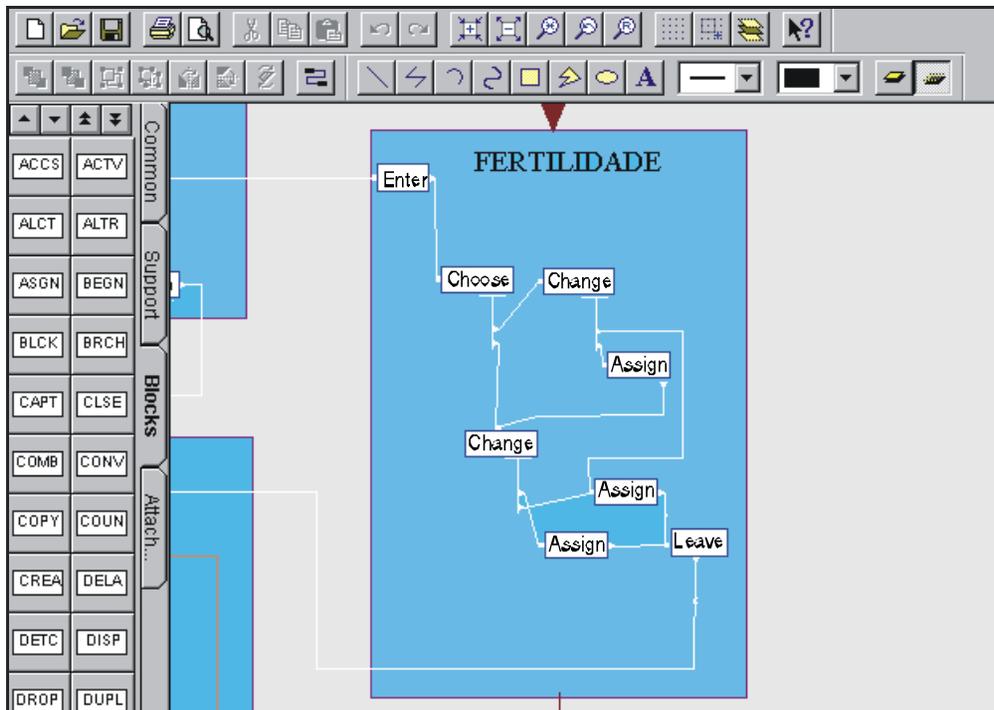


Modelagem e simulação de sistemas de produção animal

Editores Técnicos

Pedro Franklin Barbosa
Airdem Gonçalves de Assis
Miguel Antônio Bueno da Costa



Modelagem e Simulação de Sistemas de Produção Animal

República Federativa do Brasil

Fernando Henrique Cardoso
Presidente

Ministério da Agricultura e do Abastecimento

Marcus Vinícius Pratini de Moraes
Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa

Conselho de Administração
Márcio Fortes de Almeida
Presidente

Alberto Duque Portugal
Vice-Presidente

Dietrich Gerhard Quast

José Honório Accarini

Sérgio Fausto

Urbano Campos Ribeiral

Membros

Diretoria Executiva da Embrapa

Alberto Duque Portugal
Diretor-Presidente

Bonifácio Hideyaki Nakasu

Dante Daniel Giacomelli Scolari

José Roberto Rodrigues Peres

Diretores-Executivos

Embrapa Pecuária Sudeste

Aliomar Gabriel da Silva
Chefe-Geral

Rodolfo Godoy
Chefe-Adjunto de Administração

Edison Beno Pott
Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Rogério Taveira Barbosa
Chefe-Adjunto de Comunicação, Negócios e Apoio

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa de Pecuária do Sudeste
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Modelagem e Simulação de Sistemas de Produção Animal

Editores Técnicos

*Pedro Franklin Barbosa
Airdem Gonçalves de Assis
Miguel Antônio Bueno da Costa*

Embrapa Pecuária Sudeste
São Carlos, SP
2002

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Pecuária Sudeste

Rodovia Washington Luiz, km 234

Caixa Postal 339

Fone: (16) 261-5611

Fax: (16) 261-5754

Home page: www.cppse.embrapa.br

E-mail: sac@cppse.embrapa.br

Supervisor editorial: Pedro Franklin Barbosa

Revisor de texto: Pedro Franklin Barbosa

Tratamento de ilustrações: Maria Cristina Campanelli Brito

Foto(s) da capa: Miguel Antônio Bueno da Costa / Pedro Franklin Barbosa

Editoração eletrônica: Maria Cristina Campanelli Brito

1ª edição

1ª impressão (2002): 250 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Barbosa, Pedro Franklin.

Modelagem e Simulação de Sistemas de Produção Animal.

-- São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2002.

191 p.: il; 22 cm.

CD ROM

ISBN: 85-86764-05-01

1. Produção Animal - Modelagem - Simulação - Sistema. I. Assis,
Airdem Gonçalves de. II. Costa, Miguel Antonio Bueno. III. Título.

CDD: 636

© Embrapa 2002

Autores

Airdem Gonçalves de Assis

Pesquisador, área de Economia e Sistemas
Embrapa Gado de Leite, Rua Eugênio do Nascimento, 610
CEP 36038-330, Juiz de Fora, MG
e-mail: airdem@cnppl.embrapa.br

Flávio Bello Fialho

Pesquisador, área de Economia e Sistemas
Embrapa Suínos e Aves, BR 153, km 110 Vila Tamanduá
Caixa Postal 21, CEP 89700-000, Concórdia, SC
e-mail: flavio@cnpso.embrapa.br

Irenilza de Alencar Naas

Professora, Faculdade de Engenharia Agrícola,
Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP,
Caixa Postal 6011, CEP 13083-970, Campinas, SP
e-mail: irenilza@agr.unicamp.br

Isaías Torres

Aluno de pós-graduação da Universidade Federal de São Carlos /UFSCar
Departamento de Engenharia de Produção
Rodovia Washinton Luiz, km 234
CEP 13560-970, São Carlos, SP
e-mail: mbcosta@power.ufscar.br

Ivo Martins Cezar

Pesquisador, área de Economia e Sistemas
Embrapa Gado de Corte, BR 262 km 4, saída para Aquidauana
Caixa Postal 154/15, CEP 79106-000, Campo Grande, MS
e-mail: ivocezar@cnpqg.embrapa.br

Luiz Henrique Antunes Rodrigues

Professor, Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI
Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP
Caixa Postal 6011, CEP 13083-970, Campinas, SP
e-mail: lique@agr.unicamp.br

Miguel Antônio Bueno da Costa

Professor da Universidade Federal de São Carlos/UFSCar
Departamento de Engenharia de Produção
Rodovia Washinton Luiz, km 234
CEP 13560-970, São Carlos, SP
e-mail: mbcosta@power.ufscar.br

Moisés de Andrade Resende Filho

Professor do Departamento de Análise Econômica
Faculdade de Economia e Administração da Universidade Federal de Juiz de Fora,
Campus Universitário, Martelos, CEP 36033-360, Juiz de Fora, MG
e-mail: marf@fea.ufjf.br

Pedro Franklin Barbosa

Pesquisador, área de Melhoramento Genético Animal
Embrapa Pecuária Sudeste, Rodovia Washington Luiz, km 234,
Caixa Postal 339, CEP 13560-970, São Carlos, SP
e-mail: pedro@cppse.embrapa.br

Rafael Geraldo de Oliveira Alves

Pesquisador, área de Melhoramento Genético Animal
Embrapa Gado de Corte, BR 262 km 4, saída para Aquidauana
Caixa Postal 154/15, CEP 79106-000, Campo Grande, MS
e-mail: rafael@cnpqc.embrapa.br

Zenith João de Arruda

Pesquisador (aposentado), área de Economia e Sistemas
Centro de Informação Agropecuária Ltda
Campo Grande, MS
e-mail: zenith_@uol.com.br

Apresentação

O objetivo deste livro é apresentar as informações disponíveis sobre modelos de simulação como auxílio ao processo de tomada de decisões em sistemas de produção animal.

O livro é o resultado dos trabalhos apresentados e discutidos no Workshop sobre Modelagem e Simulação de Sistemas de Produção Animal: Estado da Arte e Perspectivas realizado na Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP, em junho de 1999, sob a coordenação da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP, da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG, e do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos, SP.

A idéia principal do Workshop foi apresentar os resultados obtidos no Projeto do Programa de Automação Agropecuária 12.1994.010 - Desenvolvimento de modelos para integração e simulação de sistemas de produção de proteína animal. O Projeto, liderado pela Embrapa Pecuária Sudeste, constituiu-se de cinco subprojetos executados no período 1994-1998 por pesquisadores da Embrapa Pecuária Sudeste, Embrapa Gado de Leite, Embrapa Gado de Corte e do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos.

Outro aspecto importante foi a discussão dos resultados obtidos no Projeto com os palestrantes convidados e os participantes do Workshop. Dessa interação surgiram novas idéias sobre linhas de pesquisa prioritárias em modelagem e simulação de sistemas de produção animal.

O livro consta de oito capítulos, organizados de acordo com a espécie animal: gado de leite (capítulos 1 a 3), gado de corte (capítulos 4 a 7) e suínos e aves (capítulo 8). Um resumo sobre zootecnia de precisão também faz parte do livro.

Espera-se que o material apresentado seja útil para estudantes e profissionais que se interessam pelas áreas de modelagem e simulação de sistemas e que possa contribuir para o avanço do conhecimento sobre sistemas de produção animal, no Brasil.

Os Editores

Sumário

Capítulo I

Modelos de simulação como auxílio à tomada de decisões em sistemas de produção de gado de leite 10

Capítulo II

Um modelo de programação linear para planejamento estratégico de uma propriedade leiteira 47

Capítulo III

Modelo de simulação da dinâmica de nutrientes em bovinos leiteiros 68

Capítulo IV

Modelos de simulação como ferramentas de auxílio à tomada de decisões em sistemas de produção de gado de corte..... 97

Capítulo V

Modelo bioeconômico de pecuária de corte 120

Capítulo VI

Modelo de análise econômica da produção de bovinos de corte 131

Capítulo VII

Sistemas de apoio à tomada de decisão aplicados ao confinamento de bovinos de corte 140

Capítulo VIII

Modelagem matemática de suínos e aves 172

Capítulo IX

Zootecnia de precisão..... 191

CAPÍTULO I

MODELOS DE SIMULAÇÃO COMO AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÕES EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE GADO DE LEITE

*Pedro Franklin Barbosa
Airdem Gonçalves de Assis*

1. Introdução

Os modelos de simulação são ferramentas importantes na tomada de decisões pelos segmentos envolvidos na produção de gado de leite, desde antes da porteira até o consumidor de leite e derivados. Vários modelos de simulação foram, e continuam sendo, desenvolvidos em diferentes países e instituições de ensino e de pesquisa e desenvolvimento, com enfoques variados, abrangendo desde aspectos específicos de determinada área do conhecimento científico-tecnológico, até avaliações das eficiências técnica e econômica de modelos de produção (“dentro da porteira”) e de sistemas de produção de leite como um todo (“antes, dentro e fora da porteira”).

A literatura sobre modelos de simulação aplicados à avaliação de sistemas de produção de gado de leite foi revisada, nesta década, por vários pesquisadores, em diferentes ocasiões, com enfoques e objetivos diferentes.

Jalvingh et al. (1990) relataram os trabalhos desenvolvidos no projeto Sistemas-TACT, da Universidade de Agricultura de Wageningen, Holanda, cujo objetivo consiste no desenvolvimento de modelos de simulação técnico-econômicos para auxiliar no planejamento estratégico de fazendas de gado de leite e de granjas de suínos. A revisão concentrou-se na análise e comparação de modelos de simulação, adotando-se vários critérios.

A validação de modelos de simulação aplicados à produção animal, por meio da comparação de dados reais e simulados, baseados em dados de entrada idênticos, ou mesmo por meio de testes de adequação do ajuste dos modelos, geralmente não é realizada. Há várias razões para isso, dentre elas a falta de dados apropriados e suficientes e a falta de consistência da estratégia de manejo durante todo o período de teste, como ressaltado por Sorensen (1990). A validação por meio da avaliação do grau de aceitação dos usuários de diferentes modelos de simulação parece ser uma boa alternativa, como proposto por Enevoldsen e Sorensen (1994).

Uma aplicação de modelos de simulação na avaliação de políticas públicas foi relatada por Richardson et al. (1994). O impacto da rodada Uruguai do Acordo Geral de Comércio e Tarifas (GATT) sobre a produção de leite nos Estados Unidos foi avaliado, por meio de modelos de simulação, concluindo-se que os produtores de leite receberiam menores preços por litro de leite e, ainda, que com preços mais altos dos alimentos, a receita líquida diminuiria em 20 dos 22 modelos de produção de leite estudados. Smith et al. (1997) fizeram análise semelhante. Os resultados foram sumarizados para várias espécies de animais domésticos, incluindo gado de leite.

No Brasil, Assis e Brockington (1995) revisaram os trabalhos apresentados na sessão de economia e sistemas de produção nas reuniões anuais da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Com relação ao desenvolvimento e utilização de modelos de simulação, apenas 6% dos trabalhos apresentados no período de 1985 a 1994 foram classificados como pertencentes ao grupo temático de simulação. Como 32% dos estudos envolveram bovinos de leite, estima-se que somente cerca de 2% dos trabalhos foram direcionados para modelos de simulação de gado de leite.

Quiroz et al. (1995) descreveram a experiência adquirida, com a utilização de modelos de simulação, no delineamento de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento pelo Consórcio para o Desenvolvimento Sustentável da Ecorregião Andina (CONDESAN), sendo um deles sobre gado de leite. O estudo do caso da região sul da Serra do Peru, utilizando todos os modelos, mostrou que a conservação dos recursos naturais não é atrativa se os pequenos produtores tiverem que pagar os custos desse processo e que o investimento governamental é essencial.

Pelo exposto, verifica-se que há várias formas de utilização de modelos de simulação em gado de leite, o que dificulta a adoção de uma classificação única. Para efeito deste trabalho, os modelos de simulação aplicados à avaliação de sistemas de produção de gado de leite foram classificados em dois grandes grupos: 1) sistemas de produção; e 2) áreas de conhecimento. Os modelos de simulação por áreas de conhecimento foram agrupados nos seguintes temas: 1) bioclimatologia e instalações; 2) genética e melhoramento animal; 3) nutrição e alimentação animal; 4) pastagens; 5) reprodução animal; e 6) sanidade animal.

Alguns modelos de simulação podem ter mais de um objetivo ou serem classificados em mais de uma área de conhecimento ou mesmo abordar aspectos relacionados a mais de um tema. Contudo, a classificação adotada na elaboração deste trabalho foi respeitada, evitando-se a duplicação de informações. Em determinadas situações, no entanto, faz-se apenas a menção dos modelos que têm características semelhantes e, por isso, poderiam ser apresentados em ambas as classificações.

O objetivo deste trabalho é organizar as informações disponíveis sobre modelos de simulação como auxílio ao processo de tomada de decisões em sistemas de produção de leite. Para tanto, os modelos de simulação existentes são descritos de maneira resumida. Quando necessário, alguns aspectos de cada modelo são destacados, principalmente quanto às pressuposições e aos limites do universo da simulação. Os principais resultados obtidos com a utilização de cada modelo também são ressaltados.

Espera-se que esta contribuição seja útil para os tomadores de decisão, sejam eles produtores, agentes de assistência técnica, consultores, extensionistas, pesquisadores, professores, formuladores de políticas públicas, agentes financiadores, etc.

2. Modelos de simulação de sistemas de produção de leite

Neste grande grupo são incluídos os modelos de simulação cujos limites abrangem, no mínimo, as atividades relacionadas à produção de leite em uma propriedade, de forma integrada. Os modelos foram classificados de acordo com o objetivo em duas categorias (otimização e avaliação de impactos), como apresentado a seguir, sem levar em consideração a sua dinâmica.

2.1 . Modelos de otimização

Com o objetivo de estudar a otimização entre a produção de leite e a produção de forragens na Coréia, Park (1991) utilizou um modelo de programação linear e concluiu que a lucratividade foi maior nas fazendas que criavam as suas próprias novilhas de reposição do que naquelas que as adquiriam de outros produtores.

Wienk e Zaalmink (1994) descreveram a metodologia aplicada no projeto Sistemas -TACT e deram exemplos de utilização dos modelos de simulação. Os modelos sobre alimentação e pastagens referem-se à produção de leite, produção de forrageiras, consumo de alimentos e os resultados financeiros de fazendas individuais, mas há ligações com situações específicas próprias de cada fazenda. Também é possível acoplar práticas de manejo (alimentação e produção de leite) com práticas de manejo de pastagens (adubação), de modo que cada produtor pode realizar cálculos com referência aos seus métodos e estratégias de manejo, o que dá flexibilidade aos modelos de simulação desenvolvidos no projeto Sistemas -TACT.

Um método para simular custos de produção de leite foi desenvolvido por Salghetti (1995), na Itália, com base em três variáveis principais: produtividade, tamanho do rebanho, e tipo de confinamento. O método permite a obtenção de estimativas dos prováveis custos de produção mesmo na falta de dados contábeis. O método pode ter aplicação direta nos serviços de assistência técnica e também ser útil na seleção de estratégias agrícolas em cada fazenda.

O programa de orçamentação de fazendas leiteiras, descrito por Van Alem et al. (1996), é um modelo de simulação determinístico que roda em microcomputadores e calcula os resultados técnicos de uma fazenda leiteira, traduzindo-os em termos de efeitos de diferentes estratégias de manejo, como por exemplo diferentes proporções de alimentos na dieta e métodos de aplicação de esterco nas pastagens. O programa foi desenvolvido para ser uma ferramenta de pesquisa, mas após alguns ajustes mostrou-se adequado para uso em pesquisa, extensão, estabelecimento de políticas públicas e educação. Os usuários têm a oportunidade de ativar e desativar os modelos do programa e podem ajustar os detalhes por modelo. Na Holanda, alguns resultados mostraram que as mudanças no manejo das fazendas leiteiras que foram mais eficazes em termos de custos foram a maior produção de leite por vaca, a redução do número de animais jovens no rebanho e a adoção de menores níveis de adubação nitrogenada.

No Japão, Hirata et al. (1996) relataram a utilização do enfoque de simulação na busca de opções de manejo para um sistema sustentável de produção de leite com níveis baixos de insumos. As simulações testaram 100 cenários incluindo três níveis de manejo e vários índices agrícolas e ecológicos. Os resultados obtidos mostraram que dois deles eram apropriados, com as seguintes opções de manejo de uma área de 1 hectare (ha): 1) pastagens anuais – de 0,50 a 0,75 ha; 2) pastagens permanentes – de 0,25 a 0,50 ha; 3) número de animais – 6 em ambos os cenários; e 4) meta de ganho de peso – de 0,4 a 0,6 kg por cabeça/dia.

A experiência na avaliação “ex-ante” de sistemas de produção de leite também tem sido relatada na literatura. O impacto de um projeto de reforma da política de produção e preços dos setores de cereais e produção de leite na Escócia foi avaliado por meio de um modelo econométrico (Mainland e Dryburgh, 1994).

No Quênia, um modelo de simulação de fazendas foi usado na avaliação “ex-ante” do impacto tecnológico (“Technology Impact Evaluation System” - TIES) da vacinação de animais contra a “East Coast Fever” em pequenas propriedades (Nyangito et al., 1995). O modelo de simulação de fazendas tem a vantagem de incorporar os riscos envolvidos na produção.

Na Costa Rica, Wadsworth (1995) fez a avaliação “ex-ante”, por meio de modelo de simulação, de três sistemas de produção animal: bovinos de corte, bovinos de duplo propósito e bovinos de leite em sistema intensivo, tendo em vista dois cenários de adoção de tecnologia (um dependente da capacidade gerencial do fazendeiro e outro independente) e de três métodos de extensão rural (transferência de conhecimento, transferência de conhecimento + interação com extensionistas, transferência de conhecimento + interação +

treinamento). O modelo foi capaz de prever corretamente cinco das nove combinações testadas e indicar as principais razões para a baixa sensibilidade quanto aos quatro casos restantes (aspectos econômicos, atributos das inovações, existência de limitações estruturais e adequação da tecnologia), que devem ser incluídas no modelo para melhorar a sua capacidade de previsão do comportamento quanto à adoção de tecnologia.

O software aplicativo AVALPESQ, desenvolvido baseando-se em metodologia de análise benefício/custo utilizada internacionalmente em avaliações "ex-ante" e "ex-post" de projetos e adaptado para microcomputadores (Ávila et al., 1994), também pode ser usado para a avaliação de sistemas de produção de leite. A avaliação de impactos econômicos (potenciais ou reais) de investimentos em pesquisa é feita com base em metodologia desenvolvida pelos próprios autores. Tal software pode ser usado, por exemplo, tanto para avaliações "ex-ante" de projetos de pesquisa, auxiliando no processo de priorização, como para avaliações do impacto econômico de projetos já concluídos, programas, centros ou instituições de pesquisa, etc. Para a análise "ex-ante" se supõe que a tecnologia está em processo de geração ou se trata de projeto a ser iniciado, portanto não há resultados reais nem benefícios.

Um sistema computacional foi desenvolvido por Yamaguchi e Carneiro (1997), com o objetivo de acompanhar, registrar e controlar as ocorrências diárias de sistemas de produção de leite e fornecer indicadores de desempenho técnico, financeiro e econômico, os quais permitem avaliar e orientar a tomada de decisão.

Sistema semelhante, utilizando programação linear, foi desenvolvido por Rodrigues (1997). O modelo de planejamento auxiliado por computador (PAC-LEITE) representa uma propriedade leiteira, permite a otimização global do sistema de produção e pode ser usado como auxílio no processo de tomada de decisões que maximizem a margem de lucro da propriedade. O modelo considera o inter-relacionamento dos vários componentes do sistema de produção, permitindo que sejam otimizadas a distribuição de parições ao longo do ano e a composição da ração (concentrado/volumoso), além da determinação das áreas a serem alocadas para pastagens e produção de silagem.

Um sistema especialista em produtividade de rebanhos leiteiros (DELEITE) foi construído com o objetivo de emitir diagnósticos sobre problemas relacionados com alimentação, sanidade e manejo reprodutivo (Braga et al., 1997). A base de conhecimento atual possui 104 regras de produção, depuradas e validadas por especialistas, e o sistema atinge alto grau de acerto, concordando com os especialistas que o testaram. Da mesma forma que

outros sistemas, o DELEITE também necessita ser integrado com modelos de simulação para que a avaliação “ex-ante” seja possível.

Lopes et al. (1997) desenvolveram um sistema computacional (HERDSIZE) para dimensionamento, evolução e dinâmica de rebanhos bovinos mantidos em sistemas de produção semi-intensivo ou extensivo. O sistema é composto de um conjunto de questões feitas ao usuário, solicitando informações necessárias aos cálculos do rebanho bovino a ser estabilizado em função de uma determinada área. O sistema tem o objetivo de calcular o tamanho do rebanho estabilizado e, por isso, é limitado para utilização em análises “ex-ante” de modelos físicos de sistemas de produção de leite.

Um sistema foi desenvolvido por Martin et al. (1997), no ambiente NTIA da Embrapa Informática Agropecuária, para tornar simples e rotineira a análise de custos de produção, rentabilidade e eficiência de atividades agropecuárias, inclusive sistemas de produção de leite. O software CUSTAGRI é um instrumento de geração de informações para tomada de decisões pelos agricultores visando o aumento da competitividade do negócio agropecuário. De acordo com os autores, o CUSTAGRI é uma ferramenta poderosa para simulação e verificação da melhor atividade a ser produzida, de acordo com a aptidão agrícola da propriedade, previamente definida, e também da tecnologia que melhor retorno financeiro proporcionar.

Pietersma et al. (1998) desenvolveram uma estrutura para auxiliar a criação de sistemas computadorizados para uso em fazendas de gado leiteiro. Os vários componentes do sistema de controle e manejo podem ser construídos utilizando-se técnicas baseadas em conhecimento ou de inteligência artificial, além das tecnologias de computação mais tradicionais, como bases de dados, modelos matemáticos e análises estatísticas. Doluschitz (1990), Hogeveen et al. (1991) e Hogeveen et al. (1994) desenvolveram sistemas especialistas baseados em conhecimento para serem usados como auxílios à tomada de decisões em sistemas de produção de gado de leite.

Em sistemas de produção de gado de leite, as técnicas baseadas em conhecimento são especialmente apropriadas para o desenvolvimento de sistemas computadorizados de informação relacionados com o monitoramento, o diagnóstico e o planejamento de atividades (Doluschitz, 1990). Na última década do século XX, vários sistemas utilizando técnicas baseadas em conhecimento foram desenvolvidos para aplicação em atividades específicas da produção de leite como, por exemplo, análise do estado nutricional do rebanho (Whittaker et al., 1989), avaliação do desempenho reprodutivo (Domecq et al., 1991), aconselhamento sobre práticas de manejo (Schmisser e Gamroth, 1993), escolha de estratégias de alimentação de vacas leiteiras (Grinspan et al., 1994) e avaliação de mastite (Allore et al., 1995).

2.2. Modelos de avaliação de impactos

Larcombe (1990) descreveu os principais aspectos de um modelo de simulação de uma fazenda leiteira (UDDER), que se baseia na utilização intensiva de pastagens, com predição da produção de leite do rebanho com intervalos constantes de 10 dias cada. As predições são feitas com base nas taxas mensais de acumulação líquida de pastagens e na descrição da fazenda. Para estimar a produção de leite do rebanho, o modelo simula a quantidade e a qualidade das pastagens, o consumo de forragens pelas vacas e a partição de energia por meio dos processos fisiológicos de manutenção, crescimento, gestação e lactação.

Pichard et al. (1991) relataram os resultados obtidos no levantamento dos sistemas de produção de leite adotados pelos pequenos produtores na região de La Union, Chile. Um modelo conceitual das atividades foi desenvolvido, como um instrumento para identificar as variáveis de decisão de maior prioridade, descrever e quantificar as relações entre os componentes e, também, para servir como uma primeira aproximação para elaboração de um modelo quantitativo de simulação para avaliar alternativas melhoradas de sistemas de produção de leite naquela região.

Um pacote de simulação, para auxiliar planejadores e gerentes na avaliação de diferentes estratégias de produção animal em regiões semi-áridas da África do Sul, foi descrito por Richardson et al. (1991). O pacote é composto de modelos de simulação hierárquicos e prediz, ao longo do tempo, os efeitos da precipitação pluvial passada e presente, das taxas de lotação, das políticas de produção e comercialização de leite na disponibilidade de pastagens, do peso das vacas e de suas progênies, da produção de leite comercializável e da composição do rebanho. A oferta de forragem é modelada diariamente em relação à umidade do solo e defoliação. Os consumos de forragem e de energia pelo animal são funções do tamanho, do estado fisiológico e da nutrição prévia, da alimentação suplementar e da disponibilidade e composição da forragem. Em bezerros, o efeito do consumo de leite também é considerado. A energia da dieta é dividida, de acordo com o potencial do animal, entre os tecidos corporais, a produção de leite e o desenvolvimento do feto.

Os parâmetros de entrada do pacote de modelos descrito por Richardson et al. (1991) são: precipitação pluvial diária, peso vivo inicial para cada categoria de animais, peso da vaca à maturidade, capacidade secretora potencial do úbere, quantidade de leite para consumo humano e quantidade inicial de cada componente das forragens. As políticas de comercialização e de alimentação dos animais durante os períodos de seca são especificadas pelo

usuário dos modelos. O pacote de simulação pode ser utilizado para prever os efeitos da taxa de lotação, da produção de leite da vaca no crescimento e na sobrevivência do bezerro e na taxa de parições em anos com diferentes padrões de precipitação pluvial. O modelo também mostra como o momento da tomada de uma decisão de manejo, como por exemplo a redução do número de animais sob pastejo ou a quantidade de leite ordenhada, influencia o desempenho subsequente dos animais e das pastagens. Outra aplicação do modelo, quando vários anos são simulados, é a possibilidade de se estimar os requerimentos para alimentação do rebanho durante os períodos de seca.

No Brasil, o uso de modelos de simulação na pesquisa de gado leiteiro na Embrapa Gado de Leite foi revisado recentemente por Zoccal e Assis (1997). A experiência em simulação naquele centro de pesquisa agropecuária iniciou-se com o desenvolvimento de um modelo dinâmico, representativo dos sistemas de produção de leite da Zona da Mata de Minas Gerais. Os detalhes do modelo foram descritos por Brockington et al. (1983; 1988). Os objetivos da utilização de modelos de simulação foram avaliar o impacto da introdução de tecnologias nos sistemas de produção de leite e, mais recentemente, estudar a dinâmica de nutrientes no trato gastrointestinal de ruminantes (Dijkstra et al., 1996a,b; Assis et al., 1997). Vários trabalhos de pesquisa foram realizados com o modelo de simulação em diferentes áreas de conhecimento, como será visto mais adiante na discussão sobre modelos de simulação de sistemas de produção e por áreas de conhecimento.

