

MINIMIZAÇÃO DE CUSTOS NA PRODUÇÃO DE RAÇÃO DE SUÍNOS

Ailton Douglas Porfirio Marques

Graduando em Engenharia de Produção,
Faculdades Integradas de Três Lagoas FITL/AEMS

Danrley Pereira da Silva

Graduando em Engenharia de Produção,
Faculdades Integradas de Três Lagoas FITL/AEMS

Natalia Michelin

Bióloga; Mestre em Engenharia Civil – UNESP;
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

Paulo Vitor Pereira

Físico – UNESP; Mestre em Matemática – UFMS;
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

RESUMO

O presente artigo tem como objetivo demonstrar como a programação linear (PL), em conjunto com o programa LINDO, podem ser empregados na área da Engenharia de Produção, como ferramentas de apoio à tomada de decisões que visem à otimização dos processos. O artigo foi estruturado de forma a apresentar conceitos de logística, de Pesquisa Operacional e de PL como um modelo de apoio à decisão. A seguir, é demonstrada a utilização da ferramenta computacional do programa LINDO para solução dos problemas que envolvam a minimização dos custos. O estudo feito tem como base a teoria de que é possível construir modelos eficazes que possibilitem auxiliar na tomada de decisão, através de restrições e condições que reproduzam a realidade da empresa – no caso deste estudo, trata-se da escolha de quais ingredientes e quais quantidades colocar na formulação da ração de suínos, na fazenda córrego azul mantendo e seguindo à risca as exigências nutricionais com finalidade de minimizar custos. As principais contribuições deste artigo estão ligadas ao uso adequado deste recurso computacional. Hoje, as empresas buscam maior competitividade, maior desenvolvimento tecnológico, maior oferta de produtos e serviços adequados à expectativa do cliente e maior desenvolvimento e motivação do capital intelectual. Para superar esses desafios, as empresas buscam reduzir os custos de uma forma isolada. (Eliminação de posições, controle de ligações e outras práticas conhecidas).

PALAVRAS CHAVE: pesquisa operacional; Fazenda Córrego azul; minimização de custos.

1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais as empresas têm concentrado seus estudos e esforços, para uma área comum à engenharia de produção: a pesquisa operacional, que tem como intuito a maximização de lucro ou minimização de custos. A fazenda Córrego Azul está localizada na cidade de Brasilândia, MS, pertencente ao Grupo Hofig que possui como presidente o empresário Helder Hofig, é responsável por

aproximadamente 30% da movimentação econômica da cidade, foi fundada em 1951, tendo ênfase na pecuária. Em 1994, o grupo Hofig passou a investir também na suinocultura sendo a maior produtora de suínos do Mato Grosso do Sul.

A empresa possui como missão, buscar a excelência do agronegócio com o foco na rentabilidade patrimonial e assim atender as expectativas dos acionistas, clientes, colaboradores e demais partes interessadas. A visão para 2018, dos administradores da empresa é: Estar entre as empresas agropecuária mais lucrativas, aumentando a produtividade e lucratividade em 3,5% ao ano, possuir um modelo de gestão conduzido dentro dos preceitos da qualidade total (HOFIG, 2012).

Além da fazenda ser forte produtora de bovinos e suínos, implantou em sua área em 1962 a agricultura, cultivando cerca de 2.760 hectares de soja e milho, onde cerca de 19.000 sacas de soja e 60.400 sacas de milho são vendidas, e o restante de sua produção é utilizado para produção da ração, para a criação dos animais de abate (HOFIG, 2012).

Na fazenda Córrego Azul, esse é um setor a ser explorado, levando em consideração que a mesma executa várias atividades produtivas, como a produção de ração para a criação dos suínos, esse setor sendo explorado, estudado e aplicado com métodos de pesquisa operacional, com enfoque em programação linear e aplicação no software LINDO (*Software for Integer Programming Linear*), poderá ser uma ferramenta para reduzir os custos, e conseqüentemente maximizar os lucros da empresa.

O problema proposto, é realizar o levantamento de dados, correspondentes a produção de ração, fazer uma análise minuciosa dos dados tornando o mesmo em informação, afim de minimizar os custos da produção de ração dos suínos, possibilitando a empresa um maior lucro em suas atividades.

