corte: Técnicas Intensivas vs Mercados de Capitais in Anais do I Cogresso Latino-Americano de Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro, Nov. 1982.
CONTINI, E. ett all. Planejamento da Propriedade Agrícola - modelos de decisão. EMBRAPA. Brasília 1984.
TOLEDO, P.E. & MONTICELLI, C.J.. Estimativa do custo privado da recuperação de matas ciliares através da programação linear. in Informações Econômicas Vol. I nº 12. IEA.. São Paulo Dez. 1971

interinstitucional e multidisciplinar...".

Para atingir o objetivo proposto partiu-se de uma situação baseada em dados reais onde o produtor rural deseja minimizar o custo por arroba líquida da matéria prima que compõem a alimentação do gado em regime de engorda na região de Araçatuba na entresafra no ano de 1998.

Os seguintes pontos são relevantes para que o leitor entenda os resultados obtidos:

os volumosos e componentes de suplementação escolhidos para o estudo são aqueles disponíveis na região de Araçatuba na entresafra da pecuária bovina no ano de 1998, e assim sendo para outras regiões poderiam ser usados outros volumosos ou componentes, podendo chegar a resultados diferentes.

todo o trabalho e resultados estão baseados nos pressupostos que o produtor rural tem:

a - uma estrutura administrativa, operacional e logística implantada e funcionando com eficiência econômica;
b - garantia de compra de sua mercadoria ao final do período;
c - animais disponíveis para a engorda no começo do período.

Os custos inerentes aos pressupostos acima não serão objetos deste estudo, mas deverão ser agregados aos resultados obtidos para a obtenção do custo total da arroba de carne produzida.

Após a apresentação destes pontos será enfocado o problema ao qual o produtor precisa resolver, ou seja, qual seria a melhor combinação de alimentos ,entre os disponíveis, que conseguiria atender as exigências nutricionais referentes ao ganho de 1 Kg de peso vivo diário por animal entre Julho a Outubro (entresafra) e que tenha ao mesmo tempo o menor custo por arroba líquida durante o período.

## 2. Metodologia

Como já citado , na resolução de problemas de minimização de custos ou maximização de lucros ou receitas advindos de atividades econômicas, onde se dispõem de dados confiáveis, pode-se utilizar modelos de programação linear para se prever, através de cálculos a priori, os possíveis resultados ótimos passíveis de serem observados no final da atividade empreendida e através da análise destes resultados tomar a decisão de executar ou não a atividade objeto de estudo.

A concepção de um modelo de programação linear pode ser obtido através de analogia de um sistema de equações ou inequações composto por funções lineares, ou como o definido por CAIXETA FILHO (1997):

> "A programação linear nada mais é que o aprimoramento de uma técnica de resolução de sistemas de equações lineares via inversões sucessivas de matrizes... com a vantagem de incorporar uma equação linear adicional representativa de um dado comportamento que deva ser otimizado".

A partir desta técnica e com a necessidade de se resolver um determinado problema, devem ser especificados o objetivo, as alternativas disponíveis e as restrições impostas a realidade estudada para que se chegue a uma solução ótima. A seguir deve-se representar isto tudo matematicamente através de sistemas de equações ou inequações de programação linear, desta maneira tem-se para o caso geral:

Representação do objetivo ou seja a função objetivo:

**Min** **(ou** **Max)** $\sum_{j=1}^{n} c_j x_j$

(1)

**Sujeito a**

Representação das restrições associadas ao problema:

$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j$ < , = ou > $a_i$, para i = 1,... . m;

(2)

$X_j > 0$

O modelo descrito por (1) e (2) diz que há um conjunto de n produtos com m preços, sujeitos à m restrições de combinação entre quantidades e preços dos mesmos e que toda restrição tem que ter valor igual ou maior que zero.

No trabalho de CAIXETA FILHO (1997), encontram-se diversos métodos para a resolução de um problema modelado através da programação linear, tais como o método algébrico e gráfico, método de Cramer, método

Simplex revisado, etc.., no caso específico deste trabalho será utilizado como instrumental o método Simplex revisado, operacionalizado através do software especializado Orsys.