Na Nova Zelândia, Lewis e Garrity (1993) relataram a aplicação de um modelo de simulação na avaliação da lucratividade de fazendas leiteiras. A modelagem também foi usada por Thomas (1994), na Flórida, Estados Unidos, para avaliar os efeitos do desenho, do tamanho, das características operacionais, da produção de leite, das exigências de mão-de-obra e dos procedimentos de ordenha no desempenho físico e econômico de sistemas grandes de ordenha.

Marsh e Morris (1993) descreveram programas de computador (ORACLE) delineados para auxiliar produtores, veterinários e consultores na tomada de melhores decisões de manejo em gado de leite (DairyORACLE). O modelo de simulação demonstra os efeitos mais prováveis de mudanças no desempenho reprodutivo e na produtividade de rebanhos leiteiros. As simulações podem ser realizadas em rebanhos existentes, desde que um arquivo de dados contendo a idade e a condição reprodutiva de cada fêmea exista. Os processos de simulação estocástica usam valores probabilísticos para prever o comportamento reprodutivo mais provável de fêmeas por períodos de até 6 anos desde qualquer data inicial. Os usuários podem fazer mudanças de manejo e verificar as conseqüências nos vários parâmetros reprodutivos e econômicos.

As opções de saída do DairyORACLE incluem relatórios demográficos, análises do desempenho reprodutivo, análises do fluxo de caixa, indicadores de desempenho do rebanho e relatórios de receitas financeiras. Técnicas de modelagem Monte Carlo são usadas nos programas para simular a variabilidade natural inerente aos sistemas de produção animal. A utilização de diferentes seqüências de números aleatórios, em rodadas múltiplas dos programas, proporciona saídas com grande amplitude de valores, os quais são indicativos do grau de risco associado com o cenário de manejo escolhido para um determinado rebanho.

Sorensen e Enevoldsen (1992) revisaram 12 modelos de simulação de produção animal sob o ponto de vista de como a dinâmica do complexo saúde-produção é tratada. Todos os modelos incluíam opções para alterar as entradas e as saídas dos animais em reprodução, de tal maneira que poderiam ser relacionados com os problemas de saúde. Entretanto, apenas alguns modelos tratavam dos efeitos diretos das doenças no crescimento ou na produção de leite e, quando modeladas, as relações foram muito simplificadas. As falhas na modelagem dos efeitos de doenças na produção individual talvez sejam, segundo os autores, devidas à dificuldade na obtenção de parâmetros válidos para esses efeitos.

Com base nessas observações, Sorensen e Enevoldsen (1992) recomendaram duas etapas no desenvolvimento de modelos de simulação que tratam da dinâmica do complexo saúde-produção animal: 1) que as relações doenças-produção sejam baseadas em hipóteses mecanísticas ao nível do animal; e 2) que grupos de animais com diferentes relações doenças-produção sejam especificados. Essas relações e suas interações poderiam, então, ser estudadas por meio da aplicação dos mesmos padrões de análise de dados resultantes dos modelos de simulação e de dados reais observados em rebanhos de gado de leite.

A simulação também foi utilizada para avaliar a influência econômica de doenças e de estratégias de manejo de substituição de fêmeas, em um sistema intensivo de produção de leite, na região Oeste da França por Watier et al. (1994). Foram considerados dois níveis de ocorrência de doenças (baixo e alto) e duas estratégias de substituição de fêmeas (uma, por meio da seleção do número mínimo de bezerras para manter o tamanho do rebanho, e outra mantendo todas as bezerras até a idade de entrada em reprodução). Os efeitos estudados foram as taxas de mortalidade (bezerras e vacas), a taxa de descarte não voluntário, a receita bruta por vaca descartada, a produção de leite por vaca e os custos variáveis por vaca mantida no rebanho.

De acordo com os resultados obtidos por Watier et al. (1994) para o nível alto de ocorrência de doenças, houve redução de 13 a 15% na receita líquida

da fazenda, quando os preços da carne bovina foram intermediários. Os impactos foram maiores quando os preços da carne foram menores. As variações nos preços de mercado da carne bovina provocaram grandes diferenças na relevância de uma ou outra estratégia de substituição de fêmeas.

Enevoldsen et al. (1995) estruturaram um conjunto de programas de computador para auxiliar na análise epidemiológica e econômica de rebanhos leiteiros. O processo de diagnóstico consistiu na análise de dados, para derivar os parâmetros mais importantes relacionados com a produção, a reprodução e a saúde dos animais, e na produção dos dados de entrada para o processo de prognóstico, feita por meio de um modelo de simulação. As principais características do enfoque foram a especificidade da estimação e da predição dos parâmetros e a análise das pressuposições e dos resultados (Enevoldsen et al., 1995). De acordo com os autores, a baixa taxa de adoção de modelos de simulação de rebanhos nos trabalhos de extensão rural pode ser devida à falta de credibilidade nos modelos e o tempo requerido para entender e utilizar as ferramentas adequadamente.

O modelo de simulação desenvolvido por Brockington et al. (1983), na Embrapa Gado de Leite, foi utilizado para comparar o sistema tradicional de produção de leite, que mantém a produção estável durante o ano, com a alternativa de concentração da produção na época mais favorável de disponibilidade de pastagens (durante a época das águas) e avaliar as conseqüências econômicas. Dois experimentos de simulação foram realizados, considerando-se o sistema sem estação de monta como testemunha e cinco períodos de crescimento ativo das forrageiras (julho-agosto; agosto-setembro; setembro-outubro; outubro-novembro; e novembro-dezembro), dos quais um foi escolhido para análise mais detalhada da dinâmica do rebanho, da produção de leite mensal e dos efeitos estacionais durante o ano.

Os resultados obtidos com a utilização desse modelo foram revisados recentemente por Zoccal e Assis (1997), indicando que a proporção anual de vacas em lactação em todos os períodos estudados apresentou queda significativa quando a estação de monta foi restrita, para que as lactações iniciassem no começo das águas (setembro). A queda foi de 75 - 85%, no sistema tradicional, para 50 - 55% de vacas em lactação no sistema estacional. Esse efeito foi consistente em todos os contextos nutricionais estudados (sem ou com a introdução de pastagem mais produtiva; sem ou com suplementação de concentrados). A evolução do custo operacional por litro de leite produzido mostrou, inicialmente, aumento em todos os sistemas testados, mas em seguida o custo decresceu nos sistemas sem a utilização de concentrados, havendo um novo patamar de equilíbrio com custo bem inferior. Nos sistemas de produção estacional que utilizam suplementação com

concentrados, o ponto de equilíbrio foi igual ao sistema tradicional.

Sistemas de produção convencionais e orgânicos (baseados em pastagens) foram estudados, na Dinamarca, por Kristensen e Kristensen (1998) por meio de simulação. Dados observados durante três anos em 13 fazendas orgânicas e 18 fazendas convencionais, com produção de leite como atividade principal, foram analisados. A estrutura do rebanho, a idade das vacas e a taxa de substituição de fêmeas foram consideradas independentes do tipo de sistema de produção. No sistema orgânico, o pico de lactação foi mais baixo, mas a persistência foi maior, o que levou a diferenças pequenas na produção anual de leite. Quantidades maiores de forragens na ração reduziram o consumo de alimentos no início da lactação nos rebanhos orgânicos, mas um consumo mais regular e equilibrado durante toda a lactação explicaria a melhor persistência na produção de leite.

Resultados sobre o consumo de alimentos e a produção de leite para os dois tipos de sistemas de produção (convencional e orgânico) foram obtidos por Kristensen e Kristensen (1998) por meio da utilização de um modelo de simulação de rebanhos. A maior quantidade de forragens, combinada com um período de permanência mais longo em pastagens e a frequência mais baixa de mastite no rebanho orgânico, explicaram grande parte da diferença entre os dois tipos de sistemas de produção de leite. Os autores concluíram que se as mudanças no uso da terra e no suprimento de alimentos são os únicos resultados da agricultura (pecuária) orgânica, o consumo de alimentos pelos animais será reduzido, o que leva a menores produções de leite e ganhos de peso por animal. Contudo, se a conversão para pecuária orgânica for seguida de maiores atenções ao manejo das pastagens e ao controle preventivo da mastite, então os efeitos da diminuição no consumo de alimentos e na produção de leite também serão minimizados.

3. Modelos de simulação por áreas de conhecimento

Quanto às áreas de conhecimento, os modelos estudados por Jalvingh et al. (1990) concentravam-se nos seguintes temas: atividade animal, forragicultura, manejo de pastagens e alimentação animal. Os resultados obtidos foram apresentados de forma esquemática, permitindo a avaliação das semelhanças e das diferenças entre os modelos e, ainda, o conhecimento prévio da disponibilidade de modelos de simulação e das suas principais utilidades. A seguir é apresentada uma discussão resumida sobre os modelos de simulação por área de conhecimento. Os modelos de simulação desenvolvidos para avaliar impactos econômicos foram classificados de acordo com a área de conhecimento com a qual têm maior afinidade.

3.1. Bioclimatologia e instalações

O resfriamento evaporativo forçado é um método para reduzir os efeitos severos do estresse pelo calor em vacas leiteiras. Os modelos de simulação publicados anteriormente assumem que a perda de calor ocorre apenas na superfície da pele, enquanto o restante do corpo permanece seco. Kimmel et al. (1991) desenvolveram um modelo de simulação que permite a avaliação dos parâmetros integrados que caracterizam a capacidade de resfriamento de um couro molhado, como ocorre durante o processo de resfriamento evaporativo forçado. Os resultados da simulação mostraram que os parâmetros dependem do ambiente (temperatura, umidade e velocidade do ar) e das propriedades intrínsecas da superfície corporal dos animais, como conteúdo aquoso e distribuição dentro da pele. A principal aplicação do modelo refere-se ao delineamento racional de estratégias de resfriamento evaporativo forçado em gado de leite.

Na mesma linha de pesquisa, Chastain et al. (1994) desenvolveram um modelo de simulação para avaliar o processo de resfriamento evaporativo direto, em que a efetividade de um ciclo de resfriamento pode ser estimada a partir de variações na velocidade, temperatura ambiental, umidade relativa, intensidade da radiação solar, e conteúdo inicial de água na pelagem e no pelame.

No Brasil, Naas et al. (1991) construíram um modelo de simulação para avaliar métodos que proporcionem alívio aos efeitos das altas temperaturas na produção de leite nos trópicos, principalmente o sombreamento e o resfriamento suplementar. O programa de computador (VENT) avalia a capacidade de um sistema de confinamento tipo "free-stall" de proporcionar um ambiente térmico ótimo num clima quente e úmido. O balanço de calor é determinado usando como dados de entrada o tamanho da construção, a forma, a orientação e o tipo de construção.

Mais tarde, Naas et al. (1994) modificaram o software VENT, desenvolvido para análise do conforto térmico de animais em instalações abertas, para estudar o efeito do aglomeramento em sistemas de confinamento de vacas leiteiras. O objetivo foi avaliar o movimento do calor produzido pelo efeito do aglomeramento das vacas em uma instalação aberta, comparando dois desenhos de abertura no teto e um teto sem abertura. As aberturas no teto produziram um pequeno decréscimo na temperatura à altura das vacas.

Três modelos de circulação global (GISS, GFDL, UKMO) foram utilizados, juntamente com algoritmos para cálculo do desempenho de vacas leiteiras, por Hahn et al. (1992) para avaliar o potencial dos efeitos diretos do aquecimento global na produtividade animal e nas práticas de manejo nos Estados Unidos.

Os efeitos previstos do aquecimento global foram, em geral, maiores que aqueles previstos com base em dados climatológicos (um ano em 10) ou aqueles estimados com base no verão muito quente de 1980, indicando potencial para impactos econômicos significativos. As possíveis implicações para adaptação dos animais, exigências de energia, ajustes nas práticas de manejo e mudanças nas populações de animais são discutidas de maneira resumida.

Thomas et al. (1996a) desenvolveram um modelo de simulação em rede para avaliar o desempenho de salas de ordenha, predito pelo número de vacas ordenhadas por hora e pela produção de leite por turno de ordenha. As distribuições de probabilidade dos componentes do modelo, que também foram usadas na sua validação, foram ajustadas a partir de dados observados em quatro fazendas leiteiras da Flórida, Estados Unidos, com os seguintes tipos de sala de ordenha: 1) espinha-de-peixe dupla para 16 vacas; 2) espinha-de-peixe dupla para 20 vacas; 3) paralela dupla para 35 vacas; e 4) paralela dupla para 40 vacas.

Os resultados obtidos por Thomas et al. (1996a) mostraram que todas as distribuições foram contínuas, não negativas e assimétricas à direita. As médias simulada e observada do número de vacas ordenhadas por hora foram, respectivamente: 1) 164,8 e 164,6; 2) 207,6 e 206,6; 3) 319,2 e 320,2; e 4) 361,6 e 362,5. As médias correspondentes para produção de leite por turno, na mesma ordem, foram: 1) 9.020 e 9.030 kg; 2) 14.800 e 14.746 kg; 3) 20.900 e 20.945 kg; e 4) 27.100 e 26.974 kg. As diferenças entre as médias simuladas e observadas para ambas as características não foram significativas.

O mesmo modelo de simulação foi utilizado para examinar os efeitos de tamanho, desenho, características operacionais do sistema de ordenha, estratégias de manejo e produção de leite sobre o desempenho de salas de ordenha por Thomas et al. (1996b). Cada tipo de sistema (espinha-de-peixe ou paralelo duplo de 16, 20, 32, e 40 vacas) foi simulado com 50 repetições de 7 horas e 33 minutos cada. A análise dos experimentos fatoriais indicou que as salas de ordenha de tamanho menor foram mais eficientes. As salas de ordenha em paralelo foram 8% mais eficientes que as em espinha-de-peixe. Quando a produção de leite aumentou, o número de turnos por hora diminuiu, mas a produção de leite por equipamento por hora também aumentou. Outros resultados são relatados por Thomas et al. (1996b).

Na Rússia e na mesma linha de pesquisa, SOLOV´EV (1997) descreveu modelos físicos, matemáticos e de simulação que podem ser usados para avaliar a adequação de equipamentos de ordenha mecânica de vacas leiteiras. As características avaliadas pelos modelos são a pressão interna do úbere, o raio do canal do esfíncter, o movimento da teteira, o grau de efetividade da

limpeza do úbere, o desenho das garras, e a uniformidade na distribuição das cargas sobre o úbere. Os enfoques gerais dos aspectos sobre modelagem de equipamentos de ordenha mecânica e obstetrícia na Rússia são considerados, e a seleção de vacas adequadas à ordenha mecânica também é discutida. O teste de equipamentos de controle leiteiro também é examinado.

A emissão de amônia em sistemas de confinamento total de vacas leiteiras foi predita por meio de um modelo de simulação descrito por Elzing e Morteny (1997). Os parâmetros necessários como entrada para o modelo de simulação foram medidos ou obtidos da literatura. O modelo descreve a degradação enzimática da uréia e a volatilização da amônia em pisos cerâmicos, após a aplicação de uma mistura de urina e fezes ou após a irrigação com urina. Observou-se que a atividade da urease na mistura de fezes e urina é cerca de 10 vezes maior que aquela obtida em análises de laboratório, devido ao fato de que, em condições normais de uso, o piso é continuamente sujo com fezes e urina. O modelo pode ser usado como base para predição da emissão de amônia em sistemas de confinamento de vacas leiteiras.

3.2. Genética e melhoramento animal

Os modelos de simulação na área de genética e melhoramento animal concentram-se em aspectos específicos da avaliação do valor genético de animais, na avaliação da resposta à seleção em programas de melhoramento, no estudo de interações entre práticas de manejo e fatores externos aos sistemas de produção, e na avaliação de sistemas de cruzamento rotacionado em gado de leite. As principais características dos modelos de simulação são apresentadas a seguir.

Um sistema para reduzir as necessidades de memória nas avaliações genéticas de touros e vacas foi desenvolvido por Wiggans e Van Raden (1990), como consequência de um sistema de avaliação genética de animais dentro de rebanho. O sistema permite o cálculo das estimativas de valor genético por meio do uso de computadores com tamanho moderado de memória. As iterações são processadas de maneira hierárquica, na seqüência rebanho-touro-vaca e os animais com parentesco pelo lado materno são agrupados. As avaliações podem ser feitas mensalmente, o que daria uma quase-continuidade ao processo no tempo, e a implementação do sistema foi delineada para requerer menos de 16Mbytes de memória.

O impacto de diferentes estratégias de melhoramento genético e de níveis de tratamento preferencial de vacas leiteiras sobre diferentes métodos de seleção de touros e vacas foi avaliado por Weigel et al. (1991). As produções de leite e de gordura e a pontuação final para tipo foram simuladas

durante 3 lactações em 20 rebanhos de 200 vacas cada. No 13^o ano, 2% das vacas foram selecionadas como mães de touros com base no índice 2:2:1 (produção de leite, produção de gordura, tipo). Os níveis de tratamento preferencial variaram de 8 a 48%. Os métodos de seleção comparados foram: 1) Capacidade Predita de Transmissão (PTA); 2) PTA na 1^a lactação; 3) PTA após exigência de um mínimo fenotípico; 4) Índice de Pedigree de 3 gerações; e 5) PTA após seleção pelo Índice de Pedigree. O critério de comparação foi a média do valor genético no índice 2:2:1 (produção de leite, produção de gordura, tipo).

De acordo com os resultados obtidos por Weigel et al. (1991), quando o nível de tratamento preferencial foi alto (48%), os melhores métodos de seleção foram PTA na 1^a lactação e Índice de Pedigree. De acordo com os resultados obtidos, concluiu-se que a exigência de um nível alto no Índice de Pedigree, antes de selecionar pela PTA, parece ser útil para evitar a seleção de vacas que são erroneamente classificadas devido ao tratamento preferencial.

Colleau e Phocas (1994) descreveram a organização de um programa intensivo de melhoramento genético de gado de leite, com a introdução de características secundárias, como a resistência à mastite por exemplo. Um modelo de simulação foi usado para prever que os ganhos genéticos anuais seriam de aproximadamente 150 kg de leite/vaca. Os resultados obtidos também mostraram que as mudanças genéticas desfavoráveis para resistência à mastite ou, mais genericamente, para o risco de descarte por outras razões que não a produção de leite, poderiam ser diminuídas, ou mesmo eliminadas, se dados relevantes fossem introduzidos no índice de seleção, levando em consideração os desempenhos de animais aparentados. Os ganhos genéticos para produção de leite seriam reduzidos em 5 a 10%, mas o benefício econômico seria mantido ou mesmo aumentado, quando comparado com um esquema de seleção para produção de leite apenas.

A experimentação com modelos, utilizando análise de variância de fatoriais de grande escala, é um método valioso para estudar interações entre práticas de manejo e fatores externos em rebanhos leiteiros. Para conseguir realizar este tipo de análise, Mayer et al. (1994) desenvolveram um modelo estocástico de melhoramento genético de rebanhos leiteiros, considerando os tratamentos, o delineamento experimental, as pressuposições estatísticas, as repetições e a interpretação dos resultados. Os aspectos práticos e as vantagens desse tipo de enfoque para modelos de múltipla escolha são ilustrados por Mayer et al. (1994).

Lopez-Villalobos e Garrick (1996) utilizaram um modelo de simulação para estimar a lucratividade de dois sistemas de cruzamento rotacionado, em comparação com a produção de vacas leiteiras de raças puras, na Nova

Zelândia. Por meio de simulação, foram estimados os desempenhos biológico e econômico de rebanhos mantidos em regime de pastagens, consumindo em média 12 toneladas de matéria seca por hectare por ano. Os desempenhos esperados das raças puras (Ayrshire, Jersey e Holandesa) e seus cruzamentos (rotacionados de 2 e 3 raças) foram estimados a partir dos efeitos aditivos e heteróticos publicados na literatura.

Os resultados obtidos por Lopez-Villalobos e Garrick (1996) mostraram que, após 10 anos, os rebanhos Jersey tiveram a maior receita líquida (NZ\$ 1.070/ha) seguidos pelos rebanhos Jersey x Ayrshire (NZ\$ 1.007/ha). Com base nos resultados obtidos, sugere-se que, nas condições de produção de leite na Nova Zelândia, os programas de cruzamento rotacionado podem contribuir para aumentar a lucratividade de rebanhos comerciais.

Zoccal e Assis(1997) relataram os resultados obtidos sobre a avaliação de quatro estratégias de cruzamento em gado de leite utilizando o modelo de simulação desenvolvido na Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG, por Brockington et al. (1983). Todas as estratégias testadas começaram com fêmeas F_1 Holandês x Zebu: formação de Holandês puro por cruzamento (PC), cruzamento alternado Holandês x Zebu (H x Z), cruzamento rotacionado com repetição do Holandês em duas gerações sucessivas em cada ciclo, e formação de uma nova raça com $5/8$ Holandês + $3/8$ Zebu. Essas estratégias foram avaliadas em dois níveis de alimentação (baixo e alto).

Com nível baixo de alimentação, observou-se queda na produção e na margem bruta na estratégia de formação do Holandês PC em comparação com as demais estratégias. Com níveis de nutrição mais altos, as estratégias de formação de Holandês PC e de cruzamento rotacionado com repetição do Holandês por duas gerações sucessivas mostraram produção e lucro ligeiramente maiores que as outras. A estratégia de formação de uma nova raça ($5/8$ Holandês + $3/8$ Zebu) mostrou queda brusca na produção de leite quando as vacas mestiças da população original foram cruzadas com touros Zebu, recuperando-se nas fases seguintes tanto a produção de leite quanto a margem bruta.

Ainda na mesma linha de pesquisa, a análise de sistemas usando touros com capacidade de transmissão variando de zero a 2.000 litros de leite por lactação, mostrou que houve interação entre potencial genético para produção e o nível de alimentação. O uso de touros com valores genéticos altos somente traz vantagens quando combinado com níveis adequados de alimentação (Zoccal e Assis, 1997).

O modelo de simulação desenvolvido por Brockington et al. (1983) também foi utilizado para avaliar a viabilidade do uso da transferência de embriões, em um rebanho com 25 a 30 vacas adultas, selecionando-se uma,

duas ou três doadoras e comparando-se os resultados com um rebanho sem transferência de embriões (Zoccal e Assis, 1997). A evolução da produção de leite e da margem bruta mostrou quedas iniciais na produção e no lucro, devido aos custos do programa de melhoramento genético do rebanho. O prejuízo foi relativamente grande nos primeiros anos e, apesar de diminuir com o tempo, a produção do rebanho somente atingiu o nível do rebanho sem transferência de embriões no final do período de quarenta anos.

3.3. Nutrição e alimentação animal

Zoccal e Assis (1997) relatam que os primeiros ensaios com o modelo de simulação desenvolvido por Brockington et al. (1983) concentraram-se na área de nutrição e sua relação com a produção de leite e a reprodução animal, destacando-se os estudos de alimentação de vacas nos períodos pré e pós-parto e de estratégias de manejo em relação à produção. Nesta área, a maior contribuição da simulação foi a síntese dos resultados da pesquisa analítica, introduzindo-os no enfoque do sistema de produção e dando-lhes, por isso, maior abrangência.

Ostergaard et al. (1994) simularam, por meio do uso do modelo Simherd (Sorensen e Enevoldsen, 1994), os efeitos de duas estratégias de alimentação sob diferentes características de rebanhos e de manejo.

O modelo de simulação UDDER, desenvolvido por Larcombe (1990), também foi utilizado por Uribe et al. (1996) para avaliar estratégias de suplementação alimentar de vacas leiteiras, no início e no final da lactação, com a finalidade de aumentar a produção de leite e a margem bruta numa fazenda de 90 hectares na Nova Zelândia. Uma amostra das dietas simuladas pelo UDDER foi testada com um modelo de balanceamento de rações (CAMDAIRY) para identificar as limitações nutricionais para produção de leite. A proteína não degradada foi limitante em todas as dietas. O balanceamento das rações seria útil para manejo da alimentação em fazendas leiteiras da Nova Zelândia, mas praticamente só poderia ser usado em conjunto com sistemas de monitoramento para determinar o tipo e o período de suplementação alimentar.

Kolver et al. (1996) compararam, por meio de simulação, os dados obtidos na literatura, observados em rebanhos leiteiros mantidos em pastagens na Nova Zelândia e nos Estados Unidos, com os resultados preditos pelo Sistema de Carboidratos e Proteína Líquidos de Cornell (CNCPS). Os requerimentos de energia metabolizável para manutenção foram ajustados para a atividade de pastejo. As respostas dos animais foram comparadas às preditas pelo CNCPS. O modelo produziu uma predição razoavelmente boa das mudanças na condição corporal ($r = 0,79$), no balanço de energia ($r = 0,76$),

na uréia-nitrogênio no sangue ($r = 0,91$), no fluxo de nitrogênio microbiano ($r = 0,83$) e na produção de leite. O modelo subestimou o consumo de matéria seca ($r = 0,80$, viés de 11%) e superestimou o pH ruminal ($r = 0,47$, viés de 1,8%). A conclusão foi que o CNCPS pode ser usado para fazer previsões realistas da fermentação ruminal e do desempenho de vacas leiteiras mantidas em pastagens de boa qualidade.

Em 1988, iniciou-se na Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG, o desenvolvimento de um modelo de simulação para estudar os efeitos da suplementação de vacas leiteiras alimentadas com cana-de-açúcar ou outras dietas. O objetivo do modelo é auxiliar a formulação de dietas visando melhor balanço entre a produção de proteína microbiana no rúmen e a disponibilidade de nutrientes metabolizáveis no intestino delgado (Dijkstra et al., 1996a; Dijkstra et al., 1996b; Assis et al., 1997; Zoccal e Assis, 1997). Duas versões do modelo (Cane.csl e Simula.csm) encontram-se em fase de desenvolvimento na Embrapa Gado de Leite. Alguns estudos preliminares realizados com a utilização da versão Cane.csl permitem inferir que é possível simular a dinâmica de nutrientes no trato digestivo de ruminantes e prever o desempenho animal. Detalhes dos resultados obtidos podem ser encontrados em Dijkstra et al. (1996b). Zoccal e Assis (1997), ao sumarizar os trabalhos sobre o modelo de simulação, concluem que a expectativa é que o mesmo venha exercer papel preponderante no estabelecimento de um sistema de alimentação de bovinos para as regiões tropicais, fazendo a ressalva que ainda há muito trabalho pela frente, especialmente na organização das informações de campo e de laboratório.

3.4. Pastagens

O modelo de simulação desenvolvido na Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG, por Brockington et al. (1983) foi usado na avaliação da utilização de pastagens de capim-elefante em sistemas de produção de leite por Zoccal e Brockington (1992). O modelo simula o sistema de produção em intervalos diários, considerando cada animal individualmente nas diferentes categorias, de acordo com a idade, sexo e estado fisiológico. Alguns parâmetros, eventos e processos biológicos são tratados estocasticamente, utilizando-se estimativas de variabilidade derivadas de experimentos e observações em fazendas (Brockington et al., 1988).

No trabalho de Zoccal e Brockington (1992), cada sistema de produção (100 hectares) foi simulado durante 20 anos, com três repetições. Os dados de entrada do modelo foram: 1) área de implantação de capim-elefante em

substituição ao capim-gordura (10, 15, 20 e 30 ha); 2) nível de suplementação com volumosos (0, 10, 15, 20 e 30 kg de cana-de-açúcar + 1% de uréia por vaca em lactação); e 3) nível de suplementação com concentrados (0,0 e 0,25 kg de farelo de trigo por kg de leite produzido). Considerou-se um rebanho inicial de gado mestiço (1/2 a 15/16 Holandês x Zebu), com animais em diferentes categorias, em que a sua evolução e desempenho dependem das práticas de manejo adotadas.

Os resultados obtidos por Zoccal e Brockington (1992) mostraram que, quando se faz a substituição parcial da pastagem de capim-gordura por capim-elefante, o equilíbrio entre o número de animais, área implantada e suplementação com volumosos está entre 15 e 20 hectares de capim-elefante e 15 a 20 kg de cana-de-açúcar + 1% de uréia por vaca em lactação por dia. Além disso, foi possível concluir-se que a sincronização do crescimento do rebanho, pela retenção de novilhas, devido à maior disponibilidade de forragem resultante da implantação de pastagens de capim-elefante, é importante para se conseguir melhores resultados. A maior taxa de retorno do capital investido ocorreu quando se fez a implantação de 15 hectares de capim-elefante de forma gradativa, isto é, parcelas de 5 hectares a cada ano.

O modelo desenvolvido por Brockington et al. (1983) também foi utilizado para avaliar os impactos da introdução de pastagens em áreas declivosas da Zona da Mata de Minas Gerais, como descrito de forma resumida por Zoccal e Assis (1997). Partindo-se de um sistema com aproximadamente 90 hectares mais 5 hectares de capineira, substituiu-se, por exemplo, o capim-gordura por capim-braquiária, em várias proporções (de 0 a 50 ha). Com a introdução de pastagens mais produtivas, verificou-se que os aumentos na produção de leite do rebanho e na margem bruta foram devidos principalmente ao aumento no número de vacas em lactação. O efeito sobre a produção individual contribuiu pouco para a produção total.

