

Modelo de programação inteira para a otimização da produção de carne de novilhos em rebanhos de corte: um estudo de caso

An integer linear programming model for optimizing the production of beef from calves raised in beef cattle herds: a case study

André Andrade Longaray

Doutor em Engenharia de Produção, Professor da Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Líder do Laboratório de Estudos e Pesquisas em Metodologias de Sistemas de Apoio à Decisão – LabSADi–FURG.
Rio Grande, RS [Brasil]
longaray@yahoo.com.br

Thiago Pinto Damas

Engenheiro de Computação, Administrador de Empresas, Pesquisador do Laboratório de Estudos e Pesquisas em Metodologias de Sistemas de Apoio à Decisão – LabSADi–FURG.
Rio Grande, RS [Brasil]
tdamas@gmail.com

Resumo

Este artigo descreve as etapas da elaboração de um modelo de programação inteira para a otimização da produção de carne bovina de animais do tipo novilho jovem para a pecuária de corte de uma propriedade rural familiar, localizada na região sul do Rio Grande do Sul. O problema balizador da pesquisa se relaciona à determinação da produção ótima de carne oriunda da pecuária de corte extensiva, levando em consideração as restrições de área de campo disponível, lotação de gado por hectare e a raça dos animais a serem criados. Para tanto, procedeu-se a formulação de um modelo que contemplasse todas as restrições identificadas, para um ciclo produtivo de quatro anos, com a discriminação da quantidade de terneiros comprados, bem como o seu peso de venda. Com o modelo proposto, determinou-se a melhor utilização possível para a área total disponível e o ganho médio mensal por faixa etária de novilhos.

Palavras-chave: LP SOLVE. Pecuária. Programação inteira.

Abstract

This paper presents the steps for building an integer programming model for optimizing the production of beef from calves raised in a family farm located in the southern region of Rio Grande do Sul. The guiding principle of the research was related to determining the optimal production of meat derived from intensive raising of beef cattle, taking into account the constraints of available field size, the level of cattle stocking per hectare, and the breed of the animal to be raised. We proceeded to formulate a model that encompassed all identified constraints for a production cycle of four years, breaking down the number of calves purchased as well as their sales weight. Using the proposed model, it was possible to determine the best use of the total field area available and the average monthly earnings by calf age group.

Key words: Breeding. LP SOLVE. Integer programming.

res contínuos, ficando condicionada a assumir valores discretos. Normalmente, isso implica maior complexidade computacional do que a oriunda de situações de não linearidade de funções.

De acordo com Bondy e Murty (1976), os problemas de programação linear inteira podem ser divididos em duas classes: programas inteiros puros, nos quais todas as variáveis de decisão no problema estão restritas a assumir somente valores inteiros, e programas inteiros mixados, nos quais há algumas variáveis de decisão contínua e algumas de decisão inteira. Em cada uma dessas classes, existem duas subclasses: programas inteiros, nos quais todas as variáveis de decisão inteira estão restritas a serem 0 ou 1; problemas gerais de variáveis de decisão inteira não negativa.

A potencialidade do uso dos modelos de programação inteira origina-se no fato de muitos problemas práticos, atividades e recursos, como máquinas, navios e operadores, serem indivisíveis. Algumas resoluções requerem a determinação das decisões sim-não, que podem ser consideradas como os valores 0-1 de variáveis inteiras, assim, restritas. Além disso, a maioria dos problemas de otimização de natureza combinatória podem ser formulados como programas inteiros.

No âmbito do segmento agrícola e pecuário, objeto de estudo nesta pesquisa, os modelos de programação linear inteira têm sido utilizados para a resolução de um número considerável de problemas do setor (ARBOITTE, 2010; BRITO et al., 2004; LEMOS; MORAES, 2012; RAMOS, 2005; SANTINI et al., 2006; TATUM et al., 1988;).

3 Procedimentos metodológicos

Este trabalho possui caráter exploratório, à medida que se procura identificar e sistematizar aspectos em um determinado contexto, a fim de

melhor entender-se o objeto de pesquisa. No caso específico, procurou-se delinear o problema e suas variáveis com o intuito de proceder à elaboração de um modelo de programação inteira para a otimização da produção de carne bovina do tipo novilho jovem de uma propriedade rural.