Para a resolução de problemas de programação linear, o método Simplex revisado parte de uma solução básica inicial , seguindo num processo de sucessivas inversões de matrizes, até que se chegue ao melhor resultado possível ( se o problema tiver solução), gerando em seguida relatórios para as análises.

O presente trabalho visa demonstrar a viabilidade de uso da PL e do software para a tomada de decisão na escolha de uma das alternativas abaixo descritas:
Alternativa A - Combinação de volumosos cana de açúcar, silagem de milho e bagaço hidrolisado, mais uma composição de suplementação;
Alternativa B - Volumoso capim ( pasto seco ou sobra de macega ), mais uma composição de suplementação.

Apresenta-se também diversas restrições associadas as exigências nutricionais mínimas exigidas para um determinado ganho de peso diário.

## 3. Apresentação dos dados básicos do trabalho

Foram coletados junto ao Departamento de Produção de Alimentação Animal da Cooperativa Agropecuária do Brasil Central -Cobrac os seguintes dados relacionados a alimentação de bovinos:
1 - O consumo de matéria seca pelo bovino proveniente de capim, no período de entresafra e em regime de pasto ( capim seco ) é igual a 1,2 % do seu peso vivo, podendo o total da matéria seca ingerida variar entre 1.8 e 2,5 % do peso vivo do animal
2 - A ingestão da matéria seca diária proveniente do suplemento concentrado deve ser menor ou igual a ingestão de matéria seca proveniente de volumoso.
3- A disponibilidade de volumosos e dos componentes para suplementação, bem como seus níveis nutricionais e os respectivos preços por quilo na região de Araçatuba no mês de maio de 1998 estão disponíveis na Tabela 1.

**Tabela 1 - Componentes disponíveis nutricionais e preços**

| Compo. | % M.S. /Peso | Prot0eína %/ M.S. | NDT %/ M.S. | Cálcio %/ M.S. | Fósforo %/ M.S. | Na em g / kg | Preço em R$ / Kg | Denomin. Matemat. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bagaço | 090.00 | 2.00 | 35.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 0.01407 | X11 |
| S. Milho | 027.40 | 8.50 | 66.00 | 00.10 | 00.06 | 00.00 | 0.02415 | X12 |
| Cana | 023.20 | 1.00 | 61.00 | 00.13 | 00.04 | 00.00 | 0.01120 | X13 |
| Pasto | 080.00 | 2.50 | 65.00 | 00.13 | 00.08 | 00.00 | 0.02645 | X14 |
| Sal | 000.00 | 0.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 40.00 | 0.09000 | X21 |
| Fosbica | 000.00 | 0.00 | 00.00 | 23.00 | 18.00 | 00.00 | 0.34000 | X22 |
| Calcário | 000.00 | 0.00 | 00.00 | 35.00 | 00.00 | 00.00 | 0.09000 | X23 |
| Far. Am. | 089.00 | 47.40 | 71.00 | 00.20 | 00.65 | 00.00 | 0.16000 | X24 |
| Far. Alg. | 089.00 | 41.00 | 68.00 | 00.16 | 01.20 | 00.00 | 0.15000 | X25 |
| Far.Trigo | 089.00 | 14.00 | 00.00 | 00.14 | 01.17 | 00.00 | 0.14000 | X26 |
| Far. Soja | 089.00 | 45.80 | 72.00 | 00.32 | 00.67 | 00.00 | 0.25000 | X27 |
| Milho | 086.00 | 08.80 | 80.00 | 00.03 | 00.27 | 00.00 | 0.14000 | X28 |
| Uréia | 100.00 | 28.00 | 10..00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 0.25000 | X29 |
| F. Polpa | 089.00 | 06.60 | 75.00 | 01.96 | 00.12 | 00.00 | 0.02000 | X210 |
| N. Min. | 000.00 | 00..00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 0.35000 | X211 |

**Fonte: Departamento de produção de alimentação animal da Cooperativa Agropecuária do Brasil Central cobrac**

Para obter o cálculo do custo do quilo de capim utiliza-se a seguinte fórmula:

Sabendo que: durante o período de entresafra em regime de pasto o gado consome 1,2% do seu peso em mat;éria seca proviniente de capim seco, que cada unidade de capim seco é formado por 80% de matéria seca, que o aluguel do pasto no período é igual a R$20,00 e que o período é composto por 120 dias estabelece-se a seguinte equação

$$C = V / ((P . K. ( Ca/ Ms).D)) \qquad (3)$$

Onde:

C = custo do Kg de capim consumido pelo animal
V = valor total do aluguel do pasto no período, em R$.
P = peso vivo médio do animal em Kg
K = coeficiente de consumo diário de matéria seca proveniente de capim pelo animal
Ca/ Ms = relação existente entre o Kg de capim e o total de matéria seca
D = período em dias de apascentamento

Substituindo os valores em (3) tem-se que:

$C = 20,00 / (( 420. 0,012 . (1 / 0,8 ). 120))$

$C = 0,026455$

Portanto o custo de cada Kg de capim é R$ 0,026455

3 - As exigências nutricionais de bovinos para o ganho de 1.0 Kg de peso

vivo diário(GPD) estão disponíveis na Tabela 2.

**TABELA 2 - Exigências nutricionais de bovinos para o ganho de 1.00 kg de PESO VIVO DIÁRIO (GPD):**

| PESO | GPD/ DIA | Kg M.S./ DIA | P. B. / % | N.D.T. /% | Ca / % | Kg NU. M. / DIA | P /% | Kg NA/ DIA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 400 | 1.00 | 09.40 | 9.40 | 72.00 | 0.220 | 0.030 | 0.21 | 0.042 |
| 425 | 1.00 | 09.85 | 9.35 | 72.00 | 0.205 | 0.030 | 0.20 | 0.042 |
| 450 | 1.00 | 10.08 | 9.30 | 72.00 | 0.190 | 0.030 | 0.19 | 0.042 |

Fonte: Peixoto, A.M. (1986).

4 - Os valores dos pesos de entrada, saída, médio e o ganho de peso total líquido de bovinos em regime de engorda estão disponíveis na Tabela 3.

**TABELA 3 - Pesos de entrada e saída dos bovinos**

| PESO | PESO INICIAL Kg @ | PESO FINALKg @ | PESO MÉDIO Kg @ | GANHO PESO T. Kg @ |
|---|---|---|---|---|
| PESO VIVO | 360.00<br>24.00 | 480.00<br>32.00 | 420.00<br>28.00 | 120.00<br>8.00 |
| PESO MORTO | 176.40<br>11.76 | 254.40<br>16.96 | -<br>- | 78.00<br>5.20 |
| R E N . . CARCA-ÇA | 48%<br>48% | 53%<br>53% | -<br>- | -<br>- |

Fonte: Departamento de produção de alimentação animal da Cooperativa Agropecuária do Brasil Central-COBRAC

**Montagem da estrutura matemática do trabalho:**

Obter a combinação de volumosos e componentes de suplementação que atendam aos níveis nutricionais exigidos e **minimize** os custos por arroba líquida da matéria prima usada na alimentação do gado.

**Alternativa A:**

Utilizar a combinação dos volumosos cana de açúcar, bagaço de cana hidrolizado e silagem de milho mais composição de suplementação.

**Alternativa B:**

Utilizar o volumoso capim ( pasto seco ou "sobra de macega" ) mais a composição de suplementação.

**Restrições para alternativas A e B:**

**Para a alternativa A existem o seguinte grupo de restrições:**

- Quantidade mínima de matéria seca ingerida por dia 7,560 kg
- Quantidade máxima de matéria seca ingerida por dia 10,500 kg
- Quantidade mínima de proteína bruta por dia 0,920975 kg
- Quantidade mínima de NDT por dia 7,092 kg
- Quantidade mínima de Cálcio ingerido diariamente 0,2019 Kg

- Quantidade de Fósforo ingerido por dia 0,0197 Kg
- Quantidade de sódio ingerida por dia 0,042 Kg
- Quantidade de minerais ( micronutrientres) por dia 0,030 Kg
- Quantidade máxima de proteína bruta proveniente da uréia 30 % P.B.
- Quantidade de ingestão de matéria seca proveniente do concentrado deve ser igual ou
  menor do que a ingestão de matéria seca proveniente do volumoso
- Condição de nulidade do volumoso capim seco (X14 = 0)