1.1 Programação Matemática

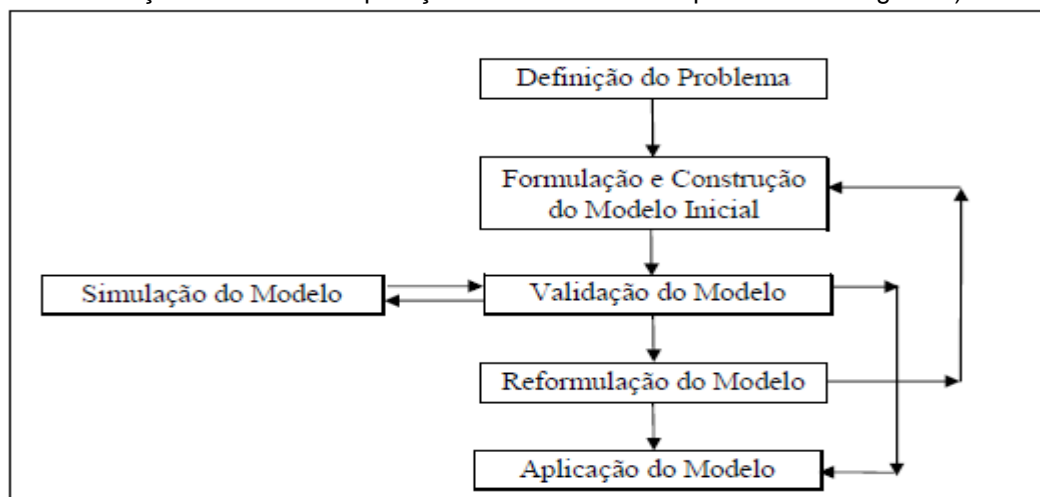
A programação matemática é parte da pesquisa operacional que aborda de artifícios de otimização (minimização ou maximização) de uma função objetivo com um número finito de variáveis de decisão sujeita a certas restrições. Estas restrições podem ser de linhagem financeira, tecnológica, marketing, organizacional ou outras.

De caráter total, programação matemática pode ser definida como uma representação matemática dedicada à programação ou planejamento da melhor possibilidade de alocação de recursos escassos (BRADLEY; HAX; MAGNANTY,

1977 apud BARBOSA, 2005). A programação matemática utiliza técnicas e algoritmos para solucionar problemas modelados matematicamente.

Segundo Magatão (2001), a construção de modelos determina a inclusão de parâmetros e constantes que serão responsáveis pela definição e dimensionamento das relações entre as variáveis a serem incluídas. Na validação do modelo é verificado se este está retratando o problema real. Nesta fase são efetuados testes com o modelo. Se este não estiver condizente com a realidade, as distorções são corrigidas na fase de reformulação e volta-se para as fases de testes e validação. Quando o modelo se mostra satisfatório, então se passa à última fase que é a de aplicação do modelo. A Figura 1 apresenta o processo de construção do modelo.

Figura 1. Processo de construção do modelo. (Definição do Problema; formulação e construção do modelo inicial; Simulação do modelo; validação do modelo; Reformulação do modelo e Aplicação do modelo São etapas a serem seguidas).



Fonte: Adaptado de GOLDBARG; LUNA, 2000).

1.2 Programação Linear (PL)

Programação Linear (PL) é uma das mais importantes e mais utilizadas técnicas de Pesquisa Operacional. A simplicidade do modelo envolvido e a disponibilidade de uma técnica de solução programável em computador como o método Simplex descrito por Dantzig (1963) facilitam sua aplicação.

Esta técnica é amplamente utilizada, pois possui habilidade para modelar importantes e complexos problemas de decisão e o método Simplex pela capacidade de produzir soluções rapidamente. A descrição do método Simplex pode ser encontrada em Zions (1974).

Um problema de PL é composto por: (1) uma função linear formada com as variáveis de decisão chamada de Função Objetivo, cujo valor deve ser otimizado; (2)

Relações de interdependência entre as variáveis de decisão que se expressam por um conjunto de equações ou inequações lineares, chamadas de restrições do modelo e (3) Variáveis de decisão que devem ser positivas ou nulas.

2 OBJETIVOS

O objetivo do presente artigo visa fazer uma análise sistemática e criteriosa com o uso da pesquisa operacional e aplicações no software LINDO, com intuito de obter alguma melhoria que possa ser lucrativa para a empresa, desenvolvendo um problema matemático que poderá ser equacionado pela empresa sempre que aconteçam alterações nas variáveis.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Ferramentas Computacionais para Problemas de Otimização

Existem vários aplicativos computacionais desenvolvidos para a resolução de problemas de busca e otimização, incorporando diversas técnicas. O progresso na solução destes tipos de problemas tem sido impulsionado pelos avanços obtidos na PL. Os aplicativos que resolvem problemas de PL utilizam o método Simplex e/ou o método de busca por ponto interior. Já para problemas de programação linear inteira (PLI) e programação linear mista (PLIM). A maior parte dos aplicativos utiliza o método *branch and bound*.