O método de pesquisa adotado foi a modelagem matemática, realizada mediante visitas a uma propriedade rural, localizada no sul do Estado do Rio Grande do Sul, que possui uma área total de 1500 hectares divididos em três campos, estando em torno de 500 hectares em área de preservação permanente (APP). Administrada pelos proprietários, tem as atividades direcionadas quase exclusivamente à atividade pecuária.

As informações levantadas foram, de modo predominante, quantitativas. Os dados primários foram obtidos por meio de estudo de campo (medições *in loco*); e os secundários, extraídos de fontes bibliográficas (relatórios estatísticos e regulatórios de órgãos governamentais).

O tratamento matemático dos dados viabilizou a construção do modelo de programação linear inteira, composto da função objetivo para a maximização do uso produtivo da área dos campos e da elaboração de suas restrições.

4 Modelo proposto

Esta seção discorre sobre o modelo de programação linear proposto para a resolução do problema de pesquisa. Nesse sentido, apresenta-se, na sequência, a descrição do processo de formulação do problema, de execução do algoritmo, de análise de resultados e de sensibilidade.

4.1 Formulação do problema

O problema balizador da pesquisa se relaciona à determinação da produção ótima de carne de novilho jovem oriunda da pecuária de corte exten-

siva em uma pequena propriedade rural, localizada na cidade do Rio Grande, sul do estado do Rio Grande do Sul, levando em consideração as restrições de área de campo disponível, lotação de gado por hectare e a raça dos animais a serem criados.

A pecuária pode ser entendida como extensiva quando o animal é criado solto no pasto, não havendo qualquer tipo de confinamento.

Embora a propriedade possua 1498,09 ha (hectare) de área em sua totalidade, uma significativa parcela não pode ser utilizada por restrições ambientais. Especificamente, 367,35 hectares estão localizados em Área de Preservação Permanente (APP). Tem-se, então, 1130,74 hectares de área útil, divididos em três campos: o campo de Caiúba (412,03 ha), o de Albardão (344,42 ha) e o de Figueira (374,29 ha).

Outra condicionante diz respeito ao número de animais que podem ocupar um hectare de campo na atividade de engorda para corte. O cálculo de lotação leva em conta o índice de lotação, o peso metabólico e o fator de conversão animal. Esses dados são estabelecidos pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) (Instrução Normativa nº 11, de 4 de abril de 2003), que ainda os classifica segundo regiões de zonas pecuárias. A propriedade em estudo se enquadra na Zona 3.

Deve-se, ainda, levar em conta a raça de gado a ser criada na propriedade. Fatores como eficiência e melhoramento genético são preponderantes no procedimento da escolha. No estudo em questão, por decisão comercial e de mercado dos proprietários da área, o gado é da raça Aberdeen Angus.

No que tange a criação de novilhos jovens, estes animais estão prontos para o abate ao completar por volta de 24-30 meses de vida ou atingirem o peso de 450 kg. Para fins de comparação, normalmente o bovino chegaria a este peso, que também é o equivalente a uma unidade animal,

por volta dos quatro anos de idade. Desta forma, é esperado um maior giro de capital para o criador, além de carnes mais nobres e macias.

Com base no exposto, é necessária a formulação de um modelo com o objetivo de melhorar ao máximo a produção de carne bovina de corte. Especificamente, deve ser criado um modelo que compreenda o ciclo produtivo (quatro anos) e que discrimine a quantidade de terneiros comprados, bem como o seu peso de venda.

Cabe salientar que, em períodos de baixos índices de lotação, poderão ser tomadas duas decisões, se necessário:

- descartar (vender) os animais necessários para a manutenção da meta de engordar os animais; ou
- utilizar rações para continuar a engorda dos animais.