**Para a alternativa B teremos também o seguinte grupo de restrições:**

- Quantidade mínima de matéria seca ingerida por dia 7,560 kg
- Quantidade máxima de matéria seca ingerida por dia 10,500 kg
- Quantidade mínima de proteína bruta por dia 0,920975 kg
- Quantidade mínima de NDT por dia 7,092 kg
- Quantidade mínima de Cálcio ingerido diariamente 0,2019 Kg
- Quantidade de Fósforo ingerido por dia 0,0197 Kg
- Quantidade de sódio ingerida por dia 0,042 Kg
- Quantidade de minerais ( micronutrientres) por dia 0,030 Kg
- Quantidade máxima de proteína bruta proveniente da uréia 30 % P.B.
- Quantidade de ingestão de matéria seca proveniente do concentrado deve ser igual ou menor do que a ingestão de matéria seca proveniente do volumoso
- Quantidade de ingestão de capim diária pelo animal 6,3 Kg
- condição de nulidade dos volumosos bagaço, silagem e cana de açúcar ( X11+X12+X13 = 0)

Expressando matematicamente tem-se : (4)

$$MIN\ C = k\left(\sum_{i=1}^{4} \mathbf{c1}_i.\mathbf{X1}_i + \sum_{j=1}^{11} \mathbf{c2}_j.\mathbf{X2}_j\right)$$

Onde:

k = constante obtida através da multiplicação do número de dias do período analisado (120), vezes o valor de uma arroba de peso (15) dividido pelo ganho de peso líquido total no período por animal (78) ou seja:

k = 120.15/78 portanto k= 23.07692

$X1_i$ = quantidade associada aos diversos volumosos.

$X2_j$ = quantidade associada aos diversos itens que compõem a combinação de

suplementação.
$C1_i$ = custo unitário associado aos diversos volumosos
$C2_j$ = custo unitário associado aos diversos itens que compõem a combinação de suplementação

**Restrições:**
Sujeita a:

$$\sum_{i=1}^{4} \mathbf{A1_i . X1_i} + \sum_{i=1}^{11} \mathbf{A2_j . X2_j} \leq, = \; \boldsymbol{OU} \; \geq \; \boldsymbol{ai} \qquad \text{Sendo } 1 = 1,\ldots, \; m; \; (5)$$

$a_i$. $X1$, e $X2_j \geq 0$

Onde:

$X1j$ = Diversos volumosos
$X2i$ = Diversos componenetes de suplementação
$A1i$ = Níveis nitricionais associados a cada volumoso
$A2j$ = Níveis nutricionais associados a cada item da composição de supelmentação
ai = RHS (limites mínimos ou máximos associados a cada restrição)
Substituindo os coeficientes em (4) e (5) tem-se para a alternativa a:

Min C = 23,07692 .( 0,01407.X11 + 0,02415.X12 + 0,01120.X13 + 0,026455.X14 + 0,09.X21+
+ 0,34.X22 + 0,09.X23 + 0,16.X24 + 0,15.X25 + 0,14.X26 + 0,25.X27 + 0,14.X28 +
+ 0,25.X29 + 0,02.X210 + 0,35.X211)
(6)

Sujeito a:

M. S. MÍN : 0,90.X11 + 0,274.X12 + 0,232.X13 + 0,8.X14 + 0,89.(X24+... +X210) + 0,86.X28 +
+ 2,8.X29 ≥ 7,56 (7)

M. S. MAX : 0,90.X11 + 0,274.X12 + 0,232.X13 + 0,8.X14 + 0,89.(X24+... +X210) + 0,86.X28 +
+ 2,8.X29 ≤ 10.08
(8)

P. B. : 0,012.X11 + 0,085.X12 + 0,01.X13 + 0,025.X14 + 0,474.X24 + 0,41.X25 + 0,14.X26 +
+ 0,458.X27 + 0,088.X28 + 2,8.X29 + 0,066.X210 ≥ 0,920975 (9)

NDT : 0,35.X11 + 0,66.X12 + 0,61.X13 + 0,65.X14 + 0,71.X24 + 0,68.X25 + 0,47.X26 +
+ 0,72.X27 + 0,80.X28 + 0,10.X29 + 0,75.X210 ≥7,092 (10)