McCallum (1993) avaliou o crescimento de pastagens típicas da Nova Zelândia em várias localidades e fazendas. Os dados obtidos foram então colocados em um modelo de simulação de rebanhos de gado de leite (UDDER, desenvolvido por Larcombe, 1990), sendo mostrado que as médias de produção de leite poderiam ser maiores que as obtidas em rebanhos mantidos em regime de pastagens, por meio da adequação da taxa de lotação, das datas de parição, de adubações com fósforo e nitrogênio e, também, pela avaliação do uso das pastagens, da orçamentação dos gastos com alimentos, de descartes voluntários e de decisões sobre secagem das vacas.

Harrigan et al. (1994) expandiram o modelo de simulação de forragens para gado de leite (DAFOSYM) para simulação de sistemas de produção de leite. O modelo expandido foi utilizado para prever as perdas de matéria seca

e nutrientes durante o armazenamento e o fornecimento de feno de alfafa em fardos de tamanho grande. Por meio de simulação, foram comparados o desempenho, os custos e os retornos em fazendas de 60 e 400 vacas leiteiras, para 6 métodos de armazenamento, 3 tamanhos de fardos, 2 métodos de fornecimento e 2 níveis de produção de leite.

Os resultados obtidos por Harrigan et al. (1994) mostraram que o armazenamento do feno em áreas cobertas foi, em geral, mais lucrativo do que o armazenamento a céu aberto. O maior retorno econômico da proteção dos fardos ocorreu quando fardos de diâmetro menor foram fornecidos a vacas de alta produção, na forma seca. Comparando-se com feno não protegido, o retorno anual líquido aumentou em até 155 dólares/vaca. O menor benefício da proteção foi obtido quando fardos de diâmetro grande foram cortados e fornecidos em pequenas quantidades numa ração total mista.

Um modelo geral de simulação de pastejo rotacionado foi desenvolvido por Woodward et al. (1995), em que em cada período de tempo um grupo de animais pasteja um dos piquetes. A seqüência ótima de pastejo foi definida como aquela que maximiza o consumo total de forragem pelos animais e satisfaz as restrições físicas do sistema de pastejo. O consumo total de forragem foi comparado para 4 estratégias: pastejo contínuo, pastejo rotacionado cíclico, pastejo rotacionado com animais famintos, e pastejo rotacionado ótimo. Um sistema de 100 hectares com 300 a 400 vacas leiteiras foi simulado, considerando-se amplitudes de subdivisões e de durações de pastejo suficiente para garantir a efetividade das diferentes estratégias em maximizar o consumo de forragem.

Vários resultados foram demonstrados por Woodward et al. (1995), destacando-se os seguintes: 1) o pastejo contínuo maximiza o consumo de forragem quando o crescimento da pastagem excede os requerimentos dos animais; 2) o consumo de forragem sob pastejo rotacionado é baixo, a menos que a taxa de rotação dos piquetes seja cuidadosamente sincronizada com a taxa de crescimento da pastagem; 3) o manejo do pastejo faz pequena diferença em produtividade quando a taxa de lotação é a média da pastagem inicial; e 4) não há razão para esperar que a subdivisão da terra aumente a produtividade, a não ser que outras razões, como pisoteio excessivo de pastagens em solos úmidos, prejudiquem durações de pastejo longas. O pastejo rotacionado com animais famintos aumentou o consumo de forragem, mesmo em pastagens com distribuição heterogênea de gramíneas.

Na mesma linha de pesquisa, Kristensen et al. (1997) utilizaram dois modelos de simulação, sendo um dinâmico, estocástico (SIMHERD), para simulação da produção do rebanho, e outro determinístico (SIMCOW), desenvolvido por Sorensen et al. (1992) e descrito em detalhes por Sorensen et

al. (1996), para simulação da produção de cada vaca, com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes intensidades de pastejo na produção de leite individual e do rebanho como um todo.

Os resultados de manejo de pastagens obtidos por Kristensen et al. (1997) foram combinados com diferentes estratégias de manejo em 12 rebanhos comerciais de gado de leite. A alta intensidade de pastejo diminuiu a produção de leite e o ganho de peso ao nível de vaca individual em todos os 12 rebanhos, mas a eficiência energética variou entre rebanhos. Os resultados anuais de diferentes intensidades de pastejo mostraram efeito residual positivo da redução da intensidade de pastejo na produção de leite, mas efeito negativo no ganho de peso das vacas.

Um modelo matemático, com a capacidade de simular o efeito das mudanças previstas na produção de forragens sob o aquecimento da superfície terrestre na produção de leite, foi desenvolvido por Topp e Doyle (1996a). O modelo de simulação de produção de forragens responde a diferentes níveis de fatores climáticos (temperatura, precipitação pluvial) e de mudanças na concentração de CO₂ na atmosfera.

De acordo com Topp e Doyle (1996a), espera-se que o aquecimento da terra aumentará a duração da estação de crescimento, na Escócia, entre 12 e 37 dias para cada 1°C de aumento na média anual da temperatura diurna, mas o efeito na produção anual de pastagens de gramíneas ou de gramíneas + trevo branco será pequeno. A percentagem de pastagens de trevo branco, por outro lado, deverá aumentar de 32 a 46% para cada 2°C de aumento na temperatura. O aumento das concentrações de CO₂ aumentará as produções de gramíneas e de trevo branco sob as condições climáticas atuais e de aquecimento global da terra.

O mesmo modelo também foi utilizado por Topp e Doyle (1996b) para avaliar, na Escócia, os efeitos do aquecimento terrestre na produção de leite. Os resultados obtidos indicam que o impacto na produção de leite, em sistemas de produção com base em pastagens de gramíneas, seria variável dependendo da localidade. Por outro lado, em rebanhos mantidos em pastagens consorciadas de gramíneas e trevo branco a produção de leite aumentaria, independente do local, quando a concentração de CO₂ também aumentasse.

O modelo de simulação de fazendas leiteiras (UDDER), desenvolvido por Larcombe (1990), foi utilizado por Clark et al. (1996) para predizer a taxa de adubação nitrogenada e a percentagem de trevo branco em pastagens necessárias para produção ótima de pastagem e qualidade dos alimentos. As margens brutas máximas por hectare e um alto nível de produção de sólidos totais no leite por hectare e por vaca foram obtidas por meio da combinação de entradas de nitrogênio através do trevo branco e de fertilizante. Os melhores

resultados preditos pelo modelo seriam obtidos com 30 - 40% de trevo branco e taxas anuais de nitrogênio de 100 - 200 kg/hectare.

3.5. Reprodução animal

Na área de reprodução animal, os modelos de simulação desenvolvidos até então têm sido direcionados basicamente para a interação entre eficiência reprodutiva e produção, como pode ser observado na sumarização apresentada a seguir.

Em Israel, Genizi et al. (1992) desenvolveram um modelo de simulação da curva de lactação com base nos dados observados em um experimento em que vacas multíparas foram alocadas, antes da parição, em três intervalos entre o parto e a primeira inseminação. Os dados das vacas que conceberam na primeira ou na segunda inseminação foram utilizados para construir o modelo da curva de lactação, incluindo o pico de produção e o efeito progressivo da gestação. O modelo foi usado para simular a produção de leite durante um período de quatro anos para três níveis de produção e cinco intervalos de partos, com bons resultados. O modelo oferece uma maneira de escolher o ciclo de partições, de acordo com a duração do período em que a vaca é esperada permanecer no rebanho.

Sorensen et al. (1993) utilizaram um modelo de simulação (SIMHERD) para avaliar os efeitos de diferentes durações do período seco, em combinação com diferentes estratégias de descarte e regimes de alimentação, sobre a produção em rebanhos leiteiros sob duas restrições de produção. Os resultados obtidos mostraram que a duração preferível do período seco parece ser relativamente mais longa quando avaliada ao nível de vaca individualmente comparada com os resultados ao nível de rebanho como um todo.

Na Dinamarca, Clausen et al. (1995) utilizaram um modelo estocástico que simula as condições produtivas e reprodutivas de rebanhos compostos de animais de dupla aptidão (leite e carne) e de animais jovens que são adicionados ao rebanho quando necessário. O objetivo do estudo foi desenvolver orientações operacionais sobre substituição de fêmeas, sob várias situações, levando em consideração o desempenho reprodutivo, a oferta de novilhas de reposição e a produção de leite por vaca. Nove estratégias de descarte foram definidas por 3 períodos de inseminação e 3 maneiras de discriminação entre vacas de alta e baixa produção de leite. Os efeitos das estratégias de descarte foram analisados em combinação com a taxa de detecção de cio e com o tempo de início da reprodução após o parto, sob duas estratégias de aquisição de novilhas de reposição: compra (rebanho aberto) e

criação de novilhas (rebanho fechado).

Os resultados obtidos por Clausen et al. (1995) mostraram que a separação entre vacas de alta e baixa produção de leite melhorou significativamente a receita líquida em rebanhos abertos, mas não nos rebanhos fechados. Independentemente da estratégia de aquisição das novilhas de reposição, o uso de períodos longos de inseminação aumentou significativamente a receita líquida em rebanhos com baixa eficiência reprodutiva, enquanto que nos rebanhos com boa eficiência reprodutiva a receita líquida tendeu a aumentar quando foram utilizados períodos curtos de inseminação. A taxa de descarte é uma variável de pouco valor para se usar quando da avaliação de estratégias de descarte, uma vez que as estratégias devem ser medidas ao nível de rebanho e não por vaca.

No Canadá, Plaizier et al. (1997), usando dados gerados por um modelo de simulação dinâmico, estocástico, compararam as receitas líquidas de estratégias de reprodução que diferiam entre si no número máximo de dias pós-parto permitido para reconcepção de vacas leiteiras. O pior resultado foi obtido com reprodução até 168 dias pós-parto. Quando a fertilidade do rebanho era média ou alta, a estratégia de reprodução em que as vacas com nível de produção de leite equivalente na idade adulta menor que 80% da média do rebanho foram descartadas, 80 - 100% foram inseminadas até 168 dias pós-parto, o que resultou em maior receita líquida do que nas estratégias de reprodução que usavam um limite único para todas as vacas. As diferenças na receita líquida entre a ótima e a pior estratégia de reprodução foram de 217,90 e 114,40 dólares canadenses por vaca por ano para o pior e o melhor desempenho reprodutivo respectivamente.

Segundo Plaizier et al. (1997), quando a fertilidade do rebanho era baixa, a taxa de concepção até 364 dias pós-parto foi ótima. Entretanto, neste nível de desempenho reprodutivo recomenda-se que a ênfase deva ser dada ao melhoramento da fertilidade ao invés da escolha da estratégia de reprodução. Plaizier et al. (1998) prosseguiram na mesma linha de trabalho, estudando a relação entre o desempenho reprodutivo e a receita líquida, em rebanhos leiteiros no Canadá, utilizando o mesmo modelo de simulação, que é baseado no SIMHERD, desenvolvido por Sorensen e Enevoldsen (1994). A principal conclusão do trabalho refere-se ao fato de que o maior aumento na receita líquida, devido ao melhoramento na taxa de detecção de cio, é esperado em rebanhos com eficiência reprodutiva baixa.

No Brasil, Zoccal e Assis (1997) descreveram os principais resultados obtidos, na área de reprodução animal, com a utilização do modelo de simulação de sistemas de produção de leite desenvolvido por Brockington et al. (1983) na Embrapa Gado de Leite. Foram estudados os efeitos de estratégias

de descarte de vacas com diferentes períodos de serviço após o segundo parto, com o objetivo de se demonstrar qual seria o limite prático de redução (ou de tolerância) deste período. Após cinco anos de simulação, foram encontradas situações extremas nas quais o rebanho começa a se reduzir por falta de fêmeas de reposição. Embora a percentagem de vacas em lactação tenha aumentado de 57,7 para 59,1%, após 20 anos, a produção total de leite diminuiu em aproximadamente 16,9% em relação ao controle (sem descarte após o segundo parto).

3.6. Sanidade animal

Além dos modelos de simulação já descritos neste trabalho (Sorensen e Enevoldsen, 1992; Sorensen et al., 1995), que tratam da dinâmica do complexo saúde-produção animal, há outros modelos que objetivam avaliar diferentes aspectos da sanidade animal em rebanhos leiteiros.

Collins e Morgan (1992) construíram um modelo de simulação para estudar o controle da paratuberculose em rebanhos leiteiros. O modelo proporciona um método simples de predição da taxa na qual a paratuberculose pode ser controlada ou eliminada de um rebanho leiteiro e tem o potencial de ser utilizado para avaliação econômica de programas de controle da doença. Por causa de sua flexibilidade, o modelo pode ser usado para examinar uma variedade de estratégias para rebanhos específicos.

Hurd e Kaneene (1995) utilizaram um modelo de simulação com distribuição estocástica para avaliar a epidemiologia da doença respiratória clínica em uma população de gado de leite. A capacidade preditiva do modelo foi testada, por meio de comparação com dados observados, e os resultados não diferiram significativamente.

O mesmo modelo foi ampliado, com a inclusão da redução nos custos de alimentação devida à doenças, mensuração do efeito de fatores de risco nos custos da doença e a incorporação de dados da doença observados em uma população de rebanhos amostrada aleatoriamente, e utilizado por Hurd et al. (1995) para estimar os custos doença. A estimativa dos custos da doença respiratória clínica aumentou de 1.490 para 4.604 dólares americanos por ano quando foram considerados os efeitos da doença no crescimento, produção de leite, perda do potencial genético e custos de reposição.

Sorensen et al. (1995) desenvolveram um modelo estocástico, dinâmico, para simular as conseqüências técnicas e econômicas da diarréia a vírus em gado de leite. Cada fêmea (vaca ou novilha) foi caracterizada por variáveis de estado como estágio da lactação, ordem de parição, estágio do ciclo estral,

decisão para descarte, potencial de produção de leite e estado de imunidade quanto à diarreia bovina a vírus. O modelo de simulação foi controlado por 170 variáveis de decisão, descritoras de variáveis biológicas e de manejo, das quais 21 descreviam o efeito da infecção na produção de cada animal. Dois cenários foram simulados, comparando-se os resultados obtidos com dados observados em um caso real publicado na literatura.

Outros modelos de simulação foram descritos na literatura. Pfeiffer et al. (1997), na Nova Zelândia, desenvolveram um modelo para avaliar os efeitos econômicos dos abortos em gado de leite. Vonk-Noordegraaf et al. (1997), da mesma forma, descrevem um modelo de simulação epidemiológico e econômico para avaliar a disseminação e o controle da rinotraqueíte infecciosa bovina em gado de leite. As consequências econômicas da mastite em rebanhos leiteiros também foram objeto do desenvolvimento de um modelo de simulação por Hortet et al. (1997).

Um modelo de simulação dinâmico, estocástico, para eventos discretos (SIMMAST) foi desenvolvido por Allore et al. (1998) para simular o efeito da mastite na composição do leite resfriado, em rebanhos leiteiros dos Estados Unidos. O modelo foi construído utilizando-se estimativas da literatura e também dados obtidos em 164 rebanhos envolvidos no Serviço Americano de Promoção da Qualidade do Leite, que tinham tanques de leite com contagens de células somáticas entre 500.000 e 750.000/mililitro de leite. O principal resultado obtido foi que os rebanhos controlados tinham média estável no tempo de 500.000 a 750.000 células somáticas/ml de leite nos tanques.

4. Resumo e Conclusões

Vários modelos de simulação foram desenvolvidos para avaliar o desempenho de rebanhos leiteiros, principalmente em países de clima temperado. As aplicações dos modelos de simulação são variáveis, indo desde o enfoque de aspectos específicos de determinada área de conhecimento até a abordagem dos modelos e sistemas de produção como um todo.

Referindo-se à classificação adotada neste trabalho, observou-se que a maioria dos modelos de simulação de sistemas de produção de leite aplica-se à avaliação "dentro da porteira" (88%) e que apenas três modelos (12%) permitem a simulação de sistemas de produção com maior abrangência do que os limites de uma fazenda leiteira.

Quanto aos modelos de simulação por áreas de conhecimento, observou-se que a maioria dos modelos concentra-se em nutrição animal, alimentação e pastagens (30%), seguida de bioclimatologia e instalações (17,5%), economia

aplicada (15%) e genética e melhoramento animal (15%). Sob o ponto de vista dos impactos econômicos nos sistemas de produção de leite, áreas importantes como a reprodução (12,5%) e a sanidade animal (10%) ainda não foram devidamente contempladas com o desenvolvimento de modelos de simulação.

Considerando a utilização dos modelos de simulação de sistemas de produção de leite, pode-se afirmar que, em geral, os resultados obtidos são satisfatórios e que os modelos constituem-se em ferramentas úteis na avaliação do desempenho técnico e econômico de fazendas leiteiras. No Brasil, dever-se-ia dar maior apoio aos projetos de pesquisa com o objetivo de desenvolver ou adaptar modelos de simulação aplicados às condições brasileiras de produção de leite, uma vez que a maioria dos modelos existentes foi desenvolvida para aplicação em países de clima temperado.

No Brasil, os modelos de simulação, apesar de serem uma ferramenta poderosa e de baixo custo comparativamente à experimentação física, têm sido pouco utilizados na avaliação de sistemas de produção de gado de leite. Recomenda-se a utilização de modelos de simulação nas fases pré-experimental e de elaboração de anteprojetos de pesquisa e desenvolvimento em gado de leite ("ex-ante") para reduzir o número de alternativas a serem testadas fisicamente. Futuramente, os custos elevados de manutenção de campos experimentais e de modelos físicos de sistemas de produção de leite demandarão ferramentas de pesquisa mais apropriadas pela nova realidade econômica e pelo padrão de competitividade (rapidez e custo versus precisão).

5. Referências Bibliográficas

ALLORE, H. G.; JONES, L. R.; MERRILL, W. G.; OLTENACU, P. A. A decision making support system for evaluating mastitis information. **Journal of Dairy Science**, v.78, p.1382-1398, 1995.

ALLORE, H. G.; SCHRUBEN, L. W.; ERB, H. N.; OLTENACU, P. A. Design and validation of a dynamic discrete event stochastic simulation model of mastitis control in dairy herds. **Journal of Dairy Science**, v.81, n.3, p.703-717, 1998.

ASSIS, A. G.; BROCKINGTON, N. R. Sistemas de produção e economia: o estado da arte. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 33., 1995, Brasília. **Anais ... Brasília: SBZ**, 1995. p.573-582.

ASSIS, A. G.; FRANCE, J.; DIJKSTRA, J.; VIEIRA, D. M. A model for estimating endogenous protein flows in the gastrointestinal tract of ruminants. **Journal of Animal and Feed Sciences**, v.6, p.289-301, 1997.

ÁVILA, A. F. D.; CRUZ, E. R. da; VIEIRA, J. L. G. **AVALPESQ**: Software aplicativo para avaliação benefício/custo da pesquisa agropecuária. Brasília: EMBRAPA-SEA, 1994. 46p.

BRAGA, J. L.; SOUSA, E. M.; NASCIF, C.; PEREIRA, N. V. L. DELEITE: diagnóstico inicial de problemas relacionados ao rebanho leiteiro. In: CONGRESSO DA SBI-AGRO, 1., 1997, Belo Horizonte. **Anais....** Belo Horizonte: AGROSOFT: CTSOFT: SBI-AGRO, 1997. p.117-124.

BROCKINGTON, N. R.; TEIXEIRA, N. M.; ASSIS, A. G.; VEIL, J. M.; GONZALES, C. A.; VERA, R. R. **Modelos bioeconômicos de sistemas de produção de leite na Zona da Mata de Minas Gerais**. Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL, 1983, 57p. (EMBRAPA-CNPGL. Documentos, 8).

BROCKINGTON, N. R.; ZOCCAL, R.; VEIL, J. M. **Modelos de simulação em pesquisa aplicada aos sistemas de produção na agropecuária**. Brasília: EMBRAPA-SEP, 1988, 38p. (EMBRAPA-SEP. Documentos, 42).

CHASTAIN, J. P.; TURNER, L. W.; BUCKLIN, R. Practical results of a model of direct evaporative cooling of dairy cows. In: INTERNATIONAL DAIRY HOUSING CONFERENCE, 3., 1994, Orlando. **Proceedings ...** St. Joseph, Michigan: American Society of Agricultural Engineers, 1994. p.337-352, (Publication 02-94).

CLARK, D. A.; HARRIS, S. L.; WOODFIELD, D. R. White clover or nitrogen fertiliser for dairying?. In: SYMPOSIUM LINCOLN UNIVERSITY, 1995, New Zealand. New Zealand: Agronomy Society of New Zealand: New Zealand Grassland Association, 1996. **Grassland Research and Practice** n.6, p.107-114, 1996.

CLAUSEN, S. M.; SORENSEN, J. T.; KRISTENSEN, A. R. Technical and economic effects of culling and reproduction strategies in dairy cattle herds estimated by stochastic simulation. **Acta Agriculturae Scandinavica**, Section A, Animal Science, v.45, n.1, p.64-73, 1995.

COLLEAU, J. J.; PHOCAS, F. Introducing secondary traits into intensive dairy cattle breeding schemes. In: RENCONTRES AUTOUR DES RECHERCHES SUR LES RUMINANTS, 1994, Paris. **Proceedings...** Paris: Institut de l'Élevage, 1994. p.253-256.

COLLINS, M. T.; MORGAN, I. R. Simulation model of paratuberculosis control in a dairy herd. **Preventive Veterinary Medicine**, v.14, n.1-2, p.21-32, 1992.

DIJKSTRA, J.; FRANCE, J.; NEAL, H. D. St. C.; ASSIS, A. G.; AROEIRA, L. J. M.; CAMPOS, O. F. Simulation of digestion in cattle fed sugar cane: model development. **Journal of Agricultural Science**, v.127, p.231-246, 1996a.

DIJKSTRA, J.; FRANCE, J.; ASSIS, A. G.; NEAL, H. D. St. C.; CAMPOS, O. F.; AROEIRA, L. J. M. Simulation of digestion in cattle fed sugar cane: prediction of nutrient supply for milk production with locally available supplements. **Journal of Agricultural Science**, v.127, p.247-260, 1996b.

DOLUSCHITZ, R. Expert systems for management in dairy operations. **Comput. Eletron. Agric.**, v.5, p.17-30, 1990.

DOMECQ, J. J.; NEBEL, R. L.; MCGILLIARD, M. L.; PASQUINO, A. T. Expert system for evaluation of reproductive performance and management. **Journal of Dairy Science**, v.74, p.3446-3453, 1991.

ELZING, A.; MONTENY, G. J. Modeling and experimental determination of ammonia emissions rates from a scale model dairy-cow house. **Transactions of the ASAE**, v. 40, n.3, p.721-726, 1997.

ENEVOLDSEN, C.; SORENSEN, J. T. Validation of dynamic, mechanistic and stochastic dairy herd simulation model through assessment of user acceptance in veterinary dairy cattle practice. **The Kenya Veterinarian**, v.18, p.434-435, 1994.

ENEVOLDSEN, C.; SORENSEN, J. T.; THYSEN, I.; GUARD, C.; GROHN, Y. T.A. diagnostic and prognostic tool for epidemiologic and economic analyses of dairy herd health management. **Journal of Dairy Science**, v.78, n.4, p.947-961, 1995.

GENIZI, A.; SCHINDLER, H.; AMIR, S.; EGER, S.; ZARCHI, M.; FOOTE, R. H. A simulation study of the effects of the calving interval on milk yields of dairy cows in fixed time periods. **Animal Production**, v.55, n.3, p.309-314, 1992.

GRINSPAN, P.; EDAN, Y.; KAHN, H. E.; MALTZ, E. A fuzzy logic expert system for dairy cow transfer between feeding groups. **Trans. ASAE**, v.37, p.1647-1654, 1994.

HAHN, G. L.; KLINDINST, P. L.; WILHITE, D. A. Climate change impacts on livestock production and management. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 1992. Paper n. 92-7037. 21p.

HARDIN, D.; BAILEY, K.; SPAIN, J. Recombinant bovine somatotropin: what's the profit potential?. **Veterinary Medicine**, v.90, n.10, p.985-993, 1995.

HARRIGAN, T. M.; ROTZ, C. A.; BLACK, J. R. A comparison of large round bale storage and feeding systems on dairy farms. **Applied Engineering in Agriculture**, v.10, n.4, p.479-491, 1994.

HIRATA, M.; KARIYA, H.; FUKUYAMA, K.; HIGASHIYAMA, M. A preliminary simulation approach for evaluating the effects of land use, animal number and target liveweight gain on the dairy heifer system at the Sumiyoshi Livestock Farm. **Bulletin of the Faculty of Agriculture**, Miyazaki University, v.42, n.1-2, p. 63-76, 1996.

HOGVEEN, H.; NOORDHUIZEN-STASSEN, E. N.; SCHREINEMAKERS, J. F.; BRAND, A. Development of an integrated knowledge-based system for management support on dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v.74, p.4377-4384, 1991.

HOGVEEN, H.; VARNER, M. A.; BRÉE, D. S.; DILL, D. E.; NOORDHUIZEN-STASSEN, E. N.; BRAND, A. Knowledge representation methods for dairy decision support systems. **Journal of Dairy Science**, v.77, p.3704-3715, 1994.

HORTET, P.; FOURICHON, C.; SORENSEN, J. T.; SEEGER, H. A simulation model for assessment of economic consequences of mastitis in dairy cattle herds. **Epidemiologie et Sante Animale**, n. 31-32, 10.04.1-10.04.3, 1997.

HURD, H. S.; KANEENE, J. B. Application of a stochastic distributed delay simulation model in the epidemiology of clinical respiratory disease in a dairy cattle population. **Preventive Veterinary Medicine**, v.24, n.2, p.105-116, 1995.

HURD, H. S.; KANEENE, J. B.; LLOYD, J. W.; HARSH, S. B. Application of a stochastic distributed delay simulation model to financial analysis of respiratory disease in Michigan dairy cattle. **Preventive Veterinary Medicine**, v.24, n.2, p.117-128, 1995.

JALVINGH, A. W.; VAN DER KAMP, A.; DIJKHUIZEN, A. A. **Economic models as an aid to making tactical decisions in dairy and pig farms – a literature review**. The Hague, Netherlands: Landbouw Economisch Instituut, 1990. n.65. 71p.

KIMMEL, E.; ARKIN, H.; BRODAY, D.; BERMAN, A. A model of evaporative cooling in a wetted hide. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.49, n. 3, p.227-241, 1991.

KOLVER, E. S.; BARRY, M. C.; PENNO, J. W.; MULLER, L. D. Evaluation of the Cornell Net Carbohydrate and Protein System for dairy cows fed pasture-based diets. **Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production**, v.56, p.251-254, 1996.

KRISTENSEN, T.; KRISTENSEN, E. S. Analysis and simulation modelling of the production in Danish organic and conventional dairy herds. **Livestock Production Science**, v.54, n.1, p.55-65, 1998.

KRISTENSEN, T.; SORENSEN, J. T.; CLAUSEN, S. Simulated effect on dairy cow and herd production of different grazing intensities. **Agricultural Systems**, v.55, n.1, p.123-138, 1997.

LARCOMBE, M. UDDER: a desktop dairyfarm for extension and research. In: DAIRY CATTLE SOCIETY OF THE NEW ZEALAND VETERINARY ASSOCIATION, 7., 1990, Hamilto. **Proceedings...** Palmerston North: Dairy Cattle Society of the New Zealand Veterinary Association, 1990. p.151-152.

LEWIS, C. A.; GARRITY, B. Application of a computer dairy model on-farm. In: NEW ZEALAND GRASSLAND ASSOCIATION, 1993, Masterton. **Proceedings...** Masterton: New Zelanda Veterinary Association, 1993. v.55, p.217.

LOPES, M. A.; VEIGA, R. D.; ZAMBALDE, A. L.; SILVA, A. R. P.; LOPES, D. C. F. HERDSIZE: sistema computacional para dimensionamento, evolução e dinâmica de rebanhos bovinos mantidos em sistemas de produção semi-intensivo ou extensivo. In: CONGRESSO DA SBI-AGRO, 1., 1997, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: AGROSOFT: CTOSOFT: SBI-AGRO, 1997. p.225-229.

LOPEZ-VILLALOBOS, N.; GARRICK, D. J. Profitability of rotational crossbreeding programmes in commercial dairy herds. **Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production**, v.56, p.216-220, 1996.

MAINLAND, D. D.; DRYBURGH, C.R. Econometric forecasting of european community policy impacts on the scottish cereals and dairy sectors. **Oxford Agrarian Studies**, Auchincruive, v.22, n.2, p.203-216, 1994.

MARSH, W. E.; MORRIS, R. S. ORACLE computer programs for economic decision making on health and management in livestock herds. **Preventive Veterinary Medicine**, v.16, n.1, p.59, 1993.

MARTIN, N. B.; OLIVEIRA, M. D. M.; ÂNGELO, J. A.; OKAWA, H.; SERRA, R. Sistema integrado de custos agropecuários: CUSTAGRI. In: CONGRESSO DA SBI-AGRO, 1., 1997, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: AGROSOFT: CTOSOFT: SBI-AGRO, 1997. p.269-276.