Para o estabelecimento das restrições, no cálculo do regime de engorda com rações, são utilizados os fatores de conversão para unidades de animais, estabelecidos pelo Incra, conforme apresentado na Tabela 1:

Além disso, devem-se levar em consideração os índices de lotação de campo também fornecidos pelo Incra, conforme expõe a Tabela 2:

No que tange ao peso metabólico, o Incra (2003) utiliza a distribuição por regiões geográficas. Por sua vez, a estas são atribuídas estimativas de índices que representam os “pesos médios” dos animais adultos de cada região. Assim, o Incra (2003) determina as seguintes referências para os fatores regionalizados, conforme Tabela 3:

Para o atual trabalho, que trata de uma propriedade localizada na região Sul, o índice metabólico é equivalente a 1,0. Nesse sentido, não há necessidade matemática de inserção desse índice na restrição de área (RAMOS, 2005).

Tabela 1: Fatores de conversão aplicados no estado do Rio Grande do Sul

Fatores de conversão de cabeças do rebanho para unidades animais (UA), segundo a categoria animal

Categoria animal	Fator de conversão
Bovinos	
Touros (reprodutor)	1,39
Vacas com 3 anos e mais	1,00
Bois com 3 anos e mais	1,00
Bois de 2 a menos de 3 anos	0,75
Novilhas de 2 a menos de 3 anos	0,75
Bovinos de 1 a menos de 2 anos	0,50
Bovinos menores de 1 ano	0,31
Novilhos precoces	
Novilhos precoces de 2 anos e mais	1,00
Novilhas precoces de 2 anos e mais	1,00
Novilhos precoces de 1 a menos de 2 anos	0,87
Novilhas precoces de 1 a menos de 2 anos	0,87

Fonte: Incra, 2003.

Tabela 2: Índice de lotação por época do ano aplicados no estado do Rio Grande do Sul

Mês	Índice de lotação (UA/ha)
Janeiro	0,46
Fevereiro	0,44
Março	0,42
Abril	0,40
Mai	0,39
Junho	0,37
Julho	0,35
Agosto	0,33
Setembro	0,36
Outubro	0,38
Novembro	0,41
Dezembro	0,43

Fonte: Incra, 2003.

Tabela 3: Peso metabólico para UA por regiões do país

Peso metabólico para unidades animais por região do país

Região	Peso médio (kg)	Índice de peso metabólico
Centro-Sul	450	1,0
Norte + Mato Grosso	40	0,92
Nordeste	350	0,83

Fonte: Incra, 2003.

Por fim, a avaliação do algoritmo e a área de estudo tem como unidade o quilograma de carne produzida no período (kg/ha/ano).

As características elencadas permitem a formulação de um modelo de programação linear inteira, em que a função objetivo é maximizar o ganho de peso total, levando em consideração o número de cabeças de gado de determinada idade ocupando o campo.

Tem-se, então, o seguinte modelo de programação linear:

Variáveis de decisão:

N_{1i} = número de animais entre um e dois anos, no mês i .

N_{2i} = número de animais com mais anos, no mês i .

Função objetivo:

$$\text{Max}(G) = GMM_1 \cdot \sum N_{1i} + GMM_2 \cdot \sum N_{2i}$$

Em que

GMM_1 = ganho médio mensal para animais de 1 a 2 anos;

GMM_2 = ganho médio mensal para animais com mais de 2 anos;

$\sum N_{1i}$ = somatório do número de animais entre 1 e 2 anos;

$\sum N_{2i}$ = somatório do número de animais com mais de 2 anos;

Durante o período estudado, somente são realizadas compras de animais de um ano de idade, anualmente, iniciando o ciclo no mês de setembro.

No que tange à questão da determinação do ganho de peso médio (GMM), Arboitte (2010) estima como valores de referências para ganho diário de peso da raça Aberdeen Angus, o valor médio de 1,43 kg/dia. Da mesma forma, outros valores de ganho de peso médio entre novilhos de diferentes tipos foram verificados por Tatum

et al. (1988), com valores médios de 0,77; 0,71 e 0,62 kg/dia para biótipo pequeno, médio e grande, respectivamente. Em outro estudo, Santini et al. (2006) se referem a bovinos de biótipo grande, com ganhos de 1,06 kg/dia, em comparação aos de pequeno, com ganhos de 0,89 kg/dia.