Ca : 0,001.X12 + 0,0013.X13 + 0,0013.X14 + 0,23.X22 + 0,35.X23 +0, 20.X24 +
+ 0,16.X25 + 0,14.X26 + 0,32.X27 + 0,0003.X28 + 0,0196.X210 ≥ 0,.02019 (11)

P : 0,0006.X12 + 0,0004.X13 + 0,0008.X14 + 0,18.X22 + 0,0065.X24 + 0, 012.X25 +
+ 0,0117.X26 + 0,0067.X27 + 0,0027.X28+ 0,0012.X210 ≥0,0197 (12)

Na : 0,4.X21= 0,042 (13)

Nuc. Miner.: X211= 0,03 (14)

P. B. Uréia : 2,8.X29 - 0,30.(0,012.X11 + 0,085.X12 + 0,01.X13 + 0,025.X14 + 0,474.X21 +
+ 0,41.X22 + 0,14.X23 + 0,458.X24 + 0,088.X25 + 2,8.X29 + 0,066.X210) = 0 (15)

Proporc. : 0,5.(X11+X12+X13+X14) -0,5(X24 + ... + X210) = 0 (16)

ALTERNATIVA A: X14 = 0 (17)

Substituindo os coeficientes em (4) e (5) tem-se para a alternativa b:

Min C = 23,07692 .( 0,01407.X11 + 0,02415.X12 + 0,01120.X13 + 0,026455.X14 + 0,09.X21+
+ 0,34.X22 + 0,09.X23 + 0,16.X24 + 0,15.X25 + 0,14.X26 + 0,25.X27

+ 0,14.X28 +

+ 0,25.X29 + 0,02.X210 + 0,35.X211)

(18)

Sujeito a:

M. S. MÍN : 0,90.X11 + 0,274.X12 + 0,232.X13 + 0,8.X14 + 0,89.(X24+... +X210) + 0,86.X28 +

+ 2,8.X29 ≥ 7,56

(19)

M. S. MAX : 0,90.X11 + 0,274.X12 + 0,232.X13 + 0,8.X14 + 0,89.(X24+... +X210) + 0,86.X28 +

+ 2,8.X29 ≤ 10.08

(20)

P. B. : 0,012.X11 + 0,085.X12 + 0,01.X13 + 0,025.X14 + 0,474.X24 + 0,41.X25 + 0,14.X26 +

+ 0,458.X27 + 0,088.X28 + 2,8.X29 + 0,066.X210 ≥ 0,920975

(21)

NDT : 0,35.X11 + 0,66.X12 + 0,61.X13 + 0,65.X14 + 0,71.X24 + 0,68.X25 + 0,47.X26 +

+ 0,72.X27 + 0,80.X28 + 0,10.X29 + 0,75.X210 ≥7,092

(22)

Ca : 0,001.X12 + 0,0013.X13 + 0,0013.X14 + 0,23.X22 + 0,35.X23 +0, 20.X24 +

+ 0,16.X25 + 0,14.X26 + 0,32.X27 + 0,0003.X28 + 0,0196.X210 ≥ 0,.02019 (23)

P : 0,0006.X12 + 0,0004.X13 + 0,0008.X14 + 0,18.X22 + 0,0065.X24 + 0, 012.X25 +

+ 0,0117.X26 + 0,0067.X27 + 0,0027.X28+ 0,0012.X210 ≥0,0197 (24)

Na : 0,4.X21= 0,042

(25)

Nuc. Miner.: X211= 0,03

(26)

P. B. Uréia : 2,8.X29 - 0,30.(0,012.X11 + 0,085.X12 + 0,01.X13 + 0,025.X14 + 0,474.X21 +
+ 0,41.X22 + 0,14.X23 + 0,458.X24 + 0,088.X25 + 2,8.X29 + 0,066.X210) = 0 (27)

Proporcion.: 0,5.(X11+X12+X13+X14) -0,5(X24 + ... + X210) = 0 (28)

C. cap./ dia: X14 = 6,3 (29)

ALTERNATIVA B: X11 + X12 + X13 = 0 (30)

Resultados Obtidos após a aplicação do software:

Na Tabela 4 apresentamos os custos obtidos para cada alternativa proposta:

**TABELA 4 - Custos associados a cada alternativa proposta:**

| Alternativa | Custos por @ * em R$ |
|---|---|
| A | 6,28 |
| B | 7,60 |

* arroba líquida

A aplicação do software fornece a solução de custo ótima associada as quantidades e preços das matérias primas utilizadas na alimentação de bovinos para se produzir uma arroba líquida de carne, ou seja, quando se opta pela alternativa A o custo é respectivamente R$ 6,28 por arroba, enquanto que se a opção for pela alternativa B teremos R$ 7,60 por arroba líquida de carne produzida.

O programa fornece muitas outras informações, algumas comentadas na seqüência.

**Análise de resultados da alternativa A:**

Na Tabela 5 observa-se a seguinte composição ótima de matéria prima para a alternativa A:

**TABELA 5 - Composição ótima de matéria prima, custos unitários e totais**

| ASSOCIADOS A ALTERNATIVA A: | | | |
|---|---|---|---|
| Alimento | **Quant.(Kg)** | **Custo Unit. (R$)*** | **Custo Total (R$)** |
| Bagaço ( volumoso ) | 2,916 | 0,3247 | 0,947 |
| Cana ( volumoso ) | 4,979 | 0,2585 | 1,287 |
| Nacl | 0,105 | 2,0769 | 0,218 |
| Fosbica | 0,071 | 7,8462 | 0,557 |
| Uréia | 0,204 | 5,7692 | 1,177 |
| Far. Polpa Cítrica | 4,018 | 0,4615 | 1,854 |
| Mistura Mineral | 0,030 | 8,0769 | 0,242 |
| **Total** | **12,423** | - | **6,282** |

(*) Custo Unitário corresponde ao preço do alimento, multiplicado pelo número de dias do tratamento dividido pelo ganho de peso, ou seja, o valor do custo unitário do alimento para se produzir 1 arroba de carne. Para se obter o custo por Kg do alimento, neste caso, basta dividir o resultado por 23,0769.

A tabela 5 nos traz as matérias primas que foram selecionadas, as quantidades unitárias utilizadas, os respectivos custos unitários , a quantidade total em Kg e o custo total da combinação ótima de matérias primas para a alternativa A.

Na Tabela 6 apresenta-se os resultados obtidos de preço sombra e os limites mínimos e máximos para as possíveis variações de quantidades das exigências nutricionais que mantenham o resultado ótimo conseguido para a alternativa A :

**TABELA 6 - Limites de variação e preço sombra das exigências nutricionais da ração associadas a alternativa A:**

| | | | **Limite de Variação** | |
|---|---|---|---|---|
| **Especificação** | **Preço Sombra*** | **Valor RHS**** | **Mínimo** | **Máximo** |
| Mat. Seca | 0.152 | 7,560 | 4,19 | 10.50 |
| P. B. | 2,023 | 0,921 | 0,36 | 10,70 |
| NDT | 0,276 | 7,092 | 4,49 | 12,99 |

* Valores em R$.

** Valores fixados como exigências mínimas ou máximas na formulação original do problema.

Observa-se na tabela acima que para cada unidade a mais de variação nas exigências nutricionais (RHS) compreendida entre os respectivos limites , haverá um incremento no custo correspondente ao valor do preço sombra. Por exemplo se o teor de proteína bruta aumentar uma unidade o custo aumentará em R$ 2,023, respeitando os limites de 0,36 até 10,70 Kg de proteína bruta.

A Tabela 7 nos traz os valores em quantidades necessários de cada componente disponível para o atendimento das exigências nutricionais a um mínimo custo ou ótimo. Apresenta também os limites mínimos e máximos das variações de preço dos componentes utilizados que mantém a solução ótima apresentada(custo mínimo):

**TABELA 7 - Quantidades requeridas e limites de variação de preço dos componentes utilizados na solução de custo mínimo A:**

| | | | Limite de Variação | |
|---|---|---|---|---|
| Alimento | **Quant. (Kg)** | **Custo Unit. (R$)** | **Mínimo** | Máximo |
| Bagaço | 2,916 | 0,0140 | 0,0067 | 0,03826 |
| Cana | 4,979 | 0,0112 | 0,00497 | 0,01572 |
| Fosbica | 0,072 | 0,3400 | - | 1,65947 |
| Uréia | 0,204 | 0,2500 | 0,01018 | 0,43441 |
| F. Polpa Cítrica | 4,018 | 0,0200 | 0,00858 | 0,02564 |

A análise da função objetivo, mostra a variação de custos das matérias primas que mantém a mesma solução ótima para o problema. Os valores obtidos pela resolução do software foram divididos pelo fator 23,0769 para se fazer a análise dos custos unitários em Kg de matéria-prima.