MAYER, D. G.; TIERNEY, M. L.; THURBON, P. N. Statistical experiments with simulation models – a dairy genetics example. **Agricultural Systems**, v.45, n.2, p. 203-216, 1994.

McCALLUM, D. Pasture growth in the Golden Bay. **Dairyfarming Annual**, Palmerston North, v.45, p.14-19, 1993.

NAAS, I. A.; AMARAL, L. R.; SYDENSTRICKER, K. Evaluation of dairy housing under tropical climate. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 1991. Paper n.91-4024. 8p.

NAAS, I. A.; BUCKLIN, R. A.; ZAZUETA, F. S.; ROSSI, L. A.; SYDENSTRICKER, K.; MOURA, D. J.; BUCKLIN, R. Natural ventilation model for dairy housing. In: INTERNATIONAL DAIRY HOUSING CONFERENCE, 3., 1994, Orlando. **Proceedings...** St. Joseph, Michigan: American Society of Agricultural Engineers, 1994. p.397-405 (Publication 02-94).

NYANGITO, H. O.; RICHARDSON, J. W.; MUNDY, D. S.; MUKHEBI, A. W.; ZIMMEL, P.; NAMKEN, J. Economic impacts of east coast fever immunization on smallholder farms, Kenya: a simulation analysis. **Agricultural Economics**, London, v.13, n.3, p.163-177, 1995.

OSTERGAARD, S.; SORENSEN, J. T.; KRISTENSEN, V. F.; KRISTENSEN, T. **Modelling of the production of a dairy cow in a net energy system. Presentation and documentation of the PC-model SIMCOW**. Forningsrapport: 24, DIAS, Denmark, 1994. 31p.

PARK, M. S. The rational management improvement of roughage production and dairy farming in Korea. 1. Selection of optimal dairy farming by cropping patterns of forage crop and dairy farming types. **Research Reports of the Rural Development Administration – Livestock**, v.33, n.3, p.22-30, 1991.

PFEIFFER, D. U.; WILLIAMSON, N. B.; THORNTON, R. N. A simple spreadsheet simulation model of the economic effects of *Neospora caninum* abortions in dairy cattle in New Zealand. **Epidemiologie et Sante Animale**, n.31-32, 10.12.1-10.12.3, 1997.

PICHARD, G.; ALCALDE, J. A.; ORTEGA, J. Production systems of small dairy farmers in the La Union zone, Chile. **Turrialba**, v.41, n.1, p.31-39, 1991.

PIETERSMA, D.; LACROIX, R.; WADE, K. M. A framework for development of computerized management and control systems for use in dairy farming. **Journal of Dairy Science**, v.81, n.11, p.2962-2972, 1998.

PLAIZIER, J. C. B.; KING, G. J.; DEKKERS, J. C. M.; LISSEMORE, K. Comparison of rebreeding policies for Ontario dairy herds. **Canadian Journal of Animal Science**, v.77, n.4, p.585-591, 1997.

PLAIZIER, J. C. B.; KING, G. J.; DEKKERS, J. C. M.; LISSEMORE, K. Modeling the relationship between reproductive performance and net-revenue in dairy herds. **Agricultural Systems**, v.56, n.3, p.305-322, 1998.

QUIROZ, R. A.; ESTRADA, R. D.; LEON-VELARDE, C.; ZANDSTRA, H. G. The use of simulation models in developing sustainable management of natural resources for the Andean Zone. **CIP-Circular**, v.21, n.1, p.10-18, 1995.

RICHARDSON, F. D.; HAHN, B. D.; WILKE, P. I. A model for the evaluation of different production strategies for animal production from rangeland in developing areas: an overview. **Journal of the Grassland Society of Southern Africa**, v.8, n. 4, p.153-159, 1991.

RICHARDSON, J. W.; ZIMMEL, P. T.; KNUTSON, R. D.; ANDERSON, D. P.; GRAY, A. W.; SMITH, E. G.; OUTLAW, J. L. **Impacts of GATT on representative farms in major production areas of the United States**. Agricultural and Food Policy Center, Department of Agricultural Economics, Texas A&M University. College Station, Texas: Agricultural and Food Policy Center Briefing, 1994. 61p. (Series, n.94-3).

RODRIGUES, L. H. A. Planejamento estratégico de uma propriedade de leite através da utilização de um modelo de programação linear. In: CONGRESSO DA SBI-AGRO, 1., 1997, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: AGROSOFT: CTSOFT: SBI-AGRO, 1997. p.125-131.

SALGHETTI, A. Programming dairy farms: simulation of a study group. **Annali della Facoltà di Medicina Veterinária**, Università di Parma, v.15, p.95-122, 1995.

SCHMISSEUR, E.; GAMROTH, M. J. **DXMAS**: an expert system program providing management advice to dairy operators. **Journal of Dairy Science**, v.76, p.2039-2049, 1993.

SCHROOTEN, C.; STEVERINK, M. H. A.; VAN ARENDONK, J. A. M. Stochastic simulation of dairy cattle nucleus breeding schemes: influence of breeding strategy and biased breeding values in the population. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v.110, n.4, p.268-280, 1993.

SMITH, E. G.; RICHARDSON, J. W.; ANDERSON, D. P.; GRAY, A. W.; KLOSE, S. L.; MILLER, J. W.; OUTLAW, J. L.; KNUTSON, R. D.; SCHWART Jr., R. B. **Representative farms economic outlook: FAPRI/AFPC January 1997 baseline.**, College Station: Texas A&M University, Agricultural and Food Policy Center, Department of Agricultural Economics 1997. AFPC-Working Paper, n 97-1, 95p.

SOLOV'-EV, S. A. A system for evaluating equipment for milking cows. **Tekhnika-v-Sel'skom-Khozyaistve**, n.4, p.15-18, 1997.

SORENSEN, J. T. Validation of livestock herd simulation models: a review. **Livestock Production Science**, v.26, n.1, p.79-90, 1990.

SORENSEN, J. T.; ENEVOLDSEN, C. Modelling the dynamics of the health-production complex in livestock herds: a review. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 13, n.4, p.287-297, 1992.

SORENSEN, J. T.; ENEVOLDSEN, C.; KRISTENSEN, T. Effects of different dry period lengths on production and economy in the dairy herd estimated by stochastic simulation. **Livestock Production Science**, v.33, n.1, p.77-90, 1993.

SORENSEN, J. T.; ENEVOLDSEN, C. SIMHERD: a dynamic, mechanistic and stochastic simulation model for dairy herd health management decision support. **The Kenya Veterinarian**, Nairobi, v.18, p.431-43, 1994.

SORENSEN, J. T.; KRISTENSEN, E. S.; THYSEN, I. A stochastic model simulating the dairy herd on a PC. **Agricultural Systems**, Kidlington, v.39, n.2, p.177-200, 1992.

SORENSEN, J. T.; ENEVOLDSEN, C.; HOUE, H. A stochastic model for simulation of the economic consequences of bovine virus diarrhoea virus infection in a dairy herd. **Preventive Veterinary Medicine**, v.23, n.3-4, p.215-227, 1995.

THOMAS, C. Operations and economic models for large milking parlors. In: ANNUAL FLORIDA DAIRY PRODUCTION CONFERENCE, 1994, Gainesville. **Proceedings...** Gainesville: University of Florida, 1994. p.150-159.

THOMAS, C. V. DELORENZO, M .A.; BRAY, D. R. A network simulation model of large herringbone and parallel milking parlors. **Journal of Dairy Science**, v.79, n.11, p.1960-1971, 1996a.

THOMAS, C. V. DELORENZO, M .A.; BRAY, D. R. Factors affecting the performance of simulated large herringbone and parallel milking parlors. **Journal of Dairy Science**, v.79, n.11, p.1972-1980, 1996b.

TOPP, C. F. E.; DOYLE, C. J. Simulating the impact of global warming on milk and forage production in Scotland: 1. The effects on dry-matter yield of grass and grass-white clover swards. **Agricultural Systems**, v.52, n.2-3, p.213-242, 1996a.

TOPP, C. F. E.; DOYLE, C. J. Simulating the impact of global warming on milk and forage production in Scotland: 2. The effects on milk yields and grazing management of dairy herds. **Agricultural Systems**, v.52, n.2-3, p.243-270, 1996b.

URIBE, J. V.; PARKER, W. J.; DAKE, C. K. G.; McDONALD, A. A whole farm approach to feed planning and ration balancing using UDDER and CAMDAIRY. **Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production**, v.56, p.285-288, 1996.

VAN ALEM, G. A. A.; VAN SCHEPPINGEN, A. T. J.; DENT, J. B.; MCGREGOR, M. J.; SIBBALD, A. R. Development and use of a simulation model for tactical and strategic management on dairy farms. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 3., 1994, Aberdeen. **Proceedings...** Wageningen: European Association of Animal Production, 1996. Publication n.79, p.327-336,

VONK-NOORDEGRAAF, A.; BUIJTELS, J. A. A. M.; DIJHUIZEN, A. A.; FRANKEN, P.; STEGEMAN, J. A.; VERHOEFF, J. An epidemiological and economic simulation model to evaluate the spread and control of infectious bovine rhinotracheitis in dairy cattle. **Epidemiologie et Sante Animale**, n.31-32, 13.09.1-13.09.3, 1997.

WADSWORTH, J. Adoption of innovations by Costa Rican livestock producers under different levels of extension intensity: predicted versus observed behavior. **Agricultural Systems**, v.49, n.1, p.69-100, 1995.

WATIER, J. M.; SEEGERS, H.; HOVELAQUE, R.; BAREILLE, N.; GIBON, A.; FLAMANT, J. C. Use of a simulation model to evaluate the economic influence of disease and replacement management in an intensive dairy farming system. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LIVESTOCK FARMING SYSTEMS, 1992, Saragossa, Spain, 1992. **Proceedings...** Wageningen, Netherlands: European Association of Animal Production, 1994. Publication n.63, p. 230-234.

WEIGEL, D. J.; PEARSON, R. E.; HOESCHELE, I. Impact of different strategies and levels of preferential treatment on different methods of bull and dam selection. **Journal of Dairy Science**, v.74, Supplement 1, p.158, 1991.

WHITTAKER, A. D.; TOMASZEWSKI, M. A.; TAYLOR, J. F.; FOURDRAINE, R.; VAN OVERVELD, C. J.; SCHEPERS, R. G. Dairy herd nutrition analysis using knowledge systems techniques. **Agricultural Systems**, v.31, p.83-96, 1989.

WIENK, J. J. F.; ZAALMINK, B. W. **TACT systems – applying simulation models to feed and grassland management as a support for dairy farmers in their tactical planning**. The Hague, Netherlands: Landbouw Economisch Instituut, 1994. n.3158. 83p.

WIGGANS, G. R.; VAN RADEN, P. M. Reducing memory requirements for animal model evaluations. **Journal of Dairy Science**, v.73, Supplement 1, p.143, 1990.

WOODWARD, S. J. R.; WAKE, G. C.; McCALL, D. G. Optimal grazing of a multi-paddock using a discrete time model. **Agricultural Systems**, v.48, n.2, p.119-139, 1995.

YAMAGUCHI, L. C. T.; CARNEIRO, A. V. Aplicação de planilha eletrônica na análise técnica e econômica de unidades de produção de leite. In: CONGRESSO DA SBI-AGRO, 1., 1997, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: AGROSOFT: CTSOFT: SBI-AGRO, 1997. p. 95-99.

ZOCCAL, R.; ASSIS, A. G. O uso de modelos de simulação na pesquisa de gado leiteiro. In: PASSOS, L. P.; CARVALHO, M. M.; CAMPOS, O. F. **Embrapa Gado de Leite: 20 anos de pesquisa**, Juiz de Fora: Embrapa-CNPGL, 1997. 359p. p.343-359.

ZOCCAL, R.; BROCKINGTON, N. R. Avaliação de pastagem de capim-elefante para rebanhos leiteiros com suplementação no período da seca, através de um modelo de simulação. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v.21, n.4, p.585-604, 1992.

CAPÍTULO II

UM MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE UMA PROPRIEDADE LEITEIRA

Luiz Henrique Antunes Rodrigues

1. Introdução

Um dos fatores mais importantes no processo de produção do leite é o custo de alimentação. Portanto, a fim de que seja obtida uma maior rentabilidade em uma propriedade leiteira é fundamental uma redução no custo de alimentação. Face ao forte inter-relacionamento entre o custo de alimentação e o manejo adequado de pastagens, este configura-se como um dos fatores onde um eficiente planejamento é necessário devido, principalmente, à sazonalidade do crescimento vegetativo.

Várias decisões precisam ser tomadas em uma propriedade produtora de leite e estas decisões são fortemente influenciadas pelas condições e especificidades de cada propriedade. Algumas das decisões mais importantes a serem determinadas em um planejamento estratégico são:

- A determinação do tamanho ideal do rebanho;
- A distribuição ótima de parições ao longo do ano;
- O manejo ótimo das pastagens;
- O método de conservação de forrageiras a ser utilizado e
- A determinação da quantidade adequada de cada alimento disponível a ser oferecido às vacas, conforme os seus teores nutritivos.

Considerando que o manejo de pastagens é um dos fatores mais importantes na produção de leite, a sazonalidade do crescimento vegetativo passa a ser crucial na determinação do manejo ótimo das áreas alocadas para pastagens e para produção de silagem. As variações da produtividade e da digestibilidade das forragens, que ocorrem durante a safra, são fatores importantes para a determinação do sequenciamento ótimo de pastagens e períodos ótimos para colheita de forragens para produção de silagem.

Uma visão do sistema produtivo como um todo é fundamental quando se tem como objetivo aumentar a lucratividade da propriedade, uma vez que a redução dos custos de alimentação, com a conseqüente redução do custo total de produção, é apenas parte do problema. Diversos fatores técnicos, biológicos e econômicos compõem o sistema produtivo do leite e estão fortemente inter-relacionados, tais como variação sazonal do preço do leite ao longo do ano, curva de lactação, capacidade de ingestão de alimentos, a área da propriedade, maquinaria e mão de obra disponíveis. Diante de um sistema com tantos componentes se inter-relacionando tão fortemente, torna-se evidente que qualquer tomada de decisão é complexa e deve ser sempre feita considerando-se o sistema como um todo.

O objetivo deste capítulo é apresentar um modelo de Programação Linear (P.L.) que representa o sistema de produção em uma propriedade leiteira e o forte inter-relacionamento existente entre os seus diversos componentes.

Tal modelo permite uma otimização global do conjunto de decisões necessárias para se obter a máxima rentabilidade e, quando incorporado a um sistema computacional com interface amigável, pode se tornar uma ferramenta bastante útil no suporte à tomada de decisões.

A utilização de modelos ajuda a entender o funcionamento de sistemas complexos porque eles representam os diferentes componentes do sistema e suas interações. Spedding (1988) enfatiza a importância de analisar qualquer sistema com uma visão global (visão do sistema como um todo), no qual qualquer mudança somente pode ser considerada como melhoria se resultar em melhorias ao sistema como um todo, e não como apenas uma melhoria isolada.

Modelos matemáticos são particularmente adequados para sistemas complexos como o apresentado nesse capítulo, por possibilitarem uma junção de informações oriundas dos diversos componentes do sistema e fornecerem uma visão conjunta do sistema (Hansen, 1990; Olney e Falconer, 1985). Modelos de otimização são particularmente úteis para evidenciar áreas de pesquisas que merecem maior atenção e, eventualmente, indicar prioridades.

Rodrigues (1996) apresenta os componentes do sistema produtivo de leite e o inter-relacionamento entre os diversos componentes, considerado pelo modelo de P.L., mostrado na Figura 1.

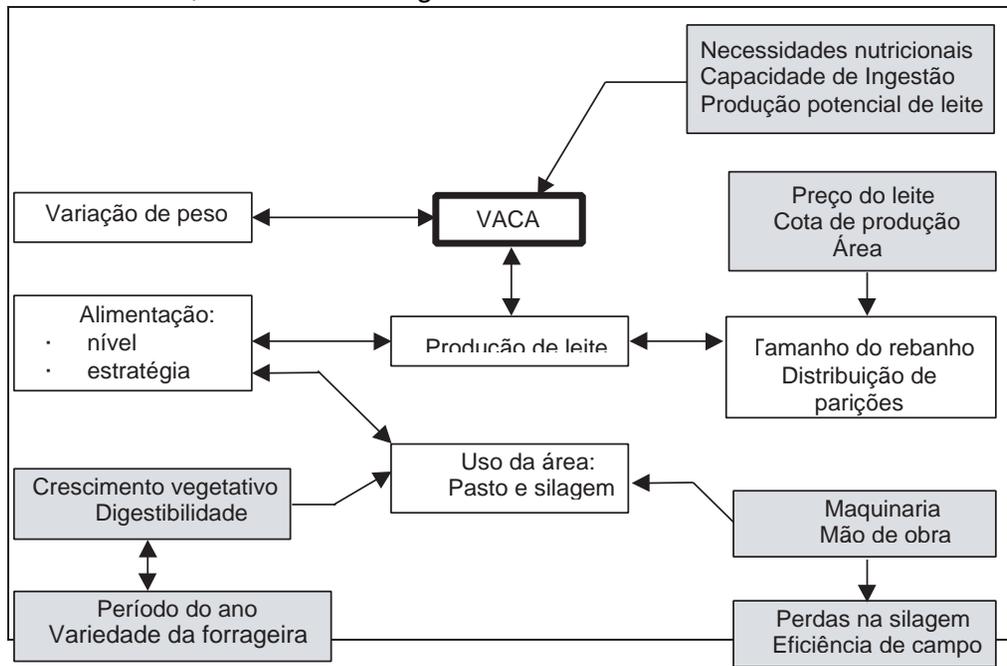


Figura 1. Principais componentes do sistema de produção de leite.

Alguns dos componentes do sistema, apresentados nesta figura, representam decisões que precisam ser tomadas (quadros claros), enquanto outros componentes representam parâmetros técnicos, biológicos ou econômicos (quadros escuros).

As vacas têm necessidades nutricionais diferenciadas ao longo dos estágios de lactação e apresentam limitações quanto à capacidade de ingestão de alimentos, principalmente durante o início da lactação, quando é drasticamente reduzida.

Embora a capacidade de ingestão das vacas aumente gradativamente após algumas semanas, existe um intervalo de tempo entre o pico dessa capacidade de ingestão de alimentos e o pico de produção de leite, o último ocorrendo primeiro. Em decorrência desta defasagem, torna-se difícil atender as necessidades nutricionais das vacas no início da lactação, uma vez que as necessidades nutricionais aumentam com a crescente produção de leite. Essa dificuldade em fornecer uma alimentação adequada no início da lactação provoca um déficit energético nas vacas e uma consequente conversão de reservas corporais em energia para produção de leite, com o objetivo de suprir este déficit, causando uma perda de peso. Nos períodos subsequentes, a capacidade de ingestão de alimentos aumenta e as vacas

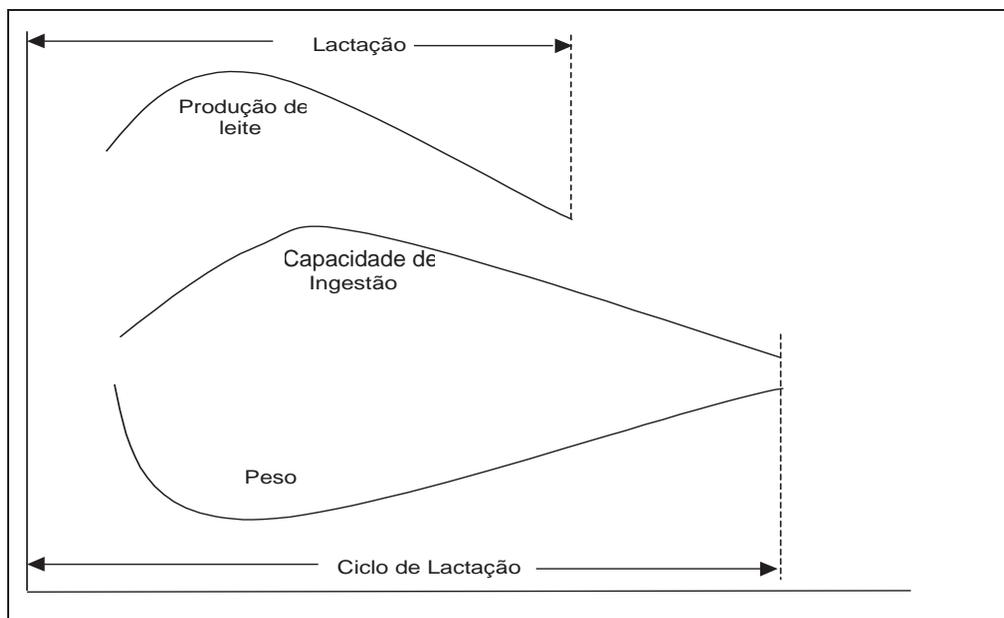


Figura 2. Relação entre produtividade de leite, capacidade de ingestão de alimentos e peso.

param de perder peso para, em seguida, começarem a ganhar peso, já que suas necessidades energéticas também vão sendo diminuídas com a redução da produção de leite. A Figura 2 apresenta a relação existente entre variação de peso e produção de leite, ao longo do ciclo de parição (Rodrigues, 1995).

O período inicial de lactação, quando é difícil atender as necessidades energéticas, merece uma especial atenção, uma vez que as decisões tomadas nesse período causam uma forte influência na produção de leite nos períodos subsequentes.

Ainda com relação ao sistema de produção como um todo (Figura 1), deve-se lembrar que a alimentação está relacionada não apenas à quantidade, mas também à qualidade dos alimentos disponíveis que, por sua vez, estão relacionados à disponibilidade das áreas para pastagens e à capacidade de produção de silagem na propriedade. A alocação das áreas da propriedade para pastagens e para produção de silagem depende da maquinaria e da mão de obra disponíveis, bem como do crescimento vegetativo e da digestibilidade da forragem. A maquinaria disponível, por sua vez, afeta diretamente a eficiência de campo no processo de colheita da forragem e, indiretamente, a qualidade da silagem devido às perdas ocorridas no campo e dentro do silo. A produtividade e a digestibilidade das forragens são dependentes do nível de aplicação de fertilizantes, da variedade da forragem e do período do ano.

O modelo de P.L. proposto pode ser usado para avaliação dos impactos causados no planejamento da produção de uma propriedade por meio da utilização de métodos alternativos de ensilagem bem como de novas tecnologias, variações econômicas (por exemplo, preços do leite e concentrados) e utilização de novas variedades.

2. O Modelo de programação linear

O modelo de Programação Linear (P.L.) proposto neste capítulo foi desenvolvido para descrever o sistema produtivo de uma propriedade leiteira e inter-relacionar os vários componentes do sistema. É um modelo que leva em consideração a variação no tempo e representa os diversos estágios de lactação e do crescimento vegetativo ao longo do ano.

Vários modelos clássicos da literatura são incorporados no P.L., tais como modelos para estimativas das necessidades nutricionais das vacas, das curvas de lactação, das capacidades de ingestão (Maff, 1984; NRC, 1988; Wood, 1969; Neal, Thomas e Cobby, 1984) e modelos para estimativa do crescimento vegetativos e digestibilidade das forragens (Green, Corral e Terry, 1971; Pohjonen, 1975; Edelsten e Corral, 1979; Parsons, 1992).

O modelo de Programação Linear pode ser decomposto em várias partes, cada uma relacionada a um ou mais componentes do sistema, conforme apresentados a seguir.

2.1. Uso da terra

Nesta parte do modelo, as variáveis de decisão concernentes à alocação de áreas para pastagens e para produção de silagem são determinadas. A determinação dessas variáveis especifica o sequenciamento ótimo de uso da área da propriedade. Diversos índices técnicos são levados em conta para a determinação das áreas a serem colhidas para produção de silagem, tais como potência dos tratores, capacidade, largura de corte e velocidade máxima de avanço da colhedeira de forragens, capacidade das carretas, sistema de colheita, mão de obra envolvida, etc., além das restrições óbvias como tamanho da propriedade (área total), número de tratores e carretas disponíveis, tempo total permitido para ensilagem, etc.

2.1.1. Restrições relativas à área da propriedade

É assumido no P.L. que a área total da propriedade pode ser alocada para produção de forragens (pastagem ou silagem), milho para silagem ou grãos (cereais).

$$\sum_i \sum_j g_{ij0} + \sum_j h_{j0} + a_m + a_g = A \quad (1)$$

onde:

g_{ij0} : área alocada para primeira pastagem (após entressafra), no período j , por vacas com parições no período i (ha)

h_{j0} : área alocada para forragem destinada à produção de silagem, com primeiro corte no período j (ha)

a_m : área alocada com milho para produção de silagem (ha)

a_g : área alocada com grãos (cereais) (ha)

A : área total da propriedade (ha)

2.1.2. Restrições relativas ao sequenciamento de pastagens e colheita de forragens para pastagem

A taxa de crescimento vegetativo varia durante a estação; durante o período em que ocorre uma maior taxa de crescimento, o excesso de forragem não usado para pasto é transformado em silagem para alimentação na entressafra. O modelo assume que toda a área com forragem deve ser destinada para pastagem ou produção de silagem, de forma que ocorram períodos subsequentes de crescimento, o que garante uma forragem com maior digestibilidade. A sequência e o período ótimos para pastagem, bem como para colheita, são determinados baseando-se na produtividade e na qualidade (digestibilidade), que varia ao longo das estações do ano.

$$g_{ij0} + \sum_k g_{ijk} + h_{j-1,0} + \sum_k h_{j-1,k} = \sum_k g_{i(j+k)k} + \sum_k h_{(j+k)k} \quad \forall i, \forall j \in \mathbb{N}_{gij0}, \exists h_{j0}, j > k, j+k \leq n \quad (2)$$

onde

g_{ijk} : área alocada para primeira pastagem no período j , após k semanas de crescimento, por vacas com parições no período i ($k=0$, quando primeira pastagem após entressafra) (ha)

h_{jk} : área alocada para forragem destinada à produção de silagem, colhida no período j , após k semanas de crescimento ($k=0$, quando primeiro corte) (ha)

A área total usada para pastagens em qualquer período torna-se disponível para ser utilizada novamente para pastagem ou para colheita de forragem k semanas depois. O modelo assume que a forragem recomeça a crescer, após a colheita mecanizada, com uma semana de defasagem, tornando aquela área disponível novamente $k+1$ semanas depois.

2.1.3. Restrições relativas ao sistema de colheita da forragem

A silagem deve ser feita num curto espaço de tempo (T), que influenciará a qualidade da silagem e as perdas decorrentes no processo de conservação. Detalhes das relações existentes entre a qualidade do material ensilado e a silagem produzida, incluindo as perdas ocorridas, podem ser encontradas em Mayne e Gordon (1986a e 1986b) e McGechan (1989 e 1990).

$$\sum_j h_{j0} R_{j0} \leq T \quad \forall j / \exists h_{j0} \quad (3)$$

$$\sum_j h_{jk} R_{jk} \leq T \quad \forall j / \exists h_{jk} \quad (4)$$

onde:

R_{ijk} capacidade de campo do sistema de colheita no período j , quando a forragem teve k semanas de crescimento (ha/h)

A capacidade da colhedeira utilizada limita as áreas a serem colhidas onde ocorrem as maiores produtividades de crescimento de forragem. As áreas onde ocorrem as menores produtividades de crescimento têm sua limitação determinada pela velocidade de deslocamento do sistema trator-colhedeira. As capacidades de campo, em função dos mais variados parâmetros, são calculadas baseadas em O'Dogherty (1982).

2.2. Necessidades nutricionais

As necessidades nutricionais das vacas, em seus diversos estágios de lactação, são sugeridos pelos alimentos disponíveis, respeitadas as suas limitações quanto à capacidade de ingestão. As necessidades nutricionais estimadas são relativas às necessidades para manutenção, produção de leite, gestação e ganho de peso, conforme Maff (1984) e NRC (1988). São considerados, ainda, as perdas ocorridas durante o processo de ensilagem, bem como o "efeito substituição" que ocorre quando da ingestão de concentrados e silagem, semelhante ao utilizado por Hulme et al. (1986).

Nesta parte do modelo, a quantidade ótima de cada alimento a ser fornecido é avaliado. As áreas a serem alocadas para pastagens são determinadas diretamente. A determinação das áreas a serem alocadas para produção de silagem (de forragem e de milho) passam por um processo intermediário, onde é levado em conta o processo de ensilagem, durante o qual ocorrem perdas. O modelo relaciona as variáveis de decisão que representam as áreas alocadas para forragem e para milho para silagem com as variáveis de decisão que representam as quantidades de silagens de forragem e de milho produzida, por meio da utilização de variáveis de transferência.

Um outro conjunto de restrições é utilizado para limitar a proporção de concentrado e de silagem de milha na ração.