Segundo Pinto (2000), a limitação para a maioria dos aplicativos comerciais existentes é com relação à memória da máquina e o elevado tempo computacional.

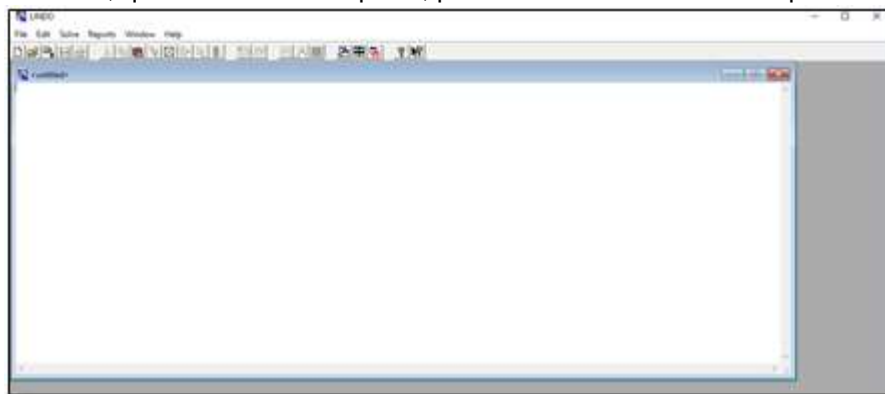
Várias alternativas vêm sendo testadas para contornar este problema tais como o uso de máquinas mais avançadas e o processamento paralelo em que vários computadores trabalham simultaneamente e alimentam um computador nomeado como principal, cuja tarefa é compilar todas as informações.

No caso específico, o software usado foi o como já citado no início do trabalho é o LINDO. A Figura 2 mostra a imagem da interface do software que na teoria é um software complexo, mas sua interface é bem simples.

Os programas de resolução de programação lineares, não-lineares, inteiros, estocásticos e globais da LINDO TM têm sido utilizados por milhares de empresas em todo o mundo para maximizar os lucros e minimizar custos em decisões envolvendo planejamento de produção, transporte, finanças, alocação de carteira, orçamento de

capital, mistura, agendamento, inventário, Alocação e muito mais. Lindo System (2016).

Figura 2. Interface de programação do LINDO. Imagem da interface do software, que na teoria é complexo, porém com interface bem simples.



Fonte: Extraído de <<http://www.lindo.com/>>.

4 RESULTADOS

4.1 Descrição do Problema

Foi realizada uma pesquisa de campo junto a fazenda Córrego Azul, na qual foi obtido e disponibilizados os dados dos ingredientes, quantidade, custos unitários e totais consumidos na ração de suínos durante o período de junho a setembro do ano de 2015 com o objetivo de levantar dados para o equacionamento de custos e calcular por meio de software uma minimização dos mesmos. A Tabela 1 apresenta os dados obtidos referentes ao consumo de ingredientes, de junho a setembro de 2015.

Tabela 1. Consumo de ingredientes de junho a setembro de 2015. Estão ilustrados nas colunas em ordem respectiva, os ingredientes, a quantidade utilizada em kg, preço unitário e preço total.

Ingredientes	Utilizado/kg	Preço unitário	Preço total
Milho	70635,13	R\$ 0,62	R\$ 43.793,78
Farelo de soja	44010,68	R\$ 1,21	R\$ 53.252,92
Farinha de carne e osso	6903,64	R\$ 1,05	R\$ 7.248,82
Sorgo de baixo tanino	86250	R\$ 0,46	R\$ 39.675,00
Casca de soja	10786,93	R\$ 0,66	R\$ 7.119,37
Metionina	103,55	R\$ 12,07	R\$ 1.249,85
Treonina	207,11	R\$ 6,88	R\$ 1.424,92
Sal	1078,69	R\$ 0,11	R\$ 118,66
Calcário	388,33	R\$ 0,08	R\$ 31,07
Total	220364,06	R\$ 0,70	R\$ 153.914,39

Fonte: Elaborado pelos autores.