A título de realçar a importância do quadro , nota-se no item farelo de polpa cítrica que hoje encontra-se com preço de mercado bastante reduzido possui o valor de R$ 0,02564 / Kg (R$ 25,64 / Ton. ) como limite máximo para manter este resultado ótimo apresentado para que composição dos alimentos permaneça a mesma. A partir desse valor outra combinação ótima poderá ser sugerida.

**Análise dos resultados associados a alternativa B:**

Na Tabela 8 podemos observar a seguinte composição ótima de alimentação para a alternativa B:

**TABELA 8 - Composição ótima de alimentação e custos totais e unitários associada a alternativa B:**

| Alimento | Quantidade (Kg) | Custo Unitário(R$) | Custo Total |
|---|---|---|---|
| **Pasto** | **6,30000** | **0,6105** | **3,84615** |
| **Nacl** | **0,10500** | **2,0770** | **0,21800** |
| **Fosbica** | **0,05496** | **7,8462** | **0,43122** |
| **Uréia** | **0,17904** | **5,7692** | **1,03288** |
| **Far. Polpa** | **3,97213** | **0,4615** | **1,83314** |
| **Mistura Mineral** | **0,03000** | **8,0769** | **0,24231** |
| **Total** | **10,64113** | **-** | **7,6037** |

Analogamente a alternativa A a tabela nos traz as matérias primas que foram selecionadas, as quantidades unitárias utilizadas, os respectivos custos unitários , a quantidade total em Kg e o custo total da combinação ótima de matérias primas para a alternativa B.

A Tabela 9 traz os limites de variação e o preço sombra das exigências nutricionais associadas a alternativa B:

**TABELA 9 - Limites de variação e preço sombra das exigências nutricionais da ração associadas a alternativa B:**

| | | | Limite de Variação | |
|---|---|---|---|---|
| **Alimento** | Preço Sombra* | Valor RHS** | Mínimo | Máximo |
| Mat. Seca | - | 7,56 | - | 8,750 |
| P. B. | 2,04738 | 0,9209 | 0,421 | 5,120 |
| NDT0,36547 | - | 7,092 | 6,061 | 8,236 |
| Fósforo | 43,5897 | 0,0197 | 0,0098 | - |
| Sódio | 5,1923 | 0,042 | 0,000 | - |
| Mist. mineral | 8,0769 | 0,030 | 0,000 | - |

*Valores em R$.

** Valores fixados como exigências mínimas ou máximas na formulação original do problema.

Fazendo a análise dos dados da tabela observa-se que para cada unidade a mais de variação nas exigências nutricionais (RHS) compreendida entre os respectivos limites , haverá um incremento no custo correspondente ao valor do preço sombra. Por exemplo: se o teor de proteína bruta aumentar uma unidade o custo aumentará em R$ 2,04738, respeitando os limites de 0,421 até 5,12 Kg de proteína bruta, para a alternativa B são diferentes tanto o preço sombra como os respectivos limites de variação da proteína.

É interessante observar que quando usa-se pastagens, a restrição de matéria seca não é limitante pois o valor utilizado permanece nos limites fixados para a mesma. Neste caso é bom lembrar que supõe-se que o estado do capim está dentro do recomendado tecnicamente, ou seja, "sobra de macega".