Diante disso, nesta pesquisa, toma-se por referência um ganho linear de peso entre os valores iniciais de 240 kg e o valor final de 450 kg divididos pelo espaço de tempo estudado (18 meses), chegando a um valor de 11,67 kg/mês (0,39kg/dia), valores menores, mas condizentes para a criação na forma extensiva, segundo consulta com criadores da região.

As restrições utilizadas são as seguintes:

- a) Limitação mensal do número de cabeças ($N_1 + N_2$) na área A, baseado no fator de conversão para unidades animais (Tabela 1), no índice de lotação do campo (Tabela 2) e na área total do campo, observando-se início do período no mês setembro.

Tem-se, então:

$$\frac{fcN_1}{IL_i} \cdot N_{1i} + \frac{fcN_2}{IL_i} \cdot N_{2i} \leq 1.130,74$$

em que

fcN_1 = fator de conversão para novilhos e novilhas precoces até dois anos.

fcN_2 = fator de conversão para novilhos e novilhas com mais de dois anos.

IL_i = índice de lotação de campo no mês i , sendo $i = 1, \dots, 48$.

N_{1i} = número de animais entre um e dois anos, no mês i .

N_{2i} = número de animais com mais anos, no mês i .

A = Área útil total de campo = 1130,74 m²

- b) Durante o período estudado, somente são realizadas compras de forma anual, iniciando o ciclo no mês de setembro, desse modo, os animais podem ser vendidos (descarte) a qualquer momento para fins de ajuste no número máximo de cabeças em cada período. Tem-se, assim, para cada ano:

$$N_{1(1+i)} \leq N_{1i} \text{ e } N_{2(1+i)} \leq N_{2i}$$

em que

- $i = 1, \dots, 12$, para o primeiro ano; $i = 13, \dots, 24$, para o segundo; $i = 25, \dots, 36$, para o terceiro; e, $i = 37, \dots, 48$, para o quarto.

- c) No caso de mudança de faixa etária, o número de animais com mais de dois anos de um determinado ano não pode ser maior do que o número daqueles entre um e dois anos do ano anterior.

Tem-se:

$$N_{213} \leq N_{112}$$

$$N_{225} \leq N_{124}$$

$$N_{237} \leq N_{136}$$

- d) As variáveis do problema são não negativas e inteiras.

$$N_{1i} \geq 0 \text{ e inteiras; } N_{2i} \geq 0 \text{ e inteiras;}$$

em que

$$i = 1, \dots, 48.$$

4.2 Resolução do algoritmo

Na execução do algoritmo, foi utilizada a ferramenta LP SOLVE (2013), de distribuição livre, recomendada para a resolução de problemas de programação linear inteira mista. Além da pos-

sibilidade da leitura dos algoritmos na linguagem LP, LINGO, MPS, entre outras características, essa ferramenta não possui limites de tamanho dos modelos e também provê suporte para a análise de sensibilidade.

O programa funciona em linha de comando. Foi utilizado o sistema operacional Mac OS X Mountain Lion (10.8), em um processador Core Intel i5 2.5GHz. A versão do LP SOLVE empregada foi a 5.5.

4.3 Análise dos resultados

Com base nos dados oriundos do algoritmo, com tempo de execução do modelo finalizado em 2,6 segundos, foi observado que os resultados não recomendam a permanência no campo de animais com mais de dois anos, priorizando absolutamente aqueles com idade entre um e dois anos. Ainda, com o valor da função objetivo, calculado em 256787 quilos de carne no período de quatro anos (1), há de se avaliar a eficiência do modelo.

$$\text{Rendimento} = \frac{256787 \text{ kg}}{1.130,74 \text{ ha} \cdot 4 \text{ anos}} = 57 \text{ kg vivo/ha/ano}$$

(1)

O rendimento de 57 kg vivo/ha/ano é considerado satisfatório, visto que a média nacional é de 30 kg/ha/ano de carne (de carcaça fria, com um rendimento médio em torno de 53% carcaça/peso vivo). A Tabela 4 apresenta o cronograma de compras e vendas baseado na resolução do algoritmo.