2.2.1. Restrições relativas à limitação de capacidade de ingestão

A quantidade total de Matéria Seca (MS) ingerida oriunda das áreas de pastagens, das silagens de forragem e de milho e concentrado é limitada pela capacidade de ingestão das vacas em cada período, que varia conforme o estágio de lactação. O peso do animal também afeta a capacidade de ingestão das vacas, sendo que um ganho de peso aumenta a capacidade de ingestão e uma perda de peso reduz a capacidade de ingestão de uma forma cumulativa.

$$\sum_k \text{MSG}_{jk} \cdot \eta_g \cdot g_{ijk} + \sum_q s_{ijq} + z_{ij} + \sum_q S_{ef} \cdot c_{ijq} \leq \text{IMS}_{ij} \cdot \eta_i + f \sum_{n=1}^j w_{in}^+ - f \sum_{n=1}^j w_{in}^- \quad \forall i, \forall j, \forall k / \exists g_{ijk} \quad (5)$$

onde:

- MSG_{jk} : produtividade da área usada para pastagem no período j, após k semanas de crescimento (t MS/ha)
- η_g : eficiência de pastagem; fator que relaciona a quantidade de forragem efetivamente ingerida pelas vacas e a quantidade total de forragem disponível no campo
- s_{ijq} : quantidade de silagem de forragem de qualidade q ingerida no período j pelas vacas com parições no período i (t MS)
- z_{ij} : quantidade de silagem de milho ingerida no período j pelas vacas com parições no período i (t MS)
- S_{ef} : fator que considera o “efeito substituição” devido à ingestão de concentrado
- c_{ijq} : quantidade de concentrado de qualidade q ingerida no período j pelas vacas com parições no período i (t MS)
- IMS_{ij} : capacidade máxima de ingestão de qualquer forragem durante o período j, por vacas com parições no período i (t MS)
- η_i : número de vacas com parição no período i
- w_{in}^+ : ganho de peso no período j, por vacas com parições no período i (kg)

- w_{in}^- : perda de peso no período j, por vacas com parições no período i (kg)
- f: fator que relaciona a produção de leite com a capacidade e ingestão

2.2.2. Restrições relativas ao balanço energético

O total de energia oferecido às vacas (oriundo de todos os alimentos) tem que ser igual ao total de energia necessário para as vacas em cada período. O total de energia necessária para as vacas inclui as exigências energéticas para manutenção, gravidez e produção de leite (dependente do estágio de lactação), além da exigência energética para ganho de peso, bem como a energia liberada na perda de peso.

$$\sum_k EMg_{jk} \cdot MSg_{jk} \cdot \eta_g \cdot g_{ijk} + \sum_q EMS_q \cdot s_{ijq} + EMZZ_{ij} + \sum_q EMC_q \cdot c_{ijq} = \quad (6)$$

$$EM_{ij} \cdot n_i + \delta^+ \sum_{n=i}^j w_{in}^+ - \delta^- \sum_{n=i}^j w_{in}^- \quad \forall i, \forall j, \forall k \in g_{ijk}$$

onde:

- EMg_{jk} : quantidade de Energia Metabolizável da forragem para pastagem no período j, depois de k semanas de crescimento (MJ/kg MS)
- MSg_{jk} : quantidade de Matéria Seca da forragem para pastagem no período j, depois de k semanas de crescimento (t MS/ha)
- EMS_q : quantidade de Energia Metabolizável da silagem de forragem de qualidade q (MJ/kg MS)
- EMz : quantidade de Energia Metabolizável da silagem de milho (MJ/kg MS)
- EMc_q : quantidade de Energia Metabolizável do concentrado de qualidade q (MJ/kg MS)
- EM_{ij} : quantidade de Energia Metabolizável requerida para manutenção, gravidez e produção potencial de leite, no período j, pelas vacas com parições no período i (MJ)

δ^+/δ^- : quantidade de Energia Metabolizável requerida para ganho de peso ou liberada pela perda de peso (MJ / kg ganho ou perdido)

A quantidade de Energia Metabolizável disponível na silagem de forragem (EMS_q) depende da qualidade da forragem que é ensilada, que varia em função da época do ano e do tempo de crescimento da forragem após o corte anterior. Note-se que no conjunto de restrições (6) existe um produto de duas variáveis de decisão ($MEs_q \cdot s_{ijq}$) e, portanto, esse conjunto de restrições é não linear. Uma abordagem recursiva foi utilizada para a resolução do problema, no qual estima-se um valor inicial para MEs_q que vai sendo alterado e corrigido em função do período ótimo da colheita de forragem para produção de silagem. Detalhes da abordagem recursiva utilizada no modelo pode ser encontrada em Rodrigues (1995).

2.2.3. Restrições relativas à limitação da proporção de concentrados na ração

A utilização de concentrados na ração para vacas deve ser limitada a uma proporção máxima, uma vez que há a necessidade de as vacas ruminarem, independentemente do alto custo que uma ração composta por somente (ou excessiva quantidade) concentrado possa ter (Maff, 1984; NRC, 1988).

$$\sum_k MSg_{jk} \cdot \eta_g \cdot g_{ijk} + \sum_q s_{ijq} + z_{ij} + \sum_q c_{ijq} \leq L_c \quad \forall i, \forall j / \exists g_{ijk} \quad (7)$$

onde:

L_c : proporção máxima de concentrado na ração

2.2.4. Restrições relativas à limitação de proporção de silagem de milho na ração

Similarmente às restrições relativas à proporção máxima de concentrados na ração, o modelo também restringe a utilização de silagem de milho na ração a uma proporção máxima.

$$\sum_k MSg_{jk} \cdot \eta_g \cdot g_{ijk} + \sum_q s_{ijq} + z_{ij} + \sum_q c_{ijq} \leq L_z \quad \forall i, \forall j / \exists g_{ijk} \quad (8)$$

onde:

L_z : proporção máxima de silagem de milho na ração

2.2.5. Restrições relativas ao silo de forragem

A quantidade total de Matéria Seca de silagem de forragem que estará disponível para oferecimento às vacas, após as perdas, e a quantidade de Energia Metabolizável disponível oriunda da silagem são calculadas no conjunto de restrições abaixo.

$$\sum_k (1 - MSf_{perdas}).MSf_{jk} \cdot h_{jk} = q_{MS} \quad \forall j / \exists h_{jk} \quad (9)$$

$$\sum_{ii} \sum_j \sum_q s_{jq} \leq q_{MS} \quad (10)$$

$$\sum_k MEf_{jk} \cdot (1 - MSf_{perdas}).MSf_{jk} \cdot h_{jk} = q_{EM} \quad \forall j / \exists h_{jk} \quad (11)$$

onde:

MSf_{perdas} : perda de Matéria Seca da silagem de forragem, incluindo as perdas dentro do silo e as perdas durante o processo de ensilagem

dentro do silo e as perdas durante o processo de ensilagem

MSf_{jk} : quantidade de Matéria Seca de forragem colhida no período j, após k semanas de crescimento (t MS)

q_{MS} : quantidade total de Matéria Seca de forragem disponível para oferecimento às vacas, descontadas as perdas (t MS)

MEf_{jk} : quantidade de Energia Metabolizável da silagem de forragem colhida no período j, após k semanas de crescimento (MJ)

q_{EM} : quantidade total de Energia Metabolizável de forragem disponível para oferecimento às vacas, descontadas as perdas (MJ)

Note-se que q_{MS} poderia ser eliminado juntando-se as restrições (9) e (10); porém, o valor de q_{MS} é necessário para a abordagem recursiva utilizada pelo modelo, já mencionada anteriormente, quando se calcula a qualidade da silagem de forragem ($EMs_q = q_{EM}/q_{MS}$), a partir das restrições (9) e (11).

2.2.6. Restrições relativas ao silo de milho

A quantidade total de Matéria Seca de silagem de milho que estará disponível para oferecimento às vacas, em cada período, é limitada pela quantidade de milho colhido e ensilado, descontadas as perdas.

$$\sum_i \sum_j z_{ij} \leq (1 - MSz_{perdas}) \cdot MSa_m \quad (12)$$

onde:

MSz_{perdas} : perda de Matéria Seca da silagem de milho
 MSz : produtividade do milho para silagem (t MS/ha)

2.3. Variação de peso

O modelo proposto neste capítulo considera que o total de energia deve ser conservado. A produção de leite sofre uma pequena variação quando há uma alimentação acima ou abaixo, em termos energéticos, das necessidades da vaca. Por outro lado, uma alimentação acima ou abaixo, em termos energéticos, das necessidades da vaca, provoca um ganho ou perda de peso, respectivamente.

Quando uma vaca é alimentada com uma quantidade de energia acima da requerida, parte desse excesso é alocado para uma maior produção de leite e parte convertida em reservas corporais, que a fazem ganhar peso. Quando a quantidade energética fornecida é abaixo da requerida, parte das reservas corporais é convertida em energia para produção de leite, provocando uma perda de peso.

Uma excessiva perda de peso pode causar fortes consequências às vacas (Maff, 1984; NRC, 1988) e, por essa razão, o modelo contém um conjunto de restrições que limitam a perda máxima total de peso.

Vacas em diferentes lactações (primeira, segunda, terceira ou posterior lactação) têm condições diferentes quando do momento de parição. Primíparas e vacas em segunda lactação ganham mais peso do que perdem, ao final da lactação, porque estão em fase de crescimento. O modelo considera pesos iniciais e finais diferenciados para vacas em diferentes lactações. Assim, o modelo força que as vacas recuperem o peso perdido e ganhem, no mínimo, o peso necessário para atingir o peso inicial ideal para uma nova parição.

2.3.1. Restrições relativas à limitação de máxima perda de peso

$$\sum_j w_{ij} \leq P_{perda} \quad \forall i \quad (13)$$

onde:

T_{perda} : máxima perda de peso permitida (kg)

2.3.2. Restrições relativas à limitação de máxima perda de peso

$$\sum_j w_{ij}^t \geq \sum_j w_{ij} + W_f - W_0 \quad \forall i \quad (14)$$

onde:

W_f : peso final desejado para a vaca (kg)

W_0 : peso inicial da vaca (kg)

2.3.3. Restrições relativas à limitação de máxima perda de peso

$$w_{ij}^t + w_{ij} \leq L_j \quad \forall i, \forall j \quad (15)$$

onde:

L_j : máxima perda ou máximo ganho de peso permitido no período
j (kg)

Note-se que uma vaca não pode ganhar e perder peso simultaneamente. Assim, as restrições (15) limitam o ganho ou a perda de peso em cada período.

2.4. Produção de leite

A produção de leite, em cada período, ao longo da lactação, é determinada pelo potencial esperado de produção de cada vaca somada ao efeito do nível energético da alimentação na produção de leite, que está relacionada à variação de peso. Este efeito é cumulativo e o conjunto de restrições abaixo faz a ligação deste efeito entre períodos subsequentes. O modelo permite considerar, ainda, a limitação adicional da cota de produção de leite junto à Cooperativa, quando esse for o caso.

2.4.1. Restrições relativas à produção de leite

A produção real de leite em cada período é a soma da produção potencial (esperada) de leite com o efeito acumulado da variação de peso. O efeito é positivo quando a vaca ganha peso e negativo quando ocorre um déficit energético (perda de peso), embora com magnitudes diferentes.

$$y_{ij} = Y_{ij} \cdot n_i + \lambda^+ \sum_{n=1}^j w_{in}^+ - \lambda^- \sum_{n=1}^j w_{in}^- \quad \forall i, \forall j \quad (16)$$

onde:

y_{ij} : produção real de leite no período j pelas vacas com parições no período i, considerando os efeitos cumulativos de ganho ou perda de peso (kg)

Y_{ij} : produção potencial de leite no período j pelas vacas com parições no período i, calculada com base na curva de lactação teórica (kg)

λ^+ / λ^- : efeito do ganho ou perda de peso na produção de leite (kg leite/kg peso)

2.4.2. Restrições relativas à cota de produção

Quando existir uma cota que limite a produção de leite a um máximo, esta é considerada na restrição abaixo.

$$\sum_i \sum_j yz_{ij} \leq Q \quad (17)$$

onde:

Q: cota máxima de produção de leite (kg)

2.5. Margem de lucro

A função objetivo do modelo proposto é composta por todos os preços e custos envolvidos no sistema, tais como preço sazonal de venda do leite, preço dos fertilizantes, preço dos concentrados, preço do combustível, salários, depreciação de maquinaria, etc.

Rodrigues (1995) apresenta detalhadamente o modelo matemático que relaciona os níveis energéticos fornecidos com a produção de leite e com a variação de peso, bem como as considerações feitas relativas aos custos variáveis e fixos.

$$\text{Max} \sum_i \sum_j P_j y_{ij} - \sum_i \sum_j P_g g_{ij0} - \sum P_h h_{j0} - P_m a_m - \sum_i \sum_j \sum_q P_{c_q} c_{ijq} - \sum_i D_v n_i - D_{maq} h_{maq} + P_c a_c \quad (18)$$

onde:

P_j : preço de venda do leite no período j (R\$/kg)

P_g : custo anual para as áreas alocadas a pastagens, incluindo a aplicação de fertilizantes (R\$/ha)

P_h : custo anual para as áreas alocadas para silagem de forragem, incluindo aplicação de fertilizantes (R\$/ha)

P_m : custo anual para as áreas alocadas para milho para silagem (R\$/ha)

P_{c_q} : preço do concentrado de qualidade q (R\$/t MS)

D_v : depreciação anual das vacas (R\$/vaca/ano)

D_{maq} : depreciação anual da maquinaria especializada (R\$/ano)

P_c : custo de oportunidade da terra utilizada com cereais (R\$/ha)

Validação

O modelo proposto foi desenvolvido como parte de um Projeto de Pesquisa de um Programa de Doutorado, realizado no Silsoe Research Institute, Inglaterra.

A avaliação do modelo foi feita tendo como base uma propriedade leiteira da região de Bedfordshire, Inglaterra. Diversos cenários foram analisados e são brevemente apresentados e discutidos a seguir.

3.1. Efeito da disponibilidade de milho para silagem

Os resultados obtidos mostraram que a margem de lucro da propriedade aumentaria com a disponibilidade de silagem de milho.

As taxas de aumento na margem de lucro foram decrescentes com o aumento da área alocada com milho para silagem, indicando a existência de uma área ótima a ser alocada para a produção dessa silagem, que seria em função das condições da propriedade. A utilização da área para silagem de milho maiores do que a área ótima não traria qualquer benefício.

Os resultados mostraram, ainda, que a silagem de milho substituiu, até um certo limite, o concentrado na ração, reduzindo, assim, o custo final da produção do leite.

3.2. Efeito do preço do leite e da sua variação sazonal

Os resultados confirmaram uma maior distribuição de produção de leite ao longo do ano, na presença de uma variação sazonal do seu preço, quando comparado a cenários onde o preço do leite era considerado constante ao longo do ano. Observou-se que a variação sazonal dos preços do leite foi mais significativa para as propriedades com cotas de produção mais altas.

Os resultados mostraram, ainda, que os períodos de concentração de parições foram bastante distintos nas duas condições.

3.3. Efeito do preço do concentrado

O concentrado, sendo o componente mais caro da ração, é o que provoca mudanças mais significativas nos planos ótimos de produção, quando têm seus

preços alterados.

Os resultados mostraram que essas mudanças foram mais acentuadas nas propriedades onde existiam pequenas áreas alocadas para silagem de milho, sugerindo que nessas propriedades haveria uma maior dependência do concentrado.

A distribuição de parições e a conseqüente distribuição de produção de leite ao longo do ano também foram significativamente alteradas com a variação do preço do concentrado: ocorreu uma maior concentração de parições no início da safra com o aumento do preço do concentrado, provocando uma melhor utilização do pasto e uma redução no consumo de concentrado. Embora nesse período, os preços do leite sejam inferiores, a redução no custo de alimentação se mostrou vantajosa.

Conclusões

Modelos matemáticos desenvolvidos para auxiliar o planejamento são ferramentas de apoio na tomada de decisão. O objetivo desses modelos é fornecer informações relevantes ao processo de tomada de decisão. Deve-se ter em mente, no entanto, que todo modelo é, na realidade, uma simplificação do mundo real e, assim, os seus resultados devem ser analisados cuidadosamente antes que qualquer decisão seja tomada.

Quando o resultado obtido por um modelo é suficientemente semelhante ao previsto pelo produtor, este pode tomar a sua decisão com um maior grau de confiança. No entanto, se a decisão previamente pretendida for muito discrepante daquela obtida com o modelo, o produtor deve reconsiderar o problema e analisá-lo mais detalhadamente, antes de tomar sua decisão, uma vez que é possível que tenha considerado algum fator não incluído no modelo (por exemplo, preferências pessoais, aversão a riscos, necessidades familiares, etc.) e que isso tenha provocado a discrepância; porém, ela também pode ter sido causada porque o modelo pode ter encontrado um plano melhor, que trará maiores benefícios ao produtor, se implantado.

O modelo de Programação Linear apresentado neste capítulo, se incorporado a um programa computacional com interface amigável e que gerencie um banco de dados, pode ser utilizado tanto por produtores como por consultores para maximizar a margem de lucro de uma propriedade, determinando o seu planejamento estratégico ótimo de produção, de acordo com as suas condições (área, disponibilidade de maquinaria e mão de obra, etc.).

Uma outra utilização bastante interessante para o sistema seria utilizá-lo para comparar diferentes estratégias a serem adotadas diante de alterações,

sejam elas de caráter técnico ou econômico.

O sistema pode, ainda, ser utilizado para pesquisas, por meio do estudo da sensibilidade das soluções frente a alterações técnicas ou biológicas, o que possibilita indicar prioridades para estudos futuros. Por exemplo, com o uso do modelo seria possível prever o impacto que uma variedade de forragem mais precoce, com maturação em períodos mais curtos, iria causar no planejamento de produção da propriedade. De forma similar, poder-se-ia analisar as vantagens que melhorias técnicas ou o desenvolvimento de novas tecnologias para colhedeira de forragens trariam. Por exemplo, colhedeiças com melhores rendimentos, mais velozes e com maiores capacidades de processamento, poderiam ser comparadas com outras colhedeiças que, embora apresentem piores rendimentos, permitam menores perdas durante o processo de ensilagem ou durante a armazenagem, dentro do silo. Isso poderia ocorrer por redução de perdas durante a colheita ou pela maior compactação de silagem, possibilitada por ser constituída de pedaços menores e mais curtos de forragem, permitindo uma melhor fermentação dentro do silo.

Esses estudos e avaliações permitiriam uma identificação nas áreas onde melhorias técnicas poderiam ser mais facilmente incorporadas pelos produtores; uma priorização ou um incentivo maior para o desenvolvimento de projetos nestas áreas poderiam ocorrer, viabilizando avanços consideráveis que poderiam trazer grandes benefícios para a agropecuária de leite no Brasil.

Referências Bibliográficas

GREEN, J. O.; CORRALL, A. J.; TERRY, R. A. **Grass species and varieties:** relationships between stage of growth, yield and forage quality. Hurley: Grassland Research Institute, 1971. (Technical Report, 8). 81 p.

EDELSTEN, P. R.; CORRALL, A. J. Regression models to predict herbage production and digestibility in a non-regular sequences of cuts. **Journal of Agricultural Society, Cambridge**, v. 92, p.575-585, 1979.

HANSEN, J. P. DAIRY – An integrated Decision Support System for planning of feed supply and land use on the dairy farm. In: INTERNATIONAL CONGRESS FOR COMPUTER TECHNOLOGY, INTEGRATED DECISION SUPPORT SYSTEMS IN AGRICULTURE – SUCCESSFUL PRACTICAL APPLICATIONS, 3., 1990, Frankfurt. **Proceedings...** Frankfurt: A.M. – Bad Soden, 1990. p.182-191.

HULME, D. J.; KELLAWAY, R. C.; BOOTH, P. J. The CAMDAIRY model for formulating and analyzing dairy cow rations. **Agricultural Systems**, v.22, p.81-108, 1986.

MAFF. **Energy allowances and feeding systems for ruminants**. London, 1984. (MAFF Reference Book 433).

MAYNE, C. S.; GORDON, F. J. The effect of harvesting system on nutrient losses during silage making: 1. Field losses. **Grass and Forage Science**, v.41, p.17-26, 1986a.

MAYNE, C. S.; GORDON, F. J. The effect of harvesting system on nutrient losses during silage making: 1. In-silo losses. **Grass and Forage Science**, v.41, p.341-351, 1986b.

McGECHAN, M. B. A review of losses arising during conservation of grass forage. Part 1: Field losses. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 44, p.1-21, 1989.

McGECHAN, M. B. A review of losses arising during conservation of grass forage. Part 2: Storage losses. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.45, p.1-30, 1990.

NEAL, H. D. ST.C.; THOMAS, C.; COBBY, J. M. Comparison of equations for predicting voluntary intake by dairy cows. **Journal of Agricultural Science, Cambridge**, v.103, p.1-10, 1984.

NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**, 6. rev. ed. Washington, D.C.: National Academy Press, National Research Council, Committee on Animal Nutrition, 1988.

O'DOGHERTY, M. J. A. review of research on forage chopping. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.27, p.267-289, 1982.

OLNEY, G. R.; FALCONER, D. A. **Mathematical programming model of Western Australian dairy farms**. South Perth, W.A.: Western Australian. Department of Agriculture, 1985. 61 p.

PARSONS, D. J. **The Information Technology Farm 2**: a simple grass production model for use in management programs. Silsoe, England: Silsoe Research Institute, 1992. (Divisional Note DN 1639).

POHJONEN, V. A dynamic model for determining the optimum cutting schedule of Italian ryegrass. **Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland**, v.47, p.71-137, 1975.

RODRIGUES, L. H. A. **CAP-DAIRY**: Computer Aided Planning of Dairy Farms. 1996. 153f. Thesis(PhD) - Silsoe Research Institute, Bedford, England.

RODRIGUES, L. H. A. **Planejamento computadorizado de fazendas de gado leiteiro**. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE NUTRIÇÃO ANIMAL ; SEMINÁRIO SOBRE TECNOLOGIA DA PRODUÇÃO DE RAÇÕES, 1996, Campinas. **Anais...** Campinas, 1996, p.138-150.

SPEDDING, C. R. W. General aspects of modelling and its *application in livestock production*. In: **Modelling of Livestock Production Systems**. London: S. Korver and J.A.M. van Arendonk. Kluwer Academic Publishers, 1988.

WOOD, P. D. P. Factors affecting the shape of the lactation curve in cattle. **Animal Production**, v.31, p.143-151, 1969.

CAPÍTULO III

MODELO DE SIMULAÇÃO DA DINÂMICA DE NUTRIENTES EM BOVINOS LEITEIROS

*Airdem Gonçalves de Assis
Pedro Franklin Barbosa*

1. Resumo

O conhecimento da cinética dos alimentos no trato gastrointestinal é fundamental para o balanceamento de dietas de ruminantes. Por outro lado, a integração das informações oriundas de sucessivos ensaios de digestão torna-se impraticável quando se utiliza os métodos clássicos de avaliação de dietas. A modelagem matemática tem se mostrado uma ferramenta poderosa para sintetizar e utilizar efetivamente os recentes conhecimentos sobre a dinâmica ruminal e a utilização de nutrientes em vacas leiteiras. Outrossim, o uso de modelos de simulação poderá reduzir substancialmente o número de ensaios físicos necessários para a avaliação de dietas animais, submetendo aos testes de campo somente aquelas que apresentarem melhores resultados na simulação.

Um modelo de simulação da cinética do alimento no trato digestivo vem sendo desenvolvido com o objetivo específico de se estudar estratégias de suplementação de vacas leiteiras alimentadas com dietas a base de cana-de-açúcar mais uréia. Contudo, ele poderá se aplicado a outros tipos de forragem, desde que se altere os valores de alguns parâmetros-chaves. Usando as informações dos alimentos quanto às suas características de dinâmica ruminal e pós-ruminal, o modelo, através de uma série de equações diferenciais, calcula as quantidades dos nutrientes disponíveis no intestino delgado e os converte em leite, após descontado o requerimento de manutenção. As variáveis de estado definidas no modelo são as frações nitrogenadas, os carboidatos estruturais (fibras) e não-estruturais (açúcares e amido), os ácidos graxos voláteis (AGV), os lipídios e os microrganismos ruminais representados por 12 "pools" ruminais e oito intestinais. Os nutrientes disponíveis para absorção no intestino delgado são os aminoácidos, derivados das proteínas microbiana, alimentar e endógena, a glicose, derivada do amido e dos carboidratos solúveis e microbiano, e os lipídios da dieta e microbiano. A produção de leite é dada pelo nutriente mais limitante.

Existem, atualmente, duas versões do modelo: (i) Cane. CSL, para computadores de grande porte, desenvolvida pelos pesquisadores Jim France (University of Reading) e Jan Dijkstra (Wageningen Institute of Animal Science) em ACSL (Advanced Continuous Simulation Language) e (ii) Simula. CSM, para microcomputadores, desenvolvida pela equipe da Embrapa Gado de Leite em CSMP (Continuous System Modeling Program). As duas versões foram validadas com dados gerados por dois ensaios de digestão realizados na Estação Experimental de Coronel Pacheco, com animais em crescimento, fistulados no rúmen e no abomaso, onde os fluxos de matéria seca (MS), fibra

detergente neutro (FDN) e proteína bruta (PB) foram monitorados em diferentes seções do trato gastrointestinal. Após testado com os dados de cana-de-açúcar, levantou-se, na literatura, informações de diferentes forragens (i.e. capim-elefante, silagem de milho, feno e silagem de alfafa) para avaliar o modelo sob outras condições nutricionais. Com exceção da silagem de milho, os resultados das simulações foram consistentes quando comparados com os dados da literatura, tanto em termos de concentração ruminal (amônia e AGV totais) quanto de fluxo de nutrientes (FDN e PB) no duodeno. O caso da silagem de milho será estudado posteriormente, mas especula-se que a inconsistência pode ser devida à proporção dos AGV individuais no rúmen que difere das outras forragens estudadas. Adicionalmente, o modelo está sendo testado com dietas à base de capim-elefante sob pastejo, suplementadas com cana-de-açúcar mais uréia. Considerando as avaliações com os dados de fluxo de nutrientes, o modelo está apto para ser usado na seleção de dietas cujo volumoso básico é a cana-de-açúcar.

A primeira versão do modelo somente será disponibilizada a usuários após o teste com dados de produção de leite e a incorporação da análise de custo. Desta forma, um ensaio foi realizado com vacas em lactação submetidas a dietas de cana-de-açúcar suplementadas com diferentes fontes energética e protéica (farelo de soja, soja-grão e milho). Os resultados desse teste de validação, a descrição da etapa de desenvolvimento e a aplicação do modelo na avaliação de dietas para vacas em lactação são apresentados no presente capítulo.

2. Introdução

A carência de informações sobre vários parâmetros ruminais e pós-ruminais dos alimentos forrageiros fez com que a Embrapa Gado de Leite se associasse à Universidade Federal de Viçosa para avaliar as principais fontes nutricionais utilizadas na alimentação do gado leiteiro. Assim, uma série de ensaios foi desenvolvida com o objetivo de se conhecer as transformações por que passam os constituintes da dieta ao longo do trato digestivo do ruminante. Inicialmente, utilizou-se novilhos adaptados com fístulas ruminal, abomasal e ileal, submetidos a dietas de cana-de-açúcar e, posteriormente, vacas fistuladas alimentadas com outras fontes de forragem. Atualmente, já se dispõe de um acervo razoável de informações sobre degradação ruminal dos alimentos mais comumente empregados em dietas de vacas leiteiras no Brasil (e.g. Valadares Filho et al., 1990; Valadares Filho, 1994; Aroeira et al., 1995; Aroeira et al., 1996).

A necessidade de se analisar, de forma mais integrada, as informações acumuladas no decorrer dos sucessivos ensaios de digestão induziu a Embrapa Gado de Leite a adotar um novo enfoque de pesquisa em nutrição animal, tendo como instrumento básico a simulação matemática. Nesse processo, associaram-se às duas instituições originais mais quatro instituições internacionais de pesquisa agropecuária: o Institute of Grassland and Environmental Research do Agriculture and Food Research Council, a Universidade de Reading, ambos na Grã-Bretanha, o Centre for Food and Animal Research do Ministério da Agricultura do Canadá e a Universidade Agrícola de Wageningen, Holanda. Desta forma, um modelo de simulação que representa a dinâmica de nutrientes no trato digestivo de bovinos foi elaborado para avaliar dietas de ruminantes. Ele possibilita analisar a dieta através de suas características de dinâmica ruminal e pós-ruminal, definindo-se como “dieta ideal” aquela que, simultaneamente, apresente maior potencial de síntese microbiana e proporcione maior disponibilidade de nutrientes para absorção no intestino delgado.

Primeiramente, procurou-se estudar a suplementação estratégica de vacas leiteiras alimentadas com a mistura cana-de-açúcar mais uréia (Neal et al., 1993; Assis et al., 1993; Assis et al., 1994a; Dijkstra et al., 1996a,b). Posteriormente, ele foi estendido a dietas baseadas em silagem de milho e alfafa (Assis et al., 1994b,c) e capim-elefante (Assis, 1997). Pretende-se aplicar o modelo, previamente à experimentação física, na formulação de dietas mais eficientes sob os aspectos técnico e econômico. Este procedimento poderá eliminar ensaios desnecessários, submetendo aos testes físicos apenas aquelas dietas que apresentarem melhores resultados na simulação.