Com os dados de consumo disponibilizados pela fazenda a próxima fase teve em fazer um levantamento por meio de pesquisa em fontes confiáveis para se saber das exigências nutricionais na criação de suínos mais especificamente suínos marras de criação.

Segundo Rostagno et al. (2005), as exigências para os porcos marras de criação, são equacionadas de acordo com a Tabela 2, sempre considerando que o valor pode sofrer alterações com mudanças climáticas bruscas, ou até mesmo durante o período de gestação ou lactação.

Tabela 2. Exigências na fase de crescimento. Primeira coluna: 8 principais nutrientes que o suíno necessita; segunda coluna: respectivos valores.

Nutrientes	Exigências (%)
Energia Metabolizável Kcal/kg	3.230
Proteína (%)	15,43
Lisina Digestível (%)	0,829
Metionina+Cristina Digestível (%)	0,497
Treonina Digestível (%)	0,539
Cálcio (%)	0,551
Fósforo (%)	0,459
Sódio (%)	0,17

Fonte: Elaborado pelos autores.

Com os dados dos ingredientes disponíveis e as exigências nutricionais dos suínos, a próxima etapa teve como intuito levantar os dados da composição de cada ingrediente incluso na ração. Segundo Rostagno et al. (2005), a composição dos ingredientes que foram utilizados na ração está descrita na Tabela 3.

Tabela 3. Composição química dos ingredientes disponíveis. Primeira coluna: ingredientes utilizados na produção da ração; demais colunas: porcentagem de cada nutriente presente nesses ingredientes.

Ingredientes	EM Kcal/KG ¹	PB% ²	LIS.DIG% ³	Met+CrisDg% ⁴	Treo .Dg% ⁵	Ca%	P%	Na%
Milho	3.340	8,26	0,19	0,32	0,26	0,03	0,24	
Farelo de soja	3.154	45,32	2,53	1,16	1,55	0,24	0,53	
Farinha de carne e osso	3.000	21,00	1,2	1,0018	0,8192	0,96	0,7117	0,402
Sorgo de baixo tanino	3.289	9,23	0,16	0,17	0,25	0,03	0,25	0,02
Casca de soja	2.245	13,50	0,53	0,26	0,31	0,49	0,14	0,05

¹ EM Kcal/KG (Energia metabolizada quilo calorías por quilo).

² PB% (Porcentagem de Proteína Bruta).

³ LIS.DIG (Lisina Digestível).

⁴ Met + Crist Dg (Metionina mais Cristina digestível).

⁵ Treo.Dg (Treonina digestível).

Continuação da Tabela 3.								
Metionina	5.475	59,32		99				
Treonina	3.802	78,39			98			
Sal								39,7
Calcário						38,4		

Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2 Construção do Modelo

Com os dados obtidos, pesquisas realizadas e conhecimentos adquiridos em pesquisa operacional foi possível a elaboração de um modelo de minimização de custos, com a função objetivo e equações de restrição que serão descritas a seguir.

Foi definido X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8 e X9 como variáveis de decisão, representando respectivamente os ingredientes: quantidade de milho, farelo de soja, farinha de carne de osso, sorgo de baixo tanino, casca de soja, metionina, treonina, sal e calcário a ser colocada na ração de maneira que reduza os custos.

Com isso, a função objetivo do problema fica da seguinte forma, o preço unitário de cada ingrediente multiplicado pela sua variável de decisão.

$$\text{MIN } 0.62X1 + 1.2X2 + 1.05X3 + 0.46X4 + 0.66X5 + 12.07X6 + 6.88X7 + 0.11X8 + 0.08X9$$

As restrições por sua vez serão descritas em ordem respectiva à restrição de energia metabolizável (EM), proteína bruta, lisina digestível, metionina + cistina digestível, treonina digestível, cálcio, fósforo, sódio.

Restrição 1 (de EM): nessa restrição está multiplicada a quantidade de EM em cada ingrediente pela variável de decisão correspondente e a soma de todos tem que ser maior ou igual a 3230 que é a exigência de EM para as marrãs de suínos reparam que nessa restrição não temos X8 e X9 pois calcário é sal e não possuem EM.

$$3340X1 + 3154X2 + 3000X3 + 3289X4 + 2245X5 + 5475X6 + 3802X7 \geq 3230$$

Restrição 2 (de proteína bruta): nessa restrição está multiplicada a porcentagem de PB em cada ingrediente pela variável de decisão correspondente e a soma de todos tem que ser maior ou igual a 15.43% que é a exigência de PB para as marrãs de suínos, nessa restrição também não possui X8 e X9.