A Tabela 10 traz as quantidades utilizadas e os limites de variação de preços dos componentes utilizados na alternativa B:

**TABELA 10 - Quantidades utilizadas e limites de variação de preço dos componentes utilizados na solução de custo mínimo B:**

| | | | **Limite de Variação** | |
|---|---|---|---|---|
| Alimento | Quantidade* | **Custo Unitário**** | **Mínimo** | **Máximo** |
| Pasto | 6,3000 | 0,02646 | - | - |
| Fosbica | 0,5496 | 0,34000 | 0,00000 | 1,66000 |
| Uréia | 0,1790 | 0,25000 | 0,00236 | 0,45267 |
| Far. Polpa | 3,9720 | 0,020000 | 0,00816 | 0,10099 |

* Valores em Kg, obtidos com o resultado do coeficiente entre o valor unitário por @ e o coeficiente 23,0769.
** Valores em R$.

A análise da função objetivo, mostra a variação de custos das matérias primas que mantém a mesma solução ótima para o problema. Por exemplo:

O quilo do farelo de polpa cítrica, pode variar entre R$ 0,00816 e 0,10099 que a solução ótima de custo se manterá as mesmas mantido constante os preços das demais variáveis.

## CONCLUSÃO

Utilizando-se o método da programação linear pode-se observar que a alternativa A oferece o menor custo de combinação das matérias primas disponíveis.

No caso da alternativa A face as características de preços regionais e os componentes alimentares, a tradicional silagem de milho não entrou na composição ótima.

Deve-se atentar que as variações nutricionais das matérias primas devem ser consideradas em cada caso a ser estudado, não dispensando as devidas ponderações dos técnicos atuantes no setor.

A alternativa B apesar de 20,95% mais cara apresenta-se como opção para o produtor rural obter o animal em condições de abate com o menor tempo.

Ao custo da alimentação deve ser agregado os custos de manipulação, transporte até a propriedade, além dos custos operacionais, administrativos e financeiros.

Pode-se a partir destes resultados obtidos, desenvolver um novo modelo onde se objetive a maximização do lucro nas diversas alternativas.

A difusão e uso da programação linear na agropecuária não deve estar dissociada da interação do produtor com o técnico, já que quaisquer variações quali-quantitativas nas matérias primas e nos preços do insumo - produto podem alterar os resultados do processo produtivo.

SANTOS, Arlélio dos Santos, PERINA, Ricardo de Assis.Linear programming applied to feeding the bovines with minimal cost formulation in the region of Araçatuba. **Economia & Pesquisa,** Araçatuba, v.1, n.1, p.79-97, mar. 1999.

**Abstract:** The objective of this paper is the demonstrate that the cattle raiser supported buy technicians and economicsts is able to minimize his costs through a detailed and meticulous research about nutricional levels and the prices of several inputs utilized on feeding the bovines. This article concludes that in between crops of 1998 for the region of Araçatuba the best option for feeding would be the combining of the dense hydrolyzed bagasse and desintegrated sugarcane together with a supplementation composed by salt, bicalcium phosphate, urea, citric pran and mineral mixtures. The cost related to this feeding option was estimated in R$ 6,28 every net fifteen kilos of produced beef. To optimize the usage of resources within the lowest cost it was used the linear programming technics through the specialized software ORSYS.

**Keywords:** Conditional optimization; mathematics models; linear programming; feeding formulation.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


AZEVEDO FILHO, A.J.B.V., NEVES, E.M. O uso de programação matemática na análise de investimentos na pecuária de corte: Técnicas intensivas vs. Mercados de Capitais In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE PESQUISA OPERACIONAL, 1,1982, Rio de Janeiro. **Anais**... Rio de Janeiro, 1982

CAIXETA FILHO, J.V. **Pesquisa operacional aplicada ao sistema agro-industrial**. Piracicaba: ESALQ/USP. 1997.

CONTINI, E. et al. **Planejamento da propriedade agrícola:** modelos de decisão. Brasília: EMBRAPA, 1984.

FERREIRA, N.M. **Otimização econômica em confinamento de bovinos de corte.** Piracicaba : ESALQ/USP, 1993.

ROSA, D. Programação linear na gestão da propriedade rural: Um enfoque alternativo. **Teoria e Evidência Econômica, v.**2, n. 4, nov. 1994.

TOLEDO, P.E. MONTICELLI, C.J.. Estimativa do custo privado da recuperação de matas ciliares através da programação linear. **Informações Econômicas IEA**, São Paulo, v.1, n.12, dez. 1971.