O objetivo do presente capítulo é descrever as fases de desenvolvimento e de validação do modelo e, também, apresentar alguns exemplos de seu uso na avaliação de dietas para vacas em lactação.

3. Descrição do modelo

3.1. Estrutura

O modelo baseia-se em três modelos relatados na literatura (France et al., 1982; Baldwin et al., 1987; Dijkstra et al., 1992), porém sua estrutura é mais simplificada e adequada a condições nutricionais inferiores às aquelas representadas nesses modelos. A Figura 1 ilustra a estrutura básica do modelo,

cujos limites situam-se entre a ingestão de nutrientes, a sua absorção pelas paredes do rúmen (amônia e AGV) e dos intestinos delgado (glicose, aminoácidos e lipídios) e grosso (amônia e AGV) e a excreção dos resíduos nas fezes.

No modelo, considera-se o trato gastrintestinal do ruminante composto de três grandes compartimentos: estômago - contendo rúmen, retículo, omaso e abomaso; intestino delgado - com duodeno, jejuno e íleo; e intestino grosso - ceco, colo e reto. Considera-se 20 "pools" (12 ruminais e 8 intestinais) como 'variáveis de estado', representadas na Figura 1 por blocos de linhas cheias, a saber:

- Frações nitrogenadas: proteínas degradável (PDR), indegradável (PIR) e solúvel (PSR) no rúmen; amônia ruminal (AMR) e cecal (AMC); proteína alimentar no intestino grosso (PAG); e proteína endógena no estômago (PEE) e nos intestinos delgado (PED) e grosso (PEG);

- Carboidratos: fibras degradável no rúmen (FDR) e indegradável (FIR) no rúmen; fibra no intestino grosso (FIG); açúcares + amido solúvel (CSR) e insolúvel (AIR) no rúmen (CSR); e amido no intestino grosso (ADG);

- Ácidos graxos: AGV no rúmen (AVR) e no ceco (AVC); e lipídios no rúmen (LIR);

- Microorganismos no rúmen (MIR) e no ceco (MIC).

Considera-se, também, quatro variáveis de 'pool zero' (blocos de linhas pontilhadas) que representam os nutrientes disponíveis para absorção no intestino delgado, ou sejam: amônia (AMD), aminoácidos (AAD), glicose (GLD) e lipídios (LID). Assume-se que minerais e vitaminas estão presentes em quantidades ilimitadas.

No modelo, os microorganismos do rúmen utilizam os carboidratos solúveis (CSR) advindos diretamente da dieta e da degradação da fibra e do amido insolúvel, juntamente com a amônia (AMR) resultante da hidrólise e fermentação das proteínas alimentar e endógena. Os protozoários são considerados a porção microbiana que é seletivamente retida no rúmen e reciclada via lisis. O restante do "pool" microbiano é constituído de bactérias que podem passar para os compartimentos inferiores nas fases líquida e sólida da digesta. As proporções de bactérias e protozoários variam de acordo com o tipo de dieta.

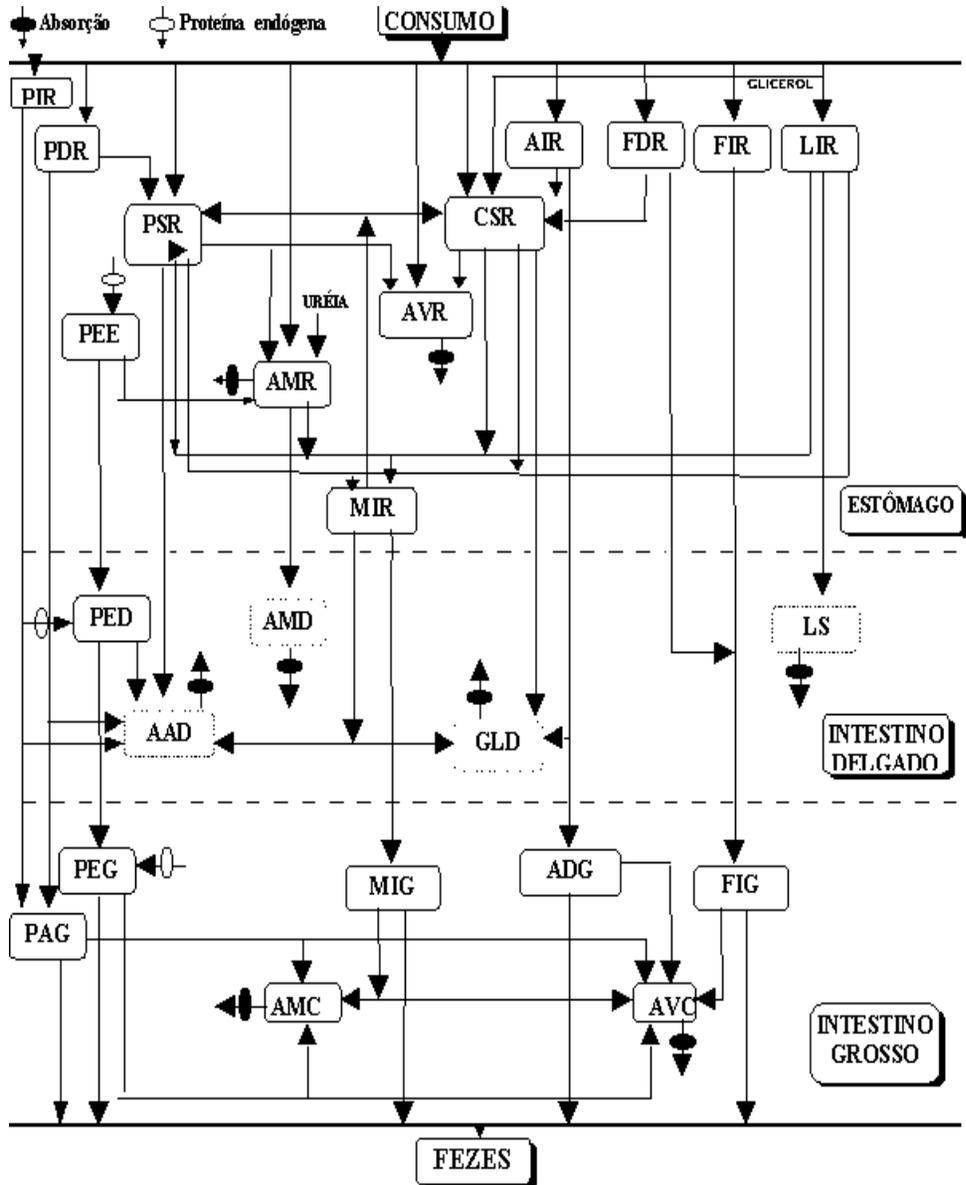


Figura 1. Fluxograma ilustrando a dinâmica de nutrientes no trato digestivo de ruminantes.

O nitrogênio reciclado através da saliva e da parede ruminal é representado por apenas um fluxo agregado (UR) que entra no “pool” de amônia (AMR). A amônia é removida do “pool” por três vias: (i) incorporando-se à massa microbiana, (ii) absorvida pela parede ruminal, e (iii) fluindo para o intestino delgado. Os AGV produzidos e absorvidos no rúmen e ceco estão representados de forma agregada em dois simples “pools”. Os nutrientes disponíveis para absorção no intestino delgado são os aminoácidos, derivados das proteínas microbiana, alimentar e endógena, a glicose, derivada do amido e dos carboidratos solúveis e microbiano, e os lipídios da dieta.

3.2. Algoritmos

Existem atualmente duas versões do modelo: Cane.csl, programada em Advanced Continuous Simulation Language-ACSL (Mitchel e Gauthier, 1981) e implementada em computador VAX nas Universidades de Reading e Wageningen (Neal et al., 1993; Dijkstra et al., 1996a,b), e Simula.csm, programada em Continuous Simulation Modeling Program-CSMP (IBM, 1975), versão adaptada para microcomputadores (Jansen et al., 1988), desenvolvida na Embrapa Gado de Leite (Assis et al., 1994b, c).

Os cálculos são processados através de uma série de equações diferenciais que atualizam os “pools” ou variáveis de estado. Na versão Cane, as equações diferenciais são resolvidas pelo método Runge-Kutta a cada milésimo de hora, enquanto na versão Simula, emprega-se o método Adams a cada décimo de hora. Os fluxos de nutrientes são representados por uma série equações de conservação de massa ou do tipo Michaelis-Menten, assumindo cinética de primeira ordem.

3.3. Parametrização

Na quantificação dos parâmetros, foram utilizados dados de ensaios com novilhos alimentados à base de cana-de-açúcar (Figueira et al., 1991; Aroeira et al., 1995). Alguns parâmetros sem informações locais foram computados de acordo com dados de literatura internacional (Kennedy e Milligan, 1980; Warner, 1981; Van Soest, 1982; Egan et al., 1986; Baldwin et al., 1987; Tamminga et al., 1990). Os valores desses parâmetros podem ser ajustados para acomodar outros tipos de dietas, tais como, silagem de milho, feno de gramíneas e leguminosas e forragens verdes.

3.4. Predição de desempenho animal

Numa primeira etapa, enfoca-se apenas os processos de manutenção e síntese de leite. No futuro, poderão ser incluídos a gestação, o crescimento e o metabolismo das reservas corporais.

Na predição da resposta animal, considera-se o peso vivo do animal e a composição (i.e. lactose, gordura e proteína) e o valor energético do leite como variáveis de entrada, que são definidas pelo próprio usuário. Assume-se, também, os seguintes valores energéticos para os nutrientes absorvidos:

glucose (kg)	17,4 MJ
proteína (kg)	18,4 MJ
gordura (kg)	39,8 MJ
acetato (mol)	0,875 MJ
propionato (mol)	1,527 MJ
butirato (mol)	2,184 MJ

Os requerimentos nutricionais de manutenção são assim definidos:

Energia - para vacas em lactação considera-se um valor igual a 0,450 MJ/kg $W^{0,75}$ por dia, onde $W^{0,75}$ é o peso metabólico do animal. Este valor é derivado do sistema de energia metabolizável (EM) do ARC (1980), convertido para energia líquida, tendo em vista que no modelo os nutrientes apresentam-se prontamente disponíveis para absorção; e

Proteína - assume-se um valor de 2,3 g/kg $W^{0,75}$ por dia conforme o AFRC (1992).

Os requerimentos nutricionais para a síntese de leite são calculados da seguinte forma:

Energia - com base na composição do leite, em termos de lactose, gordura e proteína, estima-se o seu valor energético (VEL) pela equação:

$VEL (MJ/l) = 17,4 \times Lactose + 24,0 \times Proteína + 39,8 \times Gordura$, com cada constituinte em kg/l. A eficiência de utilização da energia metabolizável na síntese do leite é 60-65% (ARC 1980). Como a EM contém calor de fermentação e os nutrientes absorvidos não, adota-se o maior valor (65%). Portanto, a energia líquida necessária para a produção de 1 litro de leite é: $VEL / 0,65 (MJ)$;

Proteína - de acordo com o AFRC (1992), a proteína da dieta é utilizada na síntese do leite com uma eficiência de 85% e contém 80% de aminoácidos, ou seja: fator de eficiência = 68%. Desta forma, sabendo-se o seu conteúdo protéico (CPL), estima-se a necessidade de proteína para síntese de 1 litro de leite: $CPL/0,68$ (kg);

Lipídios - o número médio de carbonos dos ácido graxos secretados no leite (triglicerídeos-TGL) é 14,3 (Hanigan e Baldwin, 1994). Sendo assim, 1 mol de ácidos graxos de cadeia longa (AGCL) corresponde a 232,2 g e o peso molecular dos TGL é 735 g (i.e. 3 moles de ácidos graxos e 1 mol de glicerol, liberando 3 moles de água). Assume-se que 50% dos ácido graxos são obtidos de nutrientes pré-formados (AGCL) e os 50% restantes são derivados de outras fontes, principalmente, acetato e butirato (MacCrae et al., 1988; Hanigan e Baldwin, 1994). Consequentemente, para se produzir 1 g de TGL necessita-se de 0,4739 g de ácidos graxos absorvidos (50% de $3 \times 232,2/735$). Assim, dado o seu conteúdo de gordura (CGL), tem-se a quantidade de AGCL requerida para um litro de leite: $0,4739 \times CGL$ (g);

Glicose - a glicose (ou seus precursores) é necessária para a síntese de lactose, e prover glicerol e NADPH para a síntese de TGL. Na síntese de lactose a relação é 1:1. No caso do glicerol, para cada mol de TGL formado, necessita-se de 1 mol de glicerol, sendo que 1 mol de glicose pode produzir 2 moles de glicerol. Assim, 1 g de TGL no leite, requer $1/735 \times 0,5 \times 162 = 0,1102$ g de glicose para prover glicerol. A síntese de AGCL, principalmente via acetato e butirato, requer 2 moles de NADPH para cada 2 carbonos na cadeia (McDonald et al., 1988). Consequentemente, cada mol de TGL no leite requer $3 \times 14,3 = 42,9$ moles de NADPH. Como 50% dos TGL do leite são sintetizados de novo (Hanigan e Baldwin, 1994) e 50% de NADPH formados via pentose-fosfato, e os outros 50% de NADPH derivados da reação isocitrato-dehidrogenase (Smith et al., 1983), tem-se 10,725 moles de NADPH formados da glicose via pentose-fosfato. Segundo McDonald et al. (1988), 1 mol de glicose produz 12 moles de NADPH. Assim, necessita-se de $1/735 \times 10,735/12 \times 162 = 0,1070$ g de glicose/g de TGL. Portanto, tendo-se os conteúdos de lactose (CLL) e gordura (CGL), pode-se calcular a necessidade de glicose para a produção de 1 litro de leite, ou seja: $(0,1102 + 0,1970) CGL + CLL$;

Ácidos graxos voláteis - além do propionato ser usado como precursor de glicose, há necessidade de AGV para a síntese de novo de AGCL. Como mencionado anteriormente, 50% dos AGCL são sintetizados de novo e 50% do

NADPH requerido são fornecidos pela reação isocitrato-dehidrogenase. Dada a proporção molar dos AGV (Ac:Pr:Bu) de cada dieta (variável de entrada definida pelo usuário), calcula-se quantos moles de carbono - i.e. $C = 2(Ac + 2Bu) / (Ac + Bu)$, estão contidos em 1 mol de AGV (apenas Ac + Bu, já que todo o propionato é usado para síntese de glicose). Considerando que o comprimento médio da cadeia de AGCL é 14,3 carbonos, a quantidade de AGV necessária por grama de TGL no leite é 50% de $3 \times 14,3 / 735 / CB = 29,18 / C$, ou $14,59(Ac + Bu) / (Ac + 2Bu)$ mmoles. A produção de 1 mol de NADPH na reação isocitrato-dehidrogenase resulta na perda de 1 mol de NADH a ser utilizado na formação de 3 moles de ATP (McDonald et al., 1988). Por outro lado, 1 mol de acetato ou butirato produz 10 ou 27 moles de ATP, respectivamente. Dadas as proporções de acetato e butirato na dieta, a produção de 1 mol de NADPH necessitará de $3(Ac + Bu) / (10Ac + 27Bu)$ mmoles de AGV. Como calculado anteriormente, 10,725 moles de NADPH/mol de TGL devem ser produzidos via isocitrato. Consequentemente, $1/735 \times 10,725 \times 3(Ac + Bu) / (10Ac + 27Bu) = 43,78 (Ac + Bu) / (10Ac + 27Bu)$ mmoles de AGV são necessários para sintetizar a quantidade de NADPH requerida, e o total de AGV requerido para a produção de leite fica sendo:

$$CGL \times 14,59(Ac + Bu) [3/(10Ac + 27Bu) + 1/(Ac + 2Bu)] \text{ moles/l.}$$

Tendo-se as quantidades de nutrientes disponíveis para absorção e as informações de requerimentos nutricionais, determina-se a produção de leite em função do nutriente mais limitante, entre energia, proteína, glicose e lipídios. Assim, a dieta é avaliada com base no seu potencial produtivo.

4. Resultados e discussão

4.1. Versões elaboradas

Duas versões do modelo foram desenvolvidas e refinadas, simultaneamente: Cane.csl e Simula.csm. Dois artigos científicos sobre a versão Cane foram publicados no Journal of Agricultural Science, Cambridge (Dijkstra et al., 1996a,b). Embora já consolidada, esta versão subestima o fluxo de nitrogênio não amoniacal no duodeno, provavelmente por não considerar as fontes de proteína endógena no trato digestivo. Atualmente, ela está sendo refinada quanto a este aspecto, constituindo-se em projeto de tese da doutoranda Sandra Iara Rodrigues na Universidade de Wageningen, Holanda.

Por outro lado, a versão Simula procura corrigir algumas deficiências da versão Cane, adicionando as seguintes características ao modelo:

(i) representação da cinética do nitrogênio endógeno no trato digestivo - como a versão Cane não considera as fontes de proteína endógena, na Simula representa-se a dinâmica da produção e utilização do nitrogênio endógeno no trato digestivo. Um artigo científico sobre o tema foi publicado no *Journal of Animal and Feed Sciences* (Assis et al., 1997a);

(ii) representação do intestino grosso - a versão Cane representa o intestino grosso através dos coeficientes de digestibilidade da fibra e do amido, enquanto a Simula considera que este compartimento contém 'pools' de substâncias que não foram digeridas nem absorvidas nos compartimentos anteriores. Com este atributo completa-se a representação de todo o ciclo da digestão, absorção e reciclagem de nutrientes no trato gastrintestinal do ruminante.

4.2. Validação com dados de fluxo de nutrientes

O modelo foi verificado e validado com dados de experimentos locais (Oliveira, 1990; Figueira et al., 1991; Matos, 1991) e outros relatados na literatura (Munthali e Pate, 1986; Alcântara et al., 1989), nos quais novilhos e carneiros foram alimentados com dietas à base de cana-de-açúcar. Outrossim, para verificar o desempenho do modelo com dietas baseadas em outras forrageiras, dados de 14 ensaios com silagem de milho e feno e silagem de alfafa foram levantados na literatura (Hogan e Weston, 1967; Dixon e Nolan, 1982; Bosch et al., 1988; Cecava et al., 1988; Cecava et al., 1990; Siciliano-Jones e Murphy, 1989; Charmley e Vieira, 1990; Charmley et al., 1991; Leibholz, 1991; Newbold et al., 1991; Stokes et al., 1991; Kung et al., 1992; Schwab et al., 1992; Doreau et al., 1993).

A capacidade preditiva do modelo foi aferida tomando-se as diferenças entre os valores preditos e os dados de literatura e calculando-se o Quadrado Médio do Erro da Predição (Mean Square Prediction Error-MSPE). Os valores preditos das concentrações ruminais (amônia e AGVs) e dos fluxos de matéria orgânica e nitrogênio, tanto no abomaso e como no íleo e nas fezes, sempre estiveram dentro da amplitude de variação dos dados experimentais (Assis et al., 1993; 1994a,b; Dijkstra et al., 1996a). Os erros de predição (MSPE) foram inferiores a 25%, com exceção de alguns casos de silagem de milho em vacas em lactação, cujos erros foram mais elevados.

Todos os parâmetros da versão Simula foram aferidos e compatibilizados com os parâmetros da versão Cane, permitindo assim comparações de seus

resultados (Assis et al., 1997b). Após a harmonização dos parâmetros, a versão Simula foi validada com os mesmos dados de fluxo de nutrientes em bovinos em crescimento usados na validação da versão Cane (Tabela 1; Figura 2). Contudo, para se aplicar o modelo na avaliação de dietas de vacas em lactação, foi necessário testá-lo com dados de produção de leite.

Tabela 1. Comparação entre as duas versões do modelo de simulação (CSMP e ACSL) quanto a suas previsões de fluxo e absorção de nutrientes em uma vaca alimentada com cana-de-açúcar e quatro níveis de adição de uréia (0, 5, 10, 15 g/kg de MS).

VARIÁVEIS	DIETA 1		DIETA 2		DIETA 3		DIETA 4	
	ACSL	CSMP	ACSL	CSMP	ACSL	CSMP	ACSL	CSMP
Fluxo no duodeno (g/d)								
Fibra (FDN)	3100	3418	2700	3213	2700	3213	2700	3212
Açúcares	713	944	232	263	231	262	231	261
Nitrogênio n-amoniacal	39,6	70,6	75,3	100,3	75,5	100,5	75,5	100,5
Nitrogênio microbiano	34,9	28,4	70,7	56,9	70,9	57,0	70,9	57,1
Nitrogênio endógeno	0	39	0	36	0	36	0	36
Lipídeos	64	47	68	47	68	47	68	47
Concentração ruminal								
Amônia (mg/l)	1	1	68	79	157	174	241	268
AGVs (mmol/l)	47	38	56	49	56	49	56	49
Nutrientes absorvidos								
Aminoácidos (g/d)	156	206	314	378	315	379	315	379
Glicose (g/d)	721	1148	247	504	246	503	246	503
AG cadeia longa (g/d)	57	47	61	47	61	47	61	47
AGV totais (mol/d)	34	37	41	44	41	44	41	44

4.3. Validação com dados de produção de leite

O modelo de simulação tinha sido validado somente com dados de fluxo de nutrientes no trato digestivo de animais em crescimento (Dijkstra et al., 1996a; Assis et al., 1997b). Por isso, para verificar a capacidade do modelo de prever a produção de leite, foi necessária a realização de um ensaio com 32 vacas leiteiras alimentadas com quatro dietas à base de cana-de-açúcar mais uréia suplementada com: FS- farelo de soja (1,58 kg MS/vaca/dia); GS1.6- grãos de soja moídos (1,60 kg MS/vaca/dia); GS3.2- grãos de soja moídos (3,20 kg MS/vaca/dia); e GSM- mistura de grãos de soja (2,10 kg) e milho (1,00 kg MS/vaca/dia) moídos.

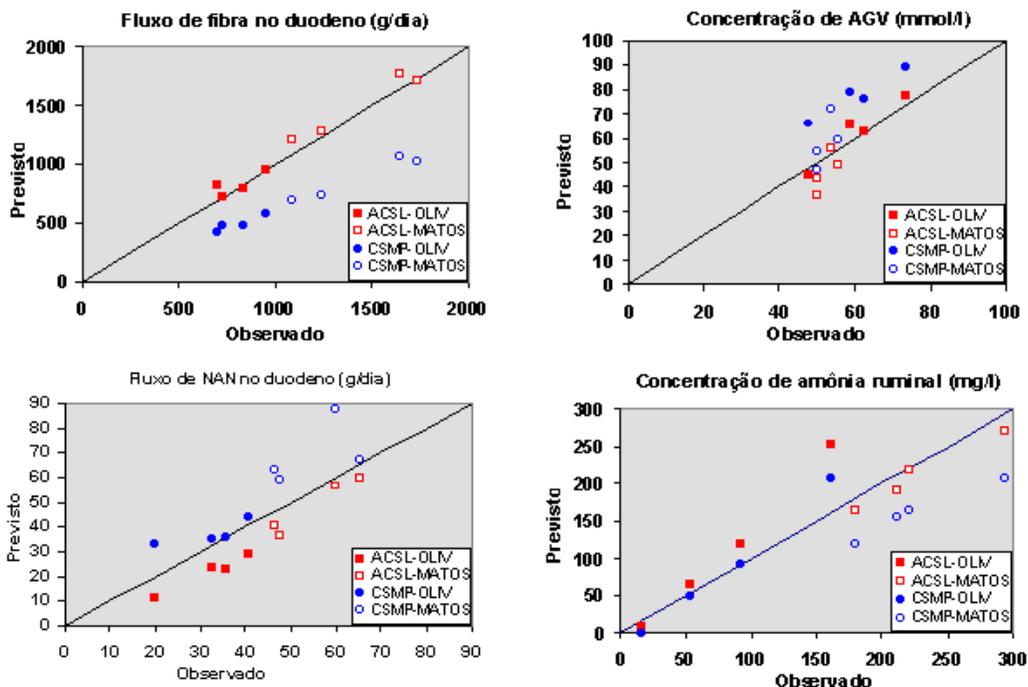


Figura 2. Comparação dos valores observados em ensaios de digestão com os valores previstos pelas versões SIMULA (CSMP) e CANE (ACSL).

Os dados de composição dos alimentos e de consumo de MS, produção de leite e peso vivo dos animais são apresentados nas Tabelas 2 e 3. Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para a produção de leite e no ganho de peso dos animais ($P > 0,05$). Os resultados da simulação comparados com os dados observados no ensaio estão representados na Tabela 3 e na Figura 4. Houve concordância entre as produções previstas pelo modelo e as produções observadas no ensaio, especialmente quando se considera as predições via proteína (MSPE < 8%). Os piores resultados foram obtidos quando se usou os lipídios como nutrientes de referência (MSPE > 120%), decidindo-se excluí-los desse teste de validação. Observou-se, também, que no tratamento com alta proporção de grãos de soja (GS3.2) as produções foram superestimadas. Retirando-se este tratamento da análise, o erro é reduzido para 4%.

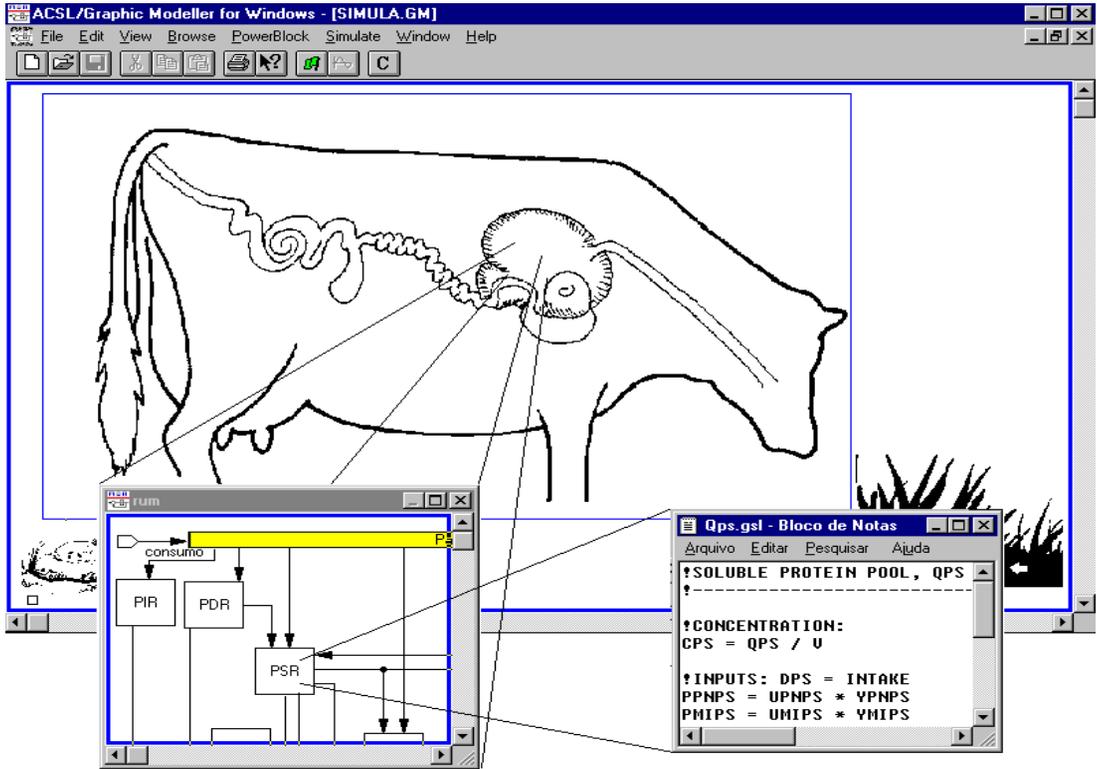


Figura 3. Representação gráfica do modelo de simulação em ACSL for Windows.

As simulações indicaram que, excetuando os lipídios e o tratamento SG3.,2, a proteína foi o fator mais limitante à produção de leite em todas as situações avaliadas. A adição de farelo ou de grãos de soja à mistura cana/uréia, nas quantidades estabelecidas, não foi suficiente para ajustar a proteína ao nível dos outros nutrientes.

Tendo em vista a consistência dos resultados com referência à proteína, energia e glicose, pode-se afirmar que o modelo está apto para ser aplicado na seleção de estratégias de alimentação de vacas em lactação com dietas a base de cana-de-açúcar mais uréia. Contudo, há necessidade de se aferir a participação dos ácidos graxos essenciais representados, de forma agregada no modelo, pelos lipídios. Especialmente em dietas com alto teor de óleo (e.g. grãos de soja, farelo de arroz, caroço de algodão, etc.) o desempenho do modelo pode ser prejudicado.

4.4. Conversão para ambiente Windows

Concluída a harmonização dos parâmetros entre a versão Simula e a Cane (Assis et al., 1997b), elaborou-se uma nova versão do modelo (Assis et al., 1997c), utilizando o sistema ACSL/Graphic Modeller for Windows (MGA, 1996).