$$8.26X1 + 45.32X2 + 21X3 + 9.23X4 + 13.5X5 + 59.32X6 + 78.39X7 \geq 15.43$$

Restrição 3 (de lisina digestível): nessa restrição está multiplicada a porcentagem de LD em cada ingrediente pela variável de decisão correspondente e a soma de todos tem que ser maior ou igual a 0.829% que é a exigência de LD para as marrãs de suínos, nessa restrição não possui X6, X7, X8 e X9.

$$0.19X1 + 2.53X2 + 1.2X3 + 0.16X4 + 0.53X5 \geq 0.829$$

Restrição 4 (de metionina mais cistina digestível): nessa restrição está multiplicada a porcentagem de MCD em cada ingrediente pela variável de decisão correspondente e a soma de todos tem que ser maior ou igual a 0.497% que é a exigência de MCD para as marrãs de suínos, nessa restrição não possui X7, X8 e X9.

$$0.32X1 + 1.16X2 + 1.0018X3 + 0.17X4 + 0.26X5 + 99X6 \geq 0.497$$

Restrição 5 (de treonina digestível): nessa restrição está multiplicada a porcentagem de TD em cada ingrediente pela variável de decisão correspondente e a soma de todos tem que ser maior ou igual a 0.539% que é a exigência de TD para as marrãs de suínos, nessa restrição não possui X6, X8 e X9.

$$0.26X1 + 1.55X2 + 0.82X3 + 0.25X4 + 0.31X5 + 98X7 \geq 0.539$$

Restrição 6 (de cálcio): nessa restrição está multiplicada a porcentagem de C em cada ingrediente pela variável de decisão correspondente e a soma de todos tem que ser maior ou igual a 0.551% que é a exigência de C para as marrãs de suínos, nessa restrição não possui X6, X7 e X8.

$$0.03X1 + 0.24X2 + 0.96X3 + 0.03X4 + 0.49X5 + 38.4X9 = 0.551$$

Restrição 7 (de fósforo): nessa restrição está multiplicada a porcentagem de Fósforo em cada ingrediente pela variável de decisão correspondente e a soma de todos tem que ser maior ou igual a 0.551% que é a exigência de Fósforo para as marrãs de suínos, nessa restrição não possui X6, X7, X8 e X9.

$$0.24X1 + 0.53X2 + 0.72X3 + 0.25X4 + 0.14X5 \geq 0.459$$

Restrição 8 (de sódio): nessa restrição está multiplicada a porcentagem de Sódio em cada ingrediente pela variável de decisão correspondente e a soma de

todos tem que ser maior ou igual a 0.17% que é a exigência de Sódio para as marrãs de suínos, nessa restrição não possui X1, X2, X6, X7 e X9.

$$0.402X3 + 0.02X4 + 0.05X5 + 39.7X8 \geq 0.17$$

4.3 Validação e Aprovação do Modelo

Com toda a modelação do problema já feita, a etapa subsequente é a etapa de validação, onde problema de programação linear, é inserido de maneira correta no software LINDO, conforme representado na Figura 3.

Figura 3. Inserção do problema no software. Primeira linha do código: função objetivo; segunda linha do código: comando de iniciar o processamento e nas demais: restrições já citadas e o comando final de encerrar o algoritmo.

```

LINDO
File Edit Solve Reports Window Help
<untitled>
MIN 0.62X1 + 1.2X2 + 1.05X3 + 0.46X4 + 0.66X5 + 12.07X6 + 6.88X7 + 0.11X8 + 0.08X9
SUBJECT TO
3340X1 + 3154X2 + 3000X3 + 3289X4 + 2245X5 + 5475X6 + 3802X7 >=3230
8.26X1 + 45.32X2 + 21X3 + 9.23X4 + 13.5X5 + 59.32X6 + 78.39X7 >=15.43
0.19X1 + 2.53X2 + 1.2X3 + 0.16X4 + 0.53X5 >=0.829
0.32X1 + 1.16X2 + 1.0018X3 + 0.17X4 + 0.26X5 + 99X6 >=0.497
0.26X1 + 1.55X2 + 0.82X3 + 0.25X4 + 0.31X5 + 98X7 >=0.539
0.03X1 + 0.24X2 + 0.96X3 + 0.03X4 + 0.49X5 + 38.4X9 =0.551
0.24X1 + 0.53X2 + 0.72X3 + 0.25X4 + 0.14X5 >=0.459
0.402X3 + 0.02X4 + 0.05X5 + 39.7X8 >=0.17
END
    
```

Fonte: Elaborado pelos autores.