Analisando-se a Tabela 4 é possível verificar que, na solução ótima encontrada, as compras deverão ocorrer sempre em lotes de 462 animais, ocorrendo o descarte (venda) de nove cabeças de gado em julho; e 25, em agosto (inverno). Em setembro, ocorrerá a venda das 428 cabeças restantes, sendo esta com dois anos recém-completados, e a compra de mais um lote de 462 cabeças de gado de animais com ano. Este comportamento repete-se indefinidamente.

4.4 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade foi procedida com a alimentação dos parâmetros do modelo no *software* LP SOLVE.

Em uma perspectiva conceitual, a adição de uma unidade ao RHS (*right hand size*) de uma restrição que tem folga não afeta a solução ótima de um algoritmo de programação linear. Além disso, qualquer alteração na solução a partir da mudança no RHS observa um comportamento contínuo.

Para a análise de sensibilidade do problema de pesquisa, foram examinados dois aspectos: (1) ganhos médios mensais por faixa etária e (2) área total disponível.

Na primeira das análises, fazendo uso do LP SOLVE, foram obtidos os limites da função objetivo do modelo, conforme a Figura 1:

Objective function limits:			
	From	Till	FromValue
N1	6.09174	1e+30	-1e+30
N2	-1e+30	22.35632	-1e+30

Figura 1: Limites da função objetivo do problema de pesquisa

Observando a Figura 1, verifica-se que os coeficientes de GMM_1 e GMM_2 na função objetivo, mais especificamente os valores de ganho médio mensal de peso, exercem um papel importante na análise. Isso porque, mantendo-se os ganhos médios mensais de animais entre um e dois anos, no valor acima de 6,09 kg/mês, ou os valores de ganhos médios mensais de animais com mais de dois anos abaixo de 22,35 kg/mês, é obtida a mesma resposta do problema (que não se deve confundir com o valor da função objetivo).

Na segunda análise, a da restrição condicionante da área total disponível, o LP SOLVE apresentou os resultados descritos na Figura 2:

Por meio da Figura 2, verifica-se que, sendo R_{142} a restrição referente à área total disponível para o modelo, um incremento de um hectare na



Tabela 4: Cronograma de compras e vendas

Período		Compras		Vendas	
		Animais até 2 anos	Animais com mais de 2 anos	Animais até 2 anos	Animais com mais de 2 anos
1º ciclo	Setembro	462	0	0	0
	Outubro	0	0	0	0
	Novembro	0	0	0	0
	Dezembro	0	0	0	0
	Janeiro	0	0	0	0
	Fevereiro	0	0	0	0
	Março	0	0	0	0
	Abril	0	0	0	0
	Maio	0	0	0	0
	Junho	0	0	0	0
	Julho	0	0	9	0
Agosto	0	0	25	0	
2º ciclo	Setembro	462	0	0	428
	Outubro	0	0	0	0
	Novembro	0	0	0	0
	Dezembro	0	0	0	0
	Janeiro	0	0	0	0
	Fevereiro	0	0	0	0
	Março	0	0	0	0
	Abril	0	0	0	0
	Maio	0	0	0	0
	Junho	0	0	0	0
	Julho	0	0	9	0
Agosto	0	0	25	0	
3º ciclo	Setembro	462	0	0	428
	Outubro	0	0	0	0
	Novembro	0	0	0	0
	Dezembro	0	0	0	0
	Janeiro	0	0	0	0
	Fevereiro	0	0	0	0
	Março	0	0	0	0
	Abril	0	0	0	0
	Maio	0	0	0	0
	Junho	0	0	0	0
	Julho	0	0	9	0
Agosto	0	0	25	0	
4º ciclo	Setembro	462	0	0	428
	Outubro	0	0	0	0
	Novembro	0	0	0	0
	Dezembro	0	0	0	0
	Janeiro	0	0	0	0
	Fevereiro	0	0	0	0
	Março	0	0	0	0
	Abril	0	0	0	0
	Maio	0	0	0	0
	Junho	0	0	0	0
	Julho	0	0	9	0
Agosto	0	0	25	0	

Fonte: Os autores.

área disponível aumenta em 227,42 kg a produção de carne no período de quatro anos, valor este

condizente com o rendimento por hectare detectado anteriormente. O decréscimo também é válido,

Actual values of the constraints:

R142 1130.74

Dual values with from - till limits:

	Dual value	From	Till
R142	227.4213	5.229595e-12	1e+30

Figura 2: Limites da restrição área disponível do modelo

desde que o valor da área disponível fique entre os valores *From* e *Till*.

Conclusivamente, utilizou-se o módulo de análise de sensibilidade do LP SOLVER para determinar em que épocas do ano existem áreas disponíveis, sem uso. Isto pode ser observado pelo valor das variáveis de folga das restrições citadas nos itens (a), (b), (c) e (d) da seção 4.1 deste trabalho, detalhadas conforme Figura 3:

Os valores apresentados na Figura 3 indicam a quantidade em hectares “disponíveis” para uso em determinado período. Como é possível visualizar, existem meses em que as restrições possuem expressiva quantidade de folga, não tendo um grau de utilização de 100% em nenhum dos períodos. É o caso, por exemplo, do quadragésimo segundo mês do programa (R42), em que não estão sendo utilizados 218,829 m² do total de 1130,74 m² de área de campo.

5 Considerações finais

Neste trabalho, teve-se por objetivo descrever as etapas da aplicação de um modelo de programação linear inteira para a otimização da área destinada à criação de animais do tipo novilho jovem para a pecuária de corte de uma propriedade rural familiar localizada na região sul do Rio Grande do Sul.

O problema balizador da pesquisa se relaciona à determinação da produção ótima de carne oriunda da pecuária de corte extensiva, levando

Actual values of the constraints:

R1	0
R2	-76.9614
R3	-144.114
R4	-203.221
R5	-255.646
R6	-218.829
R7	-178.779
R8	-135.05
R9	-87.1089
R10	-34.3182
R11	0
R12	0
R13	0
R14	-76.9614
R15	-144.114
R16	-203.221
R17	-255.646
R18	-218.829
R19	-178.779
R20	-135.05
R21	-87.1089
R22	-34.3182
R23	0
R24	0
R25	0
R26	-76.9614
R27	-144.114
R28	-203.221
R29	-255.646
R30	-218.829
R31	-178.779
R32	-135.05
R33	-87.1089
R34	-34.3182
R35	0
R36	0
R37	0
R38	-76.9614
R39	-144.114
R40	-203.221
R41	-255.646
R42	-218.829
R43	-178.779
R44	-135.05
R45	-87.1089
R46	-34.3182
R47	0
R48	0

Figura 3: Análise das áreas disponíveis por período

em consideração as restrições de área de campo disponível, lotação de gado por hectare e a raça dos animais a serem criados.

Os dados apresentados neste trabalho foram fornecidos pelos órgãos nacionais que realizam pesquisa no setor agropecuário, a citar a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) Pecuária de Corte, Incra – Ministério do Desenvolvimento Agrário e também os obtidos por meio de levantamentos de campo, como medições e rastreamento via Global Positioning System (GPS) da área, já que não há uma totalidade de mapas atualizados da região.

O modelo proposto é somente um entre os inúmeros possíveis, no universo da pesquisa operacional. Dependendo do grau de aprofundamento, novas soluções podem ser apresentadas.

A escolha da ferramenta computacional para tratamento dos dados se deu por processo de adequação ao modelo formulado. A princípio foi utilizado o SOLVER, passando pelo PREMIUM, ambos da *Frontline Systems*, sendo o primeiro fornecido como uma extensão gratuita do Microsoft Excel. Estas duas ferramentas apresentaram limitações devido ao número de variáveis utilizadas, alta utilização de recursos e problemas na visualização da análise de sensibilidade. Posteriormente, foram analisados outros *softwares*, com mais recursos, culminando na escolha do LP SOLVE.

A preferência do algoritmo no modelo em utilizar somente animais com menos de dois anos pode ser explicada pelo fator de conversão menor para esta categoria (em relação a bois com mais de dois anos); talvez, com a utilização de fatores de conversão mais específicos para cada faixa etária bovina, agrupados por mês de idade, acompanhados por ganhos mensais médios estimados de outra forma, os resultados sejam diferentes.

O ganho de peso mensal, no modelo apresentado como uma constante, também pode sofrer variações conforme a idade do bovino, mas estes dados não são facilmente encontrados pelo fato das inúmeras características e da dinâmica presentes na situação em estudo.

Em virtude da quantidade significativa de variáveis envolvidas, a análise de sensibilidade foi focada nos quesitos tamanho da área disponível e ganhos médios de quilos/mês, em função da faixa etária.

Por fim, o rendimento encontrado na resolução do algoritmo foi condizente com o cenário brasileiro. Mas cabe salientar que, mesmo com os campos de qualidade inferior na região (em comparação com outros tipos de vegetação), o resultado foi considerado satisfatório.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos avaliadores anônimos pelas importantes contribuições dadas ao trabalho e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela cota de bolsa de pesquisa.

Referências

- ARBOITTE, M. Z. *Biótipos de novilhos superjovens aberdeen angus abatidos com mesmo grau de acabamento na carcaça*. 2010. 184 f. Tese de doutorado (Programa de Pós-Graduação em Zootecnia)– Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2010.
- BONDY, J. A.; MURTY, U. S. R. *Graph theory with applications*. New York: Elsevier, 1976.
- BRONSON, R. *Pesquisa operacional*. São Paulo: McGraw Hill, 1985.
- BRITO, M. et al. Uma formulação de programação inteira para o problema de criação de áreas de ponderação agregadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 36., 2004. *Anais...* São João del Rey: SBPO, 2004. p. 1662-1672.
- CAIXETA-FILHO, J. V. *Pesquisa operacional: técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2004.
- COLIN, E. C. *Pesquisa operacional: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas*. Rio de Janeiro: LTC, 2007.
- HILLIER, F.; LIEBERMAN, G. *Introdução à pesquisa operacional*. São Paulo: Campus, 2008.

INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. *Instrução Normativa n. 11, de 04 de abril de 2003*. Disponível em: <http://www.incra.gov.br/portal/images/arquivos/IN11_040403.pdf>. Acesso em: maio 2012.

LEMOS, F.; MORAES, L. Planejamento agregado da produção em nutrição de bovinos de corte: uma abordagem através de programação linear inteira mista. *Colloquium Exactarum*, v. 4, n. 2, jul.-ago. 2012, p. 20-30. DOI: 10.5747/ce.2012.v04.n2.e047.

LONGARAY, A. A. *Introdução à pesquisa operacional*. São Paulo: Saraiva, 2013.

LP SOLVE. *Mixed Integer Linear Programming (MILP) Solver*. Disponível em: <<http://lpsolve.sourceforge.net/>>. Acesso em: out. 2013.

MACHADO, L. P. *Pastoreio racional voisin*. Porto Alegre: Expressão Popular, 2010.

RAMOS, P. *Índices de rendimento da agropecuária brasileira*. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário: Nead, 2005.

REHFELDT, M. J. *Uma heurística aplicada a um problema de escalonamento na indústria calçadista*. 2001. 122 p. Dissertação (Mestrado em Administração)– Universidade Federal do Rio Grande Sul, Porto Alegre, 2001.

SANTINI, F. J. et al. Característica productivas, composición de carcasa y calidad de carne de novillos de diferente tamaño estructural alimentados en feedlot con dietas de concentraciones energéticas distintas. *Revista Argentina de Producción Animal*, Balcarce, v. 26, p. 231-244, dez. 2006.

TATUM, J. D. et al. Influence of diet on growth rate and carcass composition of steers differing in frame size and muscle thickness. *Journal of Animal Science*, Illinois, v. 66, p. 1942-1954, 1988.

Recebido em 29 abr. 2013 / aprovado em 11 nov. 2013

Para referenciar este texto

LONGARAY, A. A.; DAMAS, T. P. Modelo de programação inteira para a otimização da produção de carne de novilhos em rebanhos de corte: um estudo de caso. *Exacta – EP*, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 161-171, 2013.