Esta versão oferece recursos mais sofisticados de simulação e de apresentação de resultados, tornando a experimentação com o modelo mais eficiente e amigável ao usuário.

Tabela 2. Composição média dos alimentos e taxas de degradação da proteína, fibra e amido.

Item	Cana de açúcar	Farelo de soja	Milho grão	Soja grão
Matéria Seca (MS) (%)	29,12	82,56	80,51	83,57
Matéria Orgânica (% MS)	95,64	93,33	97,74	94,57
Proteína Bruta (PB) (% MS)	2,44	46,13	9,93	36,67
Proteína Degradável (% PB)	52,83	77,57	60,71	81,89
Solubilidade do Nitrogênio (% N Total)	48,56	19,50	24,80	31,20
Carboidratos Solúveis (% MS)	42,02	0,00	0,00	0,00
Amido (ST) (% MS)	0,00	27,20	69,60	24,28
Extrato Etéreo (% MS)	1,03	2,31	6,94	21,01
Fibra em Detergente Neutro (FDN)(% MS)	50,15	17,68	11,27	12,97
Degradabilidade Potencial FDN (%)	46,78	100,00	66,99	100,00
Taxa de Degradação PB (% / h)	2,94	3,82	3,95	3,80
Taxa de Degradação FDN (% / h)	2,47	0,20	8,45	0,29
Taxa de Degradação ST (% / h)	-	25,00	40,00	30,00

Na versão Graphic Modeller, o modelo é representado pela imagem de uma vaca leiteira (Figura 3). O acesso às várias seções do programa se realiza pressionando nos respectivos compartimentos do trato gastrintestinal do animal. Abrindo-se cada compartimento, pode-se visualizar as relações matemáticas ali contidas facilitando, assim, a busca e a identificação de equações. Na próxima etapa, esta versão será testada com dietas a base de outras forrageiras, bem como procurar-se-á conhecer melhor os seus recursos computacionais, antes de disponibilizá-la aos usuários.

Tabela 3. Peso vivo (kg), consumo de alimentos (kg MS/vaca/dia), produções de leite observadas (PO) e previstas (PP) (kg/vaca/dia) e nutriente mais limitante (NL), por animal experimental.

Trat.	Vaca Nº	Peso vivo	Consumo de MS				PO	PP	NL
			Cana	Uréia	Conc.	Total			
FS	0278	552,00	10,74	0,38	1,57	12,70	11,19	10,21	Proteína
	1315	554,00	11,57	0,41	1,57	13,56	10,71	10,55	Proteína
	1344	478,86	9,00	0,32	1,57	10,89	11,61	10,13	Proteína
	1357	530,86	10,21	0,37	1,57	12,15	9,64	10,17	Proteína
	1370	558,00	11,91	0,43	1,57	13,91	11,93	10,66	Proteína
	1522	466,14	9,74	0,35	1,57	11,66	10,18	10,57	Proteína
	9159	511,29	11,26	0,4	1,57	13,23	12,59	10,81	Proteína
	P 3283	507,00	9,48	0,34	1,57	11,40	12,65	10,07	Proteína
GS1.6	0242	450,71	9,41	0,34	1,59	11,34	13,40	9,01	Proteína
	1469	428,43	7,48	0,27	1,59	9,34	8,77	8,39	Proteína
	2545	455,00	8,80	0,32	1,59	10,70	11,75	8,70	Proteína
	3507	509,43	9,88	0,35	1,59	11,83	10,57	8,66	Proteína
	9112	543,71	8,17	0,29	1,59	10,06	12,26	7,60	Proteína
	9590	580,00	8,16	0,29	1,59	10,05	8,85	7,27	Proteína
	P 4251	526,86	8,67	0,31	1,59	10,58	7,07	7,97	Proteína
	P 4271	458,43	9,01	0,32	1,59	10,93	10,67	8,76	Proteína
GS3.2	0268	530,29	8,47	0,3	3,18	11,96	11,67	18,55	Proteína
	0296	551,43	6,08	0,22	3,18	9,48	11,19	13,35	Energia
	1452	511,43	8,27	0,3	3,18	11,75	10,23	18,64	Proteína
	2431	494,00	8,69	0,31	3,18	12,19	12,19	18,97	Proteína
	9109	620,29	4,88	0,18	3,20	8,25	5,53	9,73	Energia
	9253	475,71	9,20	0,33	3,18	12,71	13,86	19,36	Proteína
	P 3267	510,14	8,46	0,3	3,18	11,94	12,24	18,73	Proteína
	P 3293	474,43	8,15	0,29	3,18	11,62	10,52	18,94	Proteína
M	0329	645,14	9,22	0,33	3,10	12,65	12,23	12,42	Proteína
	0367	480,00	7,43	0,26	3,11	10,80	11,86	13,13	Proteína
	1482	460,14	8,22	0,3	3,10	11,61	13,35	13,66	Proteína
	3522	390,57	5,86	0,21	3,10	9,17	9,32	13,30	Proteína
	5297	604,29	7,49	0,27	3,10	10,86	9,89	12,02	Proteína
	9093	536,00	7,38	0,27	3,10	10,74	15,45	12,58	Proteína
	9107	504,43	8,26	0,3	3,10	11,66	12,20	13,26	Proteína
	9181	513,43	9,22	0,33	3,10	12,65	12,93	13,60	Proteína
Erro (MSPE)								7,91%	

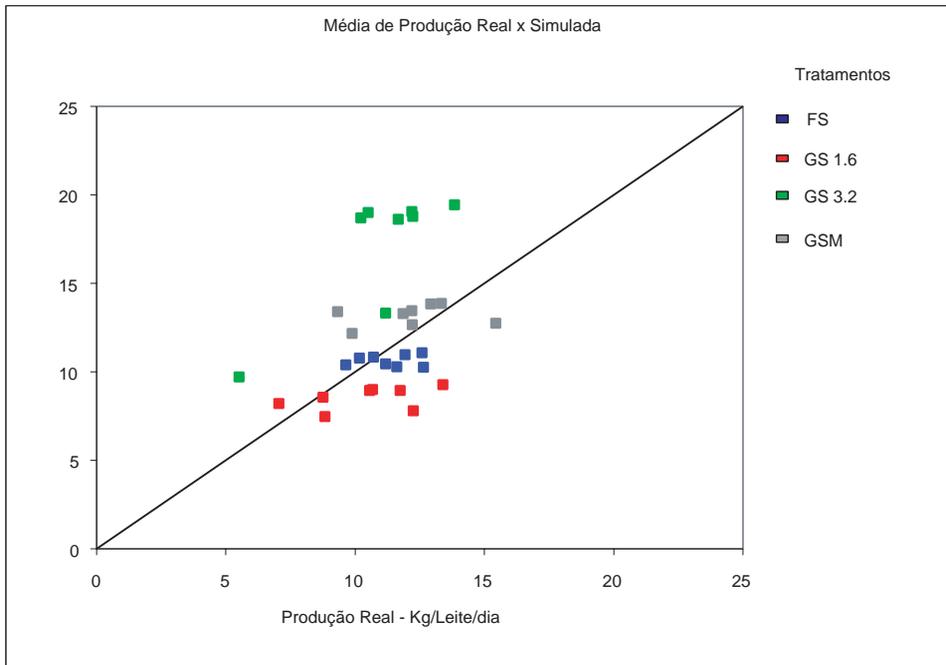


Figura 4. Gráfico dos resultados de simulação comparados com os dados observados no ensaio.

4.5. Extensão do modelo para outras dietas

A aplicação da versão Simula em dietas a base de silagem de milho e feno e silagem de alfafa (Assis et al., 1994a,b), evidenciou a necessidade de se ajustar alguns parâmetros ruminais, particularmente aqueles relacionados com a proporção de ácidos graxos voláteis, em especial, nas dietas com silagem de milho.

Procurando estender os estudos de simulação para outros tipos de dietas, três testes foram realizados com capim-elefante e cana/uréia suplementada com leucena e farelo de arroz. Considerou-se que, em dietas de cana-de-açúcar com uréia, a proporção de protozoários no líquido ruminal, relativo a proporção de bactérias, é maior (40 vs. 60%) do que em dietas a base de capim-elefante suplementado com cana (30 vs. 70%). No modelo, esta relação influencia, particularmente, a taxa de passagem dos microorganismos do rúmen para o duodeno, pois assume-se que os protozoários ficam retidos no rúmen e as

bactérias passam, tanto na fase líquida como na fase sólida, para o duodeno.

No primeiro teste, procurou-se representar um sistema de produção no período da seca, envolvendo simulações de vacas leiteiras submetidas a quatro dietas com diferentes proporções de matéria seca de capim-elefante/cana-de-açúcar/concentrado, com base na matéria seca, respectivamente: Dieta A - 4,3/4,3/1,7; Dieta B - 4,3/6,5/1,7; Dieta C - 6,5/4,3/1,7; e Dieta D - 6,5/6,5/1,7. Os resultados desse estudo (Tabela 4) mostraram que as produções de leite baseadas no nutriente mais limitante variaram de 8,99 (Dieta A, energia-limitante) a 12,45 kg/vaca/dia (Dieta D, lipídios-limitante). Observa-se que os lipídios foram os nutrientes mais limitantes nas Dietas B, C e D, indicando que, nessas condições, a suplementação com algum ingrediente rico em gordura poderá elevar a produção de leite até 18 kg/vaca/dia (Dieta D, proteína).

Tabela 4. Resultados da simulação da produção de leite (kg/vaca/dia) em função dos nutrientes disponíveis de dietas a base de capim-elefante mais cana-de-açúcar.

Dieta (*)	Nutrientes disponíveis			
	Energia	Glicose	Proteína	Lipídios
A	8,99	11,57	10,72	9,58
B	12,54	12,77	14,10	10,63
C	11,81	11,86	14,10	11,57
D	15,17	15,10	18,20	12,45

(*) Dieta A - 4,3 / 4,3 / 1,7; Dieta B - 4,3 / 6,5 / 1,7; Dieta C - 6,5 / 4,3 / 1,7; e Dieta D - 6,5 / 6,5 / 1,7 kg MS/vaca/dia de capim-elefante, cana-de-açúcar e concentrado, respectivamente.

No segundo teste, simulou-se a situação do período das “águas”, com dietas de capim-elefante como único volumoso, suplementado ou não com grãos de soja ou milho (Assis, 1997). Pelo resultado de uma série de simulações (Tabela 5), foi possível verificar o quanto a energia pode limitar a produção de leite em sistemas de pastejo de capim-elefante: sem suplementação, a produção é limitada a 7,0 (Dieta I) e 11,7 kg/vaca/dia (Dieta II). Se a energia for suprida adequadamente, pode-se atingir 13,3 (Dieta III) e

Tabela 5. Produções de leite (kg/vaca/dia) em função dos nutrientes disponíveis de dietas de capim elefante como volumoso exclusivo.

Dieta (*)	Nutrientes disponíveis		
	Energia	Glicose	Proteína
I	7,0	9,6	16,3
II	11,7	14,0	21,3
III	13,3	17,9	28,3
IV	20,0	22,6	31,5

20,0 kg/vaca/dia (Dieta IV). Assim, a glicose torna-se o próximo fator limitante, mas que pode ser suprida por fontes de amido e carboidratos solúveis, tais como milho, melaço ou cana-de-açúcar. Efetuando as suplementações energéticas necessárias e utilizando fontes adequadas de carboidratos não-estruturais, pode-se atingir até 22,6 kg de leite/vaca/dia (Dieta IV) em pastagem de capim-elefante. Os aminoácidos não foram limitantes para a produção de leite, sugerindo que o teor de proteína do capim-elefante pastejado é suficiente para sustentar níveis de produção superiores àqueles determinados pelas quantidades, potencialmente disponíveis, de energia e equivalente glicose. Amostras de capim-elefante, obtidas por pastejo simulado, apresentaram teores de proteína bruta variando de 13 a 15% na matéria seca (Deresz, 1994).

No terceiro teste, avaliou-se a suplementação da mistura cana/uréia com leucena ou farelo de arroz (Assis et al., 1998; Dijkstra et al., 1996c). A simulação indicou o nutriente mais limitante para cada situação (Figura 5). A adição de leucena na dieta basal melhorou a disponibilidade de aminoácidos e, assim, os lipídios e a energia tornaram-se os nutrientes mais limitantes. A suplementação com farelo de arroz aumentou a disponibilidade de energia e lipídios, mas neste caso, os aminoácidos tornaram-se, novamente, limitantes da produção de leite. A suplementação com uma mistura de leucena com farelo de arroz aumenta, ainda mais, a produção. Estes resultados concordam com aqueles observados na literatura (Alvarez e Preston, 1976; Alvarez et al., 1978).

Paralelamente aos testes de validação, exercícios de simulação foram conduzidos com o objetivos de identificar dietas mais competitivas em termos de produção de leite e de retorno econômico. Três níveis de consumo (i.e. 8, 10 e 12 kg MS/vaca/dia) e três tipos de volumosos (i.e. pasto de capim-elefante, cana-de-açúcar e silagem de milho) foram testados com quatro suplementos (i.e. milho e farelos de soja, algodão e arroz) em quatro níveis de fornecimento (0, 1, 2 e 3 kg MS/vaca/dia). Testou-se também, a adição de 1 kg de farelo de arroz nas dietas com 3 kg de milh-grão, farelo de soja e farelo de algodão, e 1 kg de farelo de soja nas dietas com 3 kg de farelo de arroz. Os custos dos volumosos e os preços dos suplementos e do leite foram variados, permitindo, assim, simular diferentes condições de mercado. As dietas foram classificadas de acordo com seu potencial de produção de leite e sua relação benefício/custo (Tabela 6). Dentre as 153 dietas analisadas, apenas 21 apresentaram retorno econômico negativo (relação benefício/custo menor que 1,0).

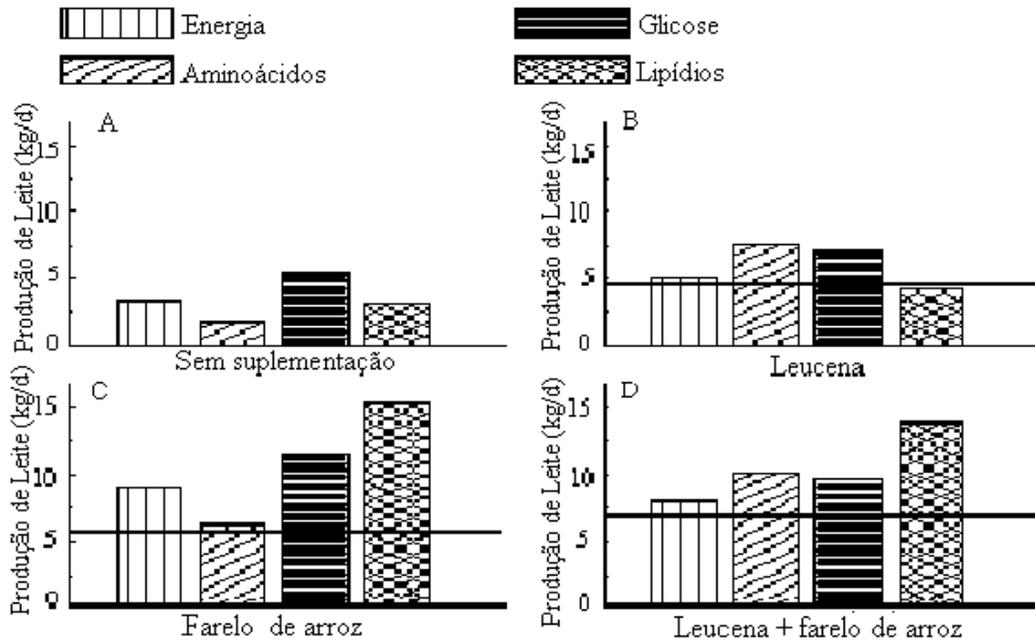


Figura 5. Produção de leite predita de acordo com a disponibilidade de energia, aminoácidos, glicose e lipídios em dietas a base de cana-de-açúcar + uréia exclusiva.

Tabela 6. Resultados das simulações com dietas à base de capim-elefante, silagem de milho e cana-de-açúcar + uréia suplementadas com diversos ingredientes, classificadas em ordem decrescente de retorno econômico (B/A).

ORDEM	DIETA	PROD. LEITE	CUSTO (A)	RECEITA (B)	B/A
	(kg MS / vaca / dia)	(kg/vaca/dia)	(R\$/vaca/dia)	(R\$/vaca/dia)	
1º	Capim-elefante (10) + MG (3) + FZ (1)	19,22	0,84	5,38	6,42
2º	Capim-elefante (8) + MG (3) + FZ (1)	17,57	0,77	4,92	6,41
3º	Capim-elefante (8) + MG (3)	13,97	0,63	3,91	6,17
4º	Capim-elefante (12) + FZ (3)	17,93	0,82	5,02	6,11
	:	:	:	:	:
	:	:	:	:	:
23º	Capim-elefante (12)	6,79	0,42	1,90	4,52
24º	Capim-elefante (10)	5,65	0,35	1,58	4,52
25º	Silagem de milho (12) + FA (3) + FZ (1)	25,91	1,64	7,26	4,42
26º	Silagem de milho (12) + FA (3)	22,87	1,51	6,40	4,24
27º	Silagem de milho (10) + FA (2)	16,84	1,13	4,72	4,18
	:	:	:	:	:
	:	:	:	:	:
37º	Capim-elefante (8)	3,93	0,28	1,10	3,93
38º	Silagem de milho (8) + FA (3) + FZ (1)	19,44	1,40	5,44	3,89
39º	Silagem de milho (12) + FZ (3) + FS (1)	19,45	1,42	5,45	3,83
40º	Capim-elefante (12) + FA (3) + FZ (1)	18,11	1,33	5,07	3,81
	:	:	:	:	:
	:	:	:	:	:
60º	Cana-de-açúcar+uréia (12) + FZ (3) + FS (1)	14,85	1,33	4,16	3,12
61º	Capim-elefante (12) + FA (2)	10,39	0,94	2,91	3,10
62º	Capim-elefante (10) + FA (2)	9,26	0,87	2,59	2,99
63º	Capim-elefante (12) + FS (1)	7,55	0,71	2,11	2,98
64º	Capim-elefante (12) + FS (3) + FZ (1)	14,97	1,42	4,19	2,95
65º	Silagem de milho (8) + FS (3)	13,94	1,36	3,90	2,88
66º	Cana-de-açúcar+uréia (8) + FZ (3) + FS (1)	13,21	1,29	3,70	2,88
	:	:	:	:	:
	:	:	:	:	:
126º	Silagem de milho (12)	3,10	0,73	0,87	1,19
127º	Cana-de-açúcar+uréia (8) + FS (3)	6,11	1,46	1,71	1,17
128º	Cana-de-açúcar+uréia (10) + FZ (3)	4,62	1,14	1,29	1,13
129º	Silagem de milho (8) + MG (1)	2,41	0,61	0,68	1,11
	:	:	:	:	:
	:	:	:	:	:
151º	Cana-de-açúcar+uréia (10)	0,00	0,74	0,00	0,00
152º	Cana-de-açúcar+uréia (12)	0,00	0,89	0,00	0,00
153º	Cana-de-açúcar+uréia (8)	0,00	0,59	0,00	0,00

FA = farelo de algodão; FZ = farelo de arroz; MG = milho-grão; FS = farelo de soja.

Os resultados dessas simulações comprovaram a tendência geral observada em outros estudos, em que o máximo físico (i.e. produção de leite) não corresponde ao máximo econômico. A dieta que proporcionou maior produção potencial (i.e. 25,91 kg de leite/vaca/dia) foi a silagem de milho (12 kg MS) com farelo de algodão (3 kg) adicionado de farelo de arroz (1 kg). Contudo, a que apresentou maior retorno econômico foi a dieta com capim-elefante (10 kg MS) com milho-grão (3 kg), e farelo de arroz (1 kg), com produção potencial de 19,22 kg de leite/vaca/dia. Considerando os preços médios dos insumos e do leite, as dietas de capim-elefante, silagem de milho e cana-de-açúcar+uréia, de maior retorno econômico, apresentaram relação benefício/custo de 6,42, 4,42 e 3,12, respectivamente.

5. Considerações finais

Os resultados dos testes com cana-de-açúcar, capim-elefante e leucena demonstram o potencial de aplicação do modelo para outras forrageiras tropicais. Espera-se validar estes resultados comparando-os com dados gerados em novos ensaios de alimentação, especialmente em condições de pastejo. A parceria com outras instituições permitirá o estabelecimento de uma rede de validação do modelo. Concluindo os próximos testes de validação com dados de produção de leite baseada em outras forrageiras (e.g. braquiárias, *Panicum* sp. e coast-cross) versões executáveis em CSMP (i.e. Simula.csm) e em ACSL for Windows (i.e. Simula.csl) poderão ser disponibilizadas a usuários especiais que irão testá-las em diferentes condições nutricionais e econômicas.

Referências bibliográficas

AFRC. Nutritive requirements of ruminant animals. **Nutrition Abstracts and Reviews**. Series B, Wallingford, v.62, p.787-835, 1992. (Report protein, 9).

ALCANTARA, E.; AGUILERA, A.; ELLIOT, R.; SHIMADA, A. Fermentation and utilization by lambs of sugarcane harvested fresh and ensiled with and without NaOH. 4. Ruminal kinetics. **Animal Feed Science Technology**, Amsterdam, v.23, p.323-331, 1989.

ALVAREZ, F. J.; PRESTON, T. R. Leucaena leucocephala as protein supplement for dual purpose milk and weaned calf production on sugarcane based rations. **Tropical Animal Production**, Merida, v.1, p.112-118, 1976.

ALVAREZ, F. J.; WILSON, A.; PRESTON, T. R. Leucaena leucocephala as protein supplement for dual purpose milk and weaned calf production on sugarcane based diets: comparisons with rice polishings. **Tropical Animal Production**, Merida, v.3, p.51-55, 1978.

ARC. **The nutrient requirements of ruminant livestock**: technical review. Farnham Royal: CAB, 1980.

AROEIRA, L. J. M.; LOPES, F. C. F.; DAYRELL, M. S.; LIZIEIRE, R. S.; TORRES, M. P. Digestibilidade, degradabilidade e taxa de passagem da cana-de-açúcar mais uréia e do farelo de algodão em vacas mestiças holandês x zebu em lactação. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v.24, p.1016-1026, 1995.

AROEIRA, L. J. M.; LOPES, F. C. F.; DAYRELL, M. S. Degradabilidade de alguns alimentos no rúmen de vacas holandês/zebu. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.26, p.1178-1186, 1996.

ASSIS, A. G. Produção de leite a pasto no Brasil. GOMIDE, J.A. ed. In: **Produção animal em pastejo**. Viçosa, MG: UFV, 1997. p.381-409.

ASSIS, A. G.; CAMPOS, O. F.; VEIRA, D. M.; FRANCE, J.; AROEIRA, L. J. M.; NEAL, H. D. ST. C. Simulation of nutrient flows through the gastrointestinal tract of cattle fed sugar cane based diets. In: WORLD CONFERENCE OF ANIMAL PRODUCTION, 7., 1993, Edmonton. **Proceedings ...** Edmonton, 1993. v.2, p.133.

ASSIS, A. G.; FRANCE, J.; NEAL, H. D. ST. C.; DIJKSTRA, J. AROEIRA, L. J. M. Modelling digestive processes in cattle fed sugar cane diets. **Proceedings of the Society of Nutrition Physiology**, Willingen , v.3, p.27, 1994a.

ASSIS, A. G.; DURÃES, M. C.; DIJKSTRA, J.; FRANCE, J.; MOREIRA, R. L.; BASTOS, P. S. Simulação da dinâmica de nutrientes no trato gastrointestinal de ruminantes. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 1994, Maringá. **Anais...** Maringá: SBZ, 1994b. p.445.

ASSIS, A. G.; DIJKSTRA, J.; FRANCE, J.; VEIRA, D. M.; NEAL, H. D. ST.C.; AROEIRA, L. J. M. Simulation of nutrient flows in the gastrointestinal tract of ruminants in the tropics. In: ANNUAL MEETING OF THE EUROPEAN ASSOCIATION OF ANIMAL PRODUCTION, 45., 1994, Edinburgh. **Proceedings...** Edinburgh: European Association of Animal Production, 1994c. p.150.

ASSIS, A. G.; FRANCE, J.; DIJKSTRA, J.; VEIRA, D. M.. A model for estimating endogenous protein flows in the gastrointestinal tract of ruminants. **Journal of Animal and Feed Sciences**, Jablorra, v.6, p.289-301, 1997a.

ASSIS, A. G.; DIJKSTRA, J.; MACIEL, A. S. P.; ANDRADE, R. S. Formulação de dietas baseada na dinâmica de nutrientes em bovinos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34., 1997, Juiz de Fora, MG. **Anais...** Juiz de Fora: SBZ, 1997b. v.1, p.82-84.

ASSIS, A. G.; MACIEL, A. S. P.; ANDRADE, R. S. Conversão de um modelo de cinética de nutrientes para plataforma Windows. In: REUNIÃO ANUAL DA SBZ, 34., 1997, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: SBZ, 1997c. v.1, p.85-87.

ASSIS, A. G.; DIJKSTRA, J.; FRANCE, J. Diet evaluation by modelling nutrient kinetics in dairy cows fed tropical forages. In: WORLD CONFERENCE ON ANIMAL PRODUCTION, 8., **Proceedings...** Seoul, 1998. p.304-305.

ASSIS, A.G.; BARBOSA, P.F.; SILVA Jr., A.G. Modelagem de sistemas para tomada de decisões na pecuária leiteira. In: SIMPÓSIOS E WORKSHOPS DA REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36., 1999, Porto Alegre, RS. **Anais...** PENZ Jr., Am. et al. (Eds.), p. 297-306. Porto Alegre, RS: SBZ, 1999.

BALDWIN, R. L.; THORNLEY, J. H. M.; BEEVER, D. E. Metabolism of the lactating cow. II. Digestive elementary of a mechanistic model. **Journal of Dairy Research**, Edinburgh, v.54, p.107-131, 1987.

BOSCH, M. W.; JANSSEN, I. M.; BRUCHEM, J.; BOER, H.; HOF, G. Digestion of alfalfa and grass silages in sheep.1. Rates of fermentation in and passage from the reticulorumen. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v.36, p.175-185, 1988.

CECAVA, M. J.; MERCHEN, N. R.; BERGER, L. L.; FAHEY JR., G. C. Effects of dietary energy level and protein source on site of digestion and duodenal nitrogen and amino acid flows in steers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.66, p.961-974, 1988.

CECAVA, M. J.; MERCHEM, N. R.; BERGER, L. L.; ANDERSON, D. R. Effect of energy level and feeding frequency on site of digestion and post-ruminal nutrient flows in steers. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.73, p.2470, 1990.

CHARMLEY, E.; VEIRA, D. M.. Inhibition of proteolysis in alfalfa silages using heat at harvest: Effects on digestion in the rumen, voluntary intake and animal performance. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.68, p.2042-2051, 1990.

CHARMLEY, E.; VEIRA, D. M.; BUTLER, G.; AROEIRA, L.; CODAGNONE, H. C. V. The effect of frequency of feeding and supplementation with sucrose on ruminal fermentation of alfalfa silage given ad libitum or restricted to sheep. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v.71, p.725-737, 1991.

DEREZ, F. Manejo de pastagens de capim-elefante para a produção de leite e carne. In: SIMPÓSIO SOBRE CAPIM-ELEFANTE, 2., 1994, Juiz de Fora. **Anais...** Coronel Pacheco, MG: EMBRAPA – CNPGL, 1994. p.116-137.

DIJKSTRA, J.; NEAL, H. D. ST. C.; BEEVER, D. E.; FRANCE, J. Simulation of nutrient digestion, absorption and outflow in the rumen: model description. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v.122, p.2239-2256, 1992.

DIJKSTRA, J.; FRANCE, J.; NEAL, H. ST. C.; ASSIS, A. G.; AROEIRA, L. J. M.; CAMPOS, O. F. Simulation of digestion in cattle fed sugarcane: model development. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, 127:231-246. 1996a.

DIJKSTRA, J.; FRANCE, J.; ASSIS, A. G.; NEAL, H. ST. C.; CAMPOS, O. F.; AROEIRA, L. J. M. Simulation of digestion in cattle fed sugarcane: prediction of nutrient supply for milk production with locally available supplements. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, 127: 247:260, 1996b.

DIJKSTRA, J.; FRANCE, J.; BANNINK, A.; ASSIS, A. G. A modelling investigation of the supplementation of sugar-cane with leucaena for milk production by Holstein x Zebu Cattle. **Animal Science**, Penicuik, v.62, n. 3, p.644-645, 1996c.

DIXON, R. M.; NOLAN, J. V. Studies of the large intestine of sheep.1. Fermentation and absorption in sections of the large intestine. **British Journal of Nutrition**, Wallingford Oxon, v.47, p.289-300, 1982.

DOREAU, M.; FERLAY, A.; ELMEDDAH, Y. Organic matter and nitrogen digestion by dairy cows fed calcium salts of rapeseed oil fatty acids or rapeseed oil. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.71, p.499-504, 1993.

EGAN, A. R.; BODA, K.; VARADY, J.. Regulation of nitrogen metabolism and recycling. In: MILLIGAN, L. P.; GROVUM, W. L.; DOBSON, A. ed. **Control of digestion and metabolism in ruminants**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1986. p.386-402.

FIGUEIRA, D. G.; RODRIGUEZ, N. M.; AROEIRA, L. J. M. Dinâmica ruminal e pós-ruminal da cana-de-açúcar e do farelo de algodão em dietas baseadas em farelo de algodão e cana-de-açúcar suplementada com diferentes níveis de uréia. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 28., 1991, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBZ, 1991.

FRANCE, J.; THORNLEY, J. H. M.; BEEVER, D. E. A mathematical model of the rumen. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.99, p.343-353, 1982.

HANIGAN, M. D.; BALDWIN, R. L. A mechanistic model of mammary gland metabolism in the lactating cow. **Agricultural Systems**, Oxford, v.45, p.369-419, 1994.

HOGAN, J. P.; WESTON, R. H. The digestion of chopped and ground roughages by sheep.II. The digestion of nitrogen and some carbohydrate fractions in the stomach and intestines. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v.18, p.803-819, 1967.

IBM-International Business Machines Corporation. Continuous System Modeling **Program III (CSMP III)**: Program reference manual, 4.ed. New York, 1975. 206p.(Program number 5734-XS9).

JANSEN, D. M.; DIERKX, R. T.; VAN LAAR, H. H.; ALAGOS, M. J. *PCSMF on IBM PC-AT's or PC-XT's and compatibles*. Wageningen: Centre for Agrobiological Research (CABO) and Department of Theoretical Production Ecology. **Agricultural University**, 1988. (Simulation Report CABO-TT n. 15).

KENNEDY, P. M.; MILLIGAN, L. P. The degradation and utilization of endogenous urea in the gastrointestinal tract of ruminants: a review. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v.60, p.205-221, 1980.

KUNG JR, L.; TUNG, R. S.; CARMEAN, B. R. Rumen fermentation and nutrient digestion in cattle fed diets varying in forage and energy source. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.39, p.1-12, 1992.

LEIBHOLZ, J. Intake and digestion of lucerne hay and wheat straw by cattle 14 to 56 weeks of age. **Australian Journal of Agricultural Research**, East Melbourne, v.42, p.621-628, 1991.

MACRAE, J. C.; BUTTERY, P. J.; BEEVER, D. E. Nutrient interactions in the dairy cow. In: GARNSWORTH, P. C., ed. **Nutrition and lactation in the dairy cow**. Londres: Butterworths, 1988. p.55-75.

MATOS, N. J. M. **Níveis de ingestão de alimentos e de uréia sobre alguns parâmetros ruminais e digestão total e parcial em bovinos alimentados com dieta base de cana-de-açúcar e uréia suplementada com farelo de arroz.** Viçosa, MG,,: UFV, 1991. 119p.

MCDONALD, P.; EDWARDS, R. A.; GREENHALGH, J. F. D. **Animal Nutrition**, 4. ed. New York: Longman Scientific & Technical: John Wiley & Sons, 1988.

MGA. **Advanced continuous simulation language: ACSL/Graphic Modeller for Windows, User's guide, Version 4.1.** Concord: Mitchell and Gauthier, 1996. 125p.

MITCHELL, E. L.; GAUTHIER, J. **Advanced Continuous Simulation Language.** User Guide/Reference Manual, 3. ed. Concord: Mitchell and Gauthier, 1981.

MUNTHALI, J. T. K.; PATE, F. M. Effects of carbohydrate and nitrogen source on the utilization of sugar-cane diets. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE USE OF NUCLEAR TECHNIQUES IN STUDIES OF ANIMAL PRODUCTION AND HEALTH IN DIFFERENT ENVIRONMENTS, 1986, Vienna. Nuclear and related techniques in studies of animal production and health-proceedings. Vienna: IAEA/FAO, p.501-510, 1986.

NEAL, H. D. ST. C.; FRANCE, J.; ASSIS, A. G.; AROEIRA, L. J. M.; CAMPOS, O. F. Supplementation of sugar cane diets for Brazilian dairy cattle: a modelling study. In: GILL, M.; OWEN, E.; PELLOTT, G. E.; LAWRENCE, T. C., ed. **Animal production in developing countries.** Brighton: British Society of Animal Production, p.161, 1993.

NEWBOLD, C. J.; CHAMBERLAIN, D. G.; THOMAS, P. C. Effect of dietary supplements of sodium bicarbonate with or without additional protein on the utilization of nitrogen in the rumen of sheep receiving a lucerne silage-based diet. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.35, p.191-198, 1991.

OLIVEIRA, W. H. **Digestibilidade aparente e partição da digestão da cana-de-açúcar adicionada de níveis crescentes de uréia.** 1990. 77p. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SCHWAB, C. G.; BOZAC, C. K.; WHITEHOUSE, N. L. Amino limitation and flow to duodenum at four stages of location. 1. sequence of lysine and methionine limitation. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.75, p.3486-3502, 1992.

SICILIANO-JONES, J.; MURPHY, R. Nutrient digestion in the large intestine as influenced by forage to concentrate ratio and forage physical form. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.72, n.2, p.471-481, 1989.

SMITH, G. H.; CRABTREE, B.; SMITH, R. H. Energy metabolism in the mammary gland. In: MEPHAM, T.B., ed. **Biochemistry of lactation**. New York: Elsevier Science Publishers, 1983. p.121-140.

STOKES, S. R.; HOOVER, W. H.; MILLER, T. K.; BLAUWEIKEL, R. Ruminal digestion and microbial utilization of diets varying in type of carbohydrate and protein. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.74, p.871-881, 1991.

TAMMINGA, S.; VAN VUUREN, A. M.; VAN DER KOELEN, C. J.; KETELAAR, R. S.; VAN DER TOGT, P. T. Ruminal behaviour of structural carbohydrates, non-structural carbohydrates and crude protein from concentrate ingredients in dairy cows. **Netherlands of Journal Agriculture Science**, Wageningen, v.38, p.513-526, 1990.

VALADARES FILHO, S. C.; SILVA, J. F. C.; LEÃO, M. I.; EUCLYDES, R.F.; VALADARES, R. F. D.; CASTRO, A. C. G. Degradabilidade "*in situ*" da matéria seca e proteína bruta de vários alimentos em vacas em lactação. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v.19, p.512-522, 1990.

VALADARES FILHO, S. C. Utilização da técnica "*in situ*" para avaliação de alimentos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO DE RUMINANTES, 1994. Maringá. **Anais...** Viçosa, MG: SBZ, 1994. p.95-118.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. Corvallis: O & B Books, 1982. 374p.

WARNER, A. C. I. Rate of passage of digesta through the gut of mammals and birds. **Nutrition Abstracts and Reviews, Series B**, Wallingford, v.51, p.789-820, 1981.

CAPÍTULO IV

MODELOS DE SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTAS DE AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÕES EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE

*Pedro Franklin Barbosa
Miguel Antonio Bueno da Costa
Isaías Torres*

1. Introdução

Este capítulo apresenta uma visão das tendências na construção de modelos de simulação que sirvam de ferramentas auxiliares à tomada de decisão por parte do pecuarista de corte e demais interessados. Já no início do trabalho percebeu-se que a busca de informações, neste campo, seria uma tarefa difícil, por questões de acesso e, até mesmo, pela ausência de informações na literatura. Optou-se, portanto, não por uma visão completa, mas parcial, procurando-se mostrar algumas das tendências observadas no material consultado. Além disso, a pesquisa mostrou que o uso das técnicas de simulação, na modelagem de Sistemas de Produção de Gado de Corte (SPGC), é limitado, não aproveitando todo o potencial disponível atualmente com a tecnologia de Simulação. Os autores concordam totalmente com esta tese.

O trabalho inicia-se com a apresentação dos conceitos gerais de simulação e a sua relevância como ferramenta de apoio à decisão. Apresenta-se, a seguir, um modelo básico de modelagem de SPGC. São destacados alguns modelos que exemplificam o arcabouço de conhecimentos necessários à estruturação de um modelo de SPGC, identificando-se suas características principais. A partir daí os autores passam a defender uma visão sistêmica mais abrangente, onde os modelos evoluam para uma forma mais integrada, que tire proveito do conhecimento produzido até agora e que possa ser útil na simulação de sistemas de produção de gado de corte. Quanto a trabalhos brasileiros, são apresentados alguns modelos que são comentados quanto à sua abrangência, aplicabilidade e possíveis melhorias.

2. Simulação

A simulação é a abordagem de análise de sistemas complexos que mais cresce em popularidade atualmente (Harrel & Tumay, 1995), sendo considerada uma forte ferramenta para o planejamento, projeto e controle de sistemas complexos (Pegden et al., 1990). Além de descrever o comportamento de um sistema, permite a construção de teorias ou hipóteses que expliquem um comportamento observado ou, ainda, a predição de resultados futuros, através da observação dos efeitos das mudanças feitas no modelo ou no seu modo de operação.

O processo metodológico de simular pode ser definido como projetar um modelo de um sistema real e conduzir experimentos neste modelo com o objetivo de entender o comportamento do sistema e/ou avaliar várias

estratégias para a operação do mesmo (Pegden et al., 1990). A simulação serve para descrever, explicar, entender, melhorar um sistema, prever seu comportamento futuro, comparar alternativas ou cenários, comunicar idéias e auxiliar no desenvolvimento destas.

A utilização de um modelo ocorre devido à impossibilidade de se realizar experimentos com o sistema real (que pode até mesmo não existir) ou como forma de se simplificar o sistema real, destacando os elementos relevantes da dinâmica do sistema. Um modelo deve ser construído de forma a atender uma meta estabelecida. Um modelo de simulação não tem a pretensão de ser “otimizante”, mas sim mostrar o que acontece com um sistema, a partir de um cenário inicial escolhido. Depois da verificação do modelo (onde é checado se o modelo construído obedece à lógica planejada) procede-se à validação do mesmo, que consiste na comparação dos resultados do modelo com resultados obtidos em situações reais. Validado o modelo, é possível processar experimentos no mesmo, através de questões do tipo “E Se ...” (“What If”).

3. Tipologia de modelos

Os modelos podem ser classificados de acordo com vários critérios (Pegden et al., 1990). Quanto à similaridade com o sistema real existem os modelos Icónicos, que representam exatamente como são os sistemas estudados, geralmente em escala menor, e os Simbólicos, que capturam as características do sistema real, através de símbolos, matemáticos ou não. Os modelos simbólicos, rodados geralmente em computadores, se subdividem em Analógicos, Digitais e Híbridos de acordo com a natureza do equipamento usado.

No entanto, considerando modelagens de SPGC, duas classificações são essenciais. Quanto à aleatoriedade, os modelos podem ser Determinísticos (quando usam valores pré-definidos e constantes durante a replicação do modelo) ou Estocásticos (quando os valores são gerados utilizando-se distribuições probabilísticas). Quando considera-se o desenrolar dos processos do sistema no tempo, tem-se um modelo chamado Dinâmico, análogo à idéia de um filme. Por outro lado, caso seja considerado apenas um ponto no tempo, tem-se o modelo Estático, análogo a uma fotografia. Por sua vez, os modelos dinâmicos podem ser divididos em Contínuos ou Discretos (associados ao controle da variável tempo, de forma contínua ou discreta respectivamente).

Modelos analíticos utilizam-se de fórmulas matemáticas que geram resultados quantitativos (Harrel & Tumay, 1995). Assim, uma planilha eletrônica que use valores pré-definidos para cálculo do consumo de ração, por

exemplo, é um modelo estático e determinístico. Simuladores profissionais, tais como ARENA, AUTOMOD e PROMODEL, e linguagens de simulação, como SIMAN e GPSS/H, preocupam-se em construir, normalmente, modelos aleatórios dinâmicos discretos.

Quanto à escolha do tipo de modelo, Harrel & Tumay (1995) propõem um uso evolutivo, ou seja, pode-se partir de uma modelagem simbólica, em seguida utilizar um modelo analítico e, posteriormente, usar um modelo de simulação (Figura 1).

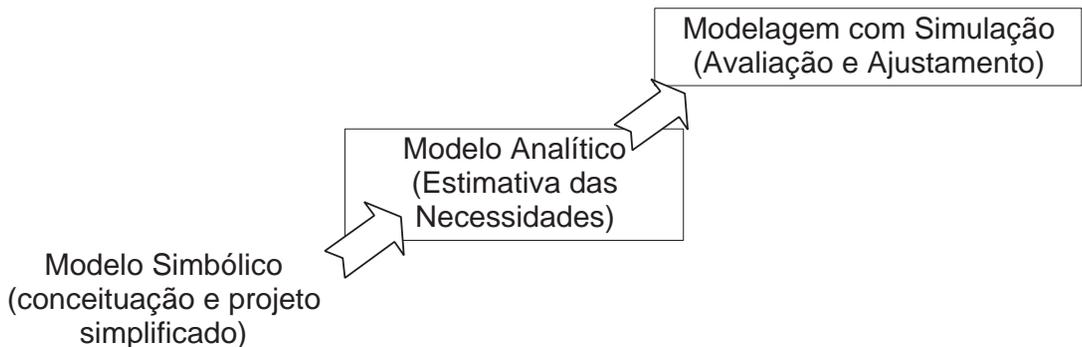


Figura 1. Uso sucessivo de modelos (adaptado de Harrel & Tumay, 1995).

4. Modelo clássico de SPGC

Um modelo de simulação em SPGC que pode ser classificado como “clássico” é o modelo TAMU, desenvolvido na Texas Agriculture & Mechanics University (Sanders & Cartwright, 1979). Trata-se de um modelo dinâmico que simula a utilização de pastagens por um rebanho bovino, considerando taxa de crescimento, produção de leite, fertilidade, taxa de mortalidade, além de características genéticas dos animais (peso à maturidade e taxa de maturação). O modelo TAMU foi usado para comparar vários cenários alternativos, buscando determinar qual rebanho utilizaria melhor os recursos existentes. Foi aplicado com sucesso em vários países como Guiana, Colômbia, Venezuela, Botswana, Tanzânia e USA (Smith, 1979). Como comentário adicional interessante, os autores apontam que a validação do modelo é um processo demorado, que depende da contribuição de várias disciplinas. A validação de qualquer modelo de simulação é, realmente, um trabalho delicado e que, muitas vezes, não é possível de ser realizado.

O modelo TAMU, como apresentado, abrange uma série de dados e informações que se centralizam nos animais e na sua alimentação. Neste modelo, que rodava em *mainframes*, já se percebe a necessidade de interligação entre vários campos do conhecimento na elaboração de um modelo realmente útil de SPGC's. Apesar disso, o modelo TAMU apenas faz indicações quanto a essa questão, concentrando-se nas funções de crescimento e fertilidade, não dando muita ênfase aos demais elementos.

5. Exemplos de outros modelos

Os modelos apresentados a seguir procuram exemplificar algumas das novidades encontradas atualmente. Esta busca não procurou ser exaustiva, mas visou identificar elementos e tendências que estão em curso na área de modelagem de sistemas de produção de gado bovino e que tenham aplicação no caso específico dos bovinos de corte.

5.1. Modelagem de simulação com componentes ambientais no Zimbabwe

Desenvolvido por uma empresa austríaca de informática (Environmental Software & Services GmbH) para o projeto GAIA (<http://www.ess.co.at/GAIA/CASES/ZIM/cattle.htm>), considera a produção de gado de corte em áreas comunitárias do Zimbabwe. São considerados três cenários: manutenção do número real de animais (com a sua variação numérica devido à alternância de períodos de seca e de chuva), um sistema de conservação do número recomendado para produção de carne e um terceiro que procura tirar o máximo proveito das pastagens naturais. Nos períodos de seca a alimentação é comprada e o gado é vendido com subsídio. Os elementos principais, considerados pelo modelo, são: (1) a quantidade de chuva por período; (2) a relação entre biomassa animal e pluviosidade; (3) um modelo de crescimento de gado que considera os recursos alimentares disponíveis; (4) valor de descarte (dinheiro X valor de subsistência, considerando suplementação); (5) níveis de subsídio necessários; (6) produção de pastagem; (7) erosão do solo.

5.2. RUM-LUM

O "Ruminant Landscape Utilization Model" é um sistema integrado que representa a utilização espacial pelos animais, considerando a interação entre vegetação e esses animais, buscando servir de suporte à tomada de decisão

para os administradores. O modelo está sendo desenvolvido na Texas A&M University por Dan Erickson, como trabalho de pós-graduação, em associação com um grupo de estudos. Quando este modelo estiver completo irá integrar vários sub-modelos que incluem o crescimento de plantas, fisiologia animal, pastagens e um sistema GIS, integrados através de uma interface gráfica. O crescimento das pastagens será simulado com o uso do submodelo PHYGROW (<http://cnrit.tamu.edu/rsg/phygrow/>), que simula um ecossistema onde as plantas crescem baseadas em dados hidrológicos. O consumo de pastagens e seus efeitos sobre os animais será gerado pelo NUTBAL (<http://cnrit.tamu.edu/rsg/nutbal/>), um sistema de apoio à decisão composto por vários sub-programas. Com o uso de um sistema GIS, poderá controlar e registrar as posições dos animais. Os tempos gastos com deslocamentos, ingestão, procura de água, ruminação e descanso são usados para determinar, junto com a quantidade de pastagem ingerida, o desenvolvimento dos animais (computado no sub-modelo de crescimento fisiológico). O momento de remanejar os animais, de uma área para outra, é controlado por um sistema baseado em regras.

5.3. GRAZE

O GRAZE (Web.css.orst.edu/Resources/Media/Software/Grazing.html) é um modelo (Parsch & Loewer, 1995) desenvolvido pelo Agricultural & Biological Engineering Department na Universidade da Flórida / USA em parceria com pesquisadores de mais 25 estados americanos. Visando integrar o conhecimento e a experiência de pessoas de várias áreas, o GRAZE fornece uma estrutura para a análise da relação animal-pastagem. É usado para predizer valores como peso, ganho diário, consumo e disponibilidade de pastagem, possibilitando a comparação de vários cenários. A partir do cálculo da pastagem consumida a cada 15 minutos, calcula-se a energia convertida em ganho de peso e energia química e térmica, bem como a redução na disponibilidade de matéria seca. O consumo pelo animal pode ser restringido por fatores como limite físico, regulação termostática e necessidade de repouso. Outros fatores considerados são: temperatura, pluviosidade, nutrientes e teor de umidade do solo e o estágio de crescimento da planta. É um modelo de simulação dinâmica desenvolvido, inicialmente, para uso em mainframes, que posteriormente migrou para plataformas DOS/Windows, com o uso de FORTRAN.

O GRAZE é composto basicamente de um modelo de desenvolvimento de pastagens, um de animais de corte e um que simula a interação dos dois

anteriores. No início da simulação o modelo computa a quantidade de pastagem que estará disponível até o final do dia. A cada 15 minutos, do relógio de simulação, a quantidade consumida pelos animais é retirada do total disponível, sendo convertida em tecidos, energia térmica e química e resíduos liberados no meio ambiente. O modelo fisiológico, que é detalhado e influenciado por regulação termo e quimioestática, além de necessidades de descanso, considera que o animal seleciona a pastagem que propicia a maior taxa de consumo de matéria seca digerível.

5.4. DECI

Sob coordenação do geneticista Gary L. Bennet, o *“Decision Evaluator for the Cattle Industry”* (Hardin, 1998) foi desenvolvido em dois anos por cientistas do Agricultural Research Service e está sendo usado e avaliado por produtores associados à National Cattlemen’s Beef Association (NCBA), consultores e especialistas, rodando sob MS Windows. Este modelo começou a ser desenvolvido no final da década de 80, onde os estudos se concentraram na representação de como a energia alimentar poderia ser melhor convertida em carne. Atualmente, inclui uma análise de produção padrão que a NCBA utiliza para avaliar o desempenho econômico do gado.

Em uma interface amigável, explora cenários “E se...”, procurando identificar cenários gerenciais, oportunidades que de outra forma poderiam ser negligenciadas. Isto é feito através de uma série de escolhas, passo a passo. Como exemplo das questões que podem ser tratadas, tem-se a interferência dos custos do insumo na lucratividade, a consequência da redução da alimentação, as consequências do período estabelecido para estação de monta, a utilização de forragens disponíveis na fazenda, e outras.

O modelo pretende incluir uma análise de custos/retorno sobre investimento na produção de gado, comercializado sob um sistema especial de preço, baseado na característica de uma carne com baixo teor de gordura, em vez de simplesmente peso da carcaça. Atualmente o modelo já consegue prever se o tipo de alimento fornecido é o ideal para animais que produzem carne com menor teor de gordura.

5.4. Modelo de mudança no Peso Corporal Vazio

Integrando dois modelos pré-existentes (Williams & Jenkins, 1998) este modelo, desenvolvido em Nebraska (EUA), divide o chamado Peso Corporal Vazio (PCV) em matéria com gordura e matéria sem gordura. Ao ser

comparado com animais alimentados até 815 kg de PCV, o modelo apresentou resultados precisos para o momento do abate e conseguiu prever a composição do corpo do animal, em qualquer idade, sob diferentes regimes alimentares. O ganho energético é dividido e a energia retida é utilizada para os cálculos do modelo.

5.5. Modelo preditivo de crescimento e composição de carcaça de bovinos de corte

Este modelo (Kilpatrick & Steen, 1999) do *Department of Agriculture for Northern Ireland* (DANI) se apresenta como um modelo atualizado, gerado a partir de um modelo desenvolvido em 1980 pelo *Commonwealth Agricultural Bureaux*.

O modelo busca prever, com precisão, os efeitos de consumo de energia metabolizável (EM) e da composição da dieta em termos da qualidade da silagem, da razão silagem/concentrado, taxa de crescimento e composição da carcaça. Um modelo anterior apresentava algumas deficiências na predição do efeito do consumo de EM sobre o crescimento e o conteúdo de gordura, principalmente para dietas ricas em concentrado e com limites ao consumo de silagem. Estas deficiências, entre outras, foram sanadas através da utilização de vários experimentos, levados a cabo por vários anos, por pesquisadores do DANI e pelo *Agricultural Research Institute of Northern Ireland* (ARINI). Partindo de uma abordagem empírica, o modelo, desenvolvido em MS Excel, apresenta as seguintes entradas:

- Detalhes da silagem, como análise de conteúdo, custos e consumo (estimado a partir de um modelo do peso corporal metabólico do ARINI, calculado a partir de características de silagem ou fornecido diretamente);
- Detalhes do concentrado (consumo diário, análise de conteúdo e custos);
- Detalhes dos animais: raça, gênero, condição inicial, peso vivo, preço de compra e de venda e demais subsídios financeiros.

O modelo pode trabalhar de três maneiras: (1) determinação do tempo para se atingir uma faixa de peso pré-definida; (2) determinação do resultado do uso dos recursos existentes e da compra e venda de animais; e (3) determinação do nível de concentrado para que se obtenha uma certa taxa de crescimento.

A validação do modelo foi feita com experimentos envolvendo vários animais e mostrou uma excelente aproximação entre o modelo e os dados reais. Os autores sugerem a futura integração entre este modelo e outros que contemplem outros aspectos da produção, como desempenho econômico por exemplo.

6. O Modelo de Sanders e Cartwright, 20 anos mais tarde: Ampliação da visão sistêmica

Os autores do modelo TAMU clássico já apontavam que seu modelo era limitado. Como uma tentativa de ampliar e tornar mais atual o modelo, é possível incorporar alguns elementos que, graças aos esforços científicos de várias áreas do conhecimento, passam a estar disponíveis. Inicialmente, pode-se considerar o efeito da presença do rebanho sobre as pastagens. Esse efeito pode incluir a escassez pelo consumo ou por dano, o que não foi contemplado no modelo inicial. Pode-se acrescentar um novo componente ao modelo, que é a influência do clima/meio ambiente sobre os animais e sobre a fonte de alimentação. Exemplo destes dois adendos podem ser vistos no modelo GRAZE (Parsch & Lowever, 1995) e no modelo proposto por Young (1999).

Além disso, com a ecologia fazendo parte das pautas de discussões sobre produção agropecuária e suas implicações econômicas, este elemento deveria ser acrescentado também ao modelo. Um exemplo disso é o modelo que está sendo desenvolvido no Zimbábue por uma empresa austríaca para o projeto GAIA (<http://www.ess.co.at/GAIA/CASES/ZIM/cattle.htm>). Outro possível elemento de estudo ecológico/biológico da produção animal seria o aumento da propagação de pragas, em meio ao rebanho, com sua probabilidade se alterando à medida em que se altera o número de animais. A genética, que no modelo clássico estava representada indiretamente através de valores fornecidos de reprodução, consumo, etc., pode ser hoje considerada de forma mais direta.

Quanto à modelagem da alimentação do gado, existem hoje modelos alternativos, como o da Cornell University (Fox et al., 1995) e do NRC (NRC, 1984). Além disso, há trabalhos que ainda detalham mais os modelos de crescimento. Um deles (Williams & Jenkins, 1998) separa o chamado Peso Corporal Vazio (PCV) em matéria com gordura e matéria sem gordura, em todos os estágios de maturidade do animal. No modelo clássico, não há essa distinção, havendo apenas a preocupação com ganho de peso. Uma nova dimensão a ser adicionada ao modelo é a capacidade de se auto-regular a partir da incorporação do conhecimento do pecuarista, por exemplo. Assim, um sistema de regras (sistema especialista) permitiria que o modelo tomasse decisões, adicionando um componente que torna mais real a replicação do modelo. Um trabalho de Costa (1995) aponta várias vantagens do uso desta tecnologia da informação. Um modelo, além de poder tomar certas decisões independentemente, poderia assessorar o pecuarista na resolução de determinados problemas. Como exemplo, do uso deste

novo componente, tem-se o modelo desenvolvido pela Embrapa Pecuária Sudeste em parceria com a Universidade Federal de São Carlos (Costa et al., 1999).

6.1. Administração e tomada de decisão em sistemas de produção de gado de corte

O modelo TAMU assim como muitos outros concentram-se em simular o crescimento dos animais e sua alimentação, considerando no máximo a inclusão de novos elementos como o ecológico, o climático, o genético, etc. Há um componente, entretanto, que merece atenção e que deve ser considerado para enriquecimento do modelo TAMU: as questões de gerenciamento e o processo de tomada de decisão.

O gerenciamento de um sistema de produção qualquer assume as dimensões estratégica, tática e operacional. O tipo de informação necessário a tomada de decisão, em cada uma destas dimensões, é bem diferente. As decisões estratégicas, em geral, têm efeitos mais profundos sobre o sistema de produção, apesar de serem executadas no longo prazo. As táticas têm efeitos muito mais limitados e ações a médio prazo. No nível operacional tem-se as ações de prazo muito curto relativas ao funcionamento do sistema. Assim, enquanto no nível operacional existem as ações de alimentação do gado e seu manejo, por exemplo, no nível tático tem-se as decisões de melhoramento das instalações. No nível estratégico as preocupações caminham para questões do tipo: Qual o mercado que se pretende atingir? Vai-se optar por confinamento ou não? A raça será mantida? Enfim, são decisões de grande porte que influenciarão o sistema produtivo no longo prazo.

O aumento da capacidade de um modelo, para poder considerar estas questões, envolve o acesso a vários tipos de informações que devem ser usadas de forma diferenciada. Inclui a necessidade do modelo interagir fortemente com os detentores das informações e com os decisores. Um exemplo deste tipo de dimensão é o gerenciamento econômico do SPGC que deve considerar questões como demandas de mercado, regras sanitárias, barreiras à exportação/importação, etc. A inclusão deste tipo de conhecimento pode ser exemplificada pelo modelo DECI, que trabalha dados de desempenho econômico da indústria da carne dos Estados Unidos com outros sub-modelos, como sistemas de apoio à decisão e sistemas de simulação do desenvolvimento dos animais. Um modelo brasileiro que dá um passo na direção econômica é o apresentado por Tatizana & Peres (1995).

Estes elementos, comentados anteriormente, enriqueceriam o modelo TAMU (Figura 3). Esta proposta tem apenas o caráter de ilustrar como é

possível obter um modelo mais amplo e, portanto, mais próximo da realidade encontrada no processo decisório de sistemas de produção de gado de corte.

Observando os modelos apresentados anteriormente, nota-se que os mesmos são limitados e incorporam apenas alguns elementos de um universo muito maior de possibilidades. Certamente a alta complexidade envolvida tem sido o principal motivo dessa limitação. Acrescente-se a isso, ainda, a falta de conhecimento e de tecnologias que possibilitem a incorporação desses elementos aos modelos. É preciso também integrar vários campos do conhecimento que ainda estão em desenvolvimento. Outro ponto a favor da integração é que se deve considerar todo o sistema e não somente as partes, na análise de um problema dinâmico complexo. A otimização das partes não