Após a compilação do problema de programação linear, os resultados obtidos estão representados na Figura 4. Os resultados obtidos apontam para uma minimização de custos de 77%, por quilograma de ração produzida. Isto significa uma redução do custo da ração de R\$ 0,7 para R\$ 0,16, por quilograma. O cálculo do programa observou que não é vantajoso produzir X1, X5, X6 e X7 que são respectivamente milho, casaca de soja, metionina e treonina gerando uma redução de custos ao retirar esses ingredientes da formação de 18,75%. Foi obtido também que deve ser produzida a ração com a quantidade aproximada de 12% de X2 (farelo de soja), 36% de X3 (farinha de carne de osso), 53% X4 (sorgo de baixo tanino), 0,0034% de X8 (sal) e 0,041% de X9 (calcário).

A cada trimestre, a produção de ração da fazenda é 220 mil quilogramas, e isso resulta em uma minimização de custo de R\$ 35.200,00 no correspondente período.

Figura 4. Relatório dos resultados obtidos. O resultado da função objetivo geral foi uma redução de 77% no custo do quilo da ração, e as quantidades a ser produzida de cada ingrediente estão descritas.

```

LINDO
File Edit Solve Reports Window Help
LP OPTIMUM FOUND AT STEP 10
OBJECTIVE FUNCTION VALUE
1) 0.7729754
VARIABLE VALUE REDUCED COST
X1 0.000000 0.157952
X2 0.122229 0.000000
X3 0.361826 0.000000
X4 0.534817 0.000000
X5 0.000000 0.276363
X6 0.000000 11.696815
X7 0.000000 6.620850
X8 0.000349 0.000000
X9 0.004122 0.000000
ROW SLACK OR SURPLUS DUAL PRICES
2) 0.000000 -0.000068
3) 2.644104 0.000000
4) 0.000000 -0.221306
5) 0.098181 0.000000
6) 0.080856 0.000000
7) 0.000000 -0.002083
8) 0.000000 -0.801158
9) 0.000000 -0.002771
NO. ITERATIONS= 10
    
```

Fonte: Elaborado pelos autores.

5 CONCLUSÕES

A programação linear ao lado das técnicas de pesquisa operacional consente encontrar a solução ótima, considerando todas as restrições impostas no modelo adotado. Assim, o resultado ótimo esperado é possível acontecer, visto que os vários cenários que foram analisados têm o objetivo de definir a política de ação da organização.

Conforme o desenvolvimento do trabalho, podemos ver que o método de programação linear pode ser aplicado facilmente, com as condições exigidas pela empresa, sejam elas, maximizar ou minimizar, ressaltando que o modelo proposto pela Programação Linear é uma assistência e que outras considerações devem ser analisadas, auxílio nas decisões que serão tomadas, executadas, reforçadas e até desafiadas e que estratégias de programação linear devem ser utilizadas para melhorar o alinhamento com o mercado, e melhoras no setor produtivo.

REFERÊNCIAS

BARBOZA, Angela Olandoski. Simulação e Técnicas da Computação Evolucionária Aplicadas a Problemas de Programação Linear Inteira. 2005. 236 f. Tese (Doutorado) - Curso de Dr. Ciências, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

DANTZIG, G. B. Extensões de Programação Linear. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, United States of America, 1963.

HÖFIG, Helder. Experiência da Agropecuária AH na gestão de pessoas. Brasilândia/MS: Grupo Hofig, 2012. 24 slides, color. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/BeefPoint/palestra-helder-hfig-experencia-da-agropecuria-ah-na-gesto-de-pessoas>>. Acesso em: 10 set. 2016.

LINDO SYSTEMS. Valores da Lindo Systems. Disponível em: <<http://www.lindo.com/>>. Acesso em: 12 out. 2016.

MAGATÃO, L. Programação Matemática Aplicada à Otimização das Operações de um Poliduto. Dissertação de Mestrado. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, Brasil, 2001.

PINTO, J. M. Planejamento e Programação de Operações de Produção e Distribuição em Refinarias de Petróleo. Tese para a obtenção do título de Livre Docente. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ROSTAGNO, Horácio Santiago et al (Ed.). Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: Composição de alimentos e exigências nutricionais. 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 186 p.

ZIONTS, S. Programação Linear e Inteira. Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, United States of America, 1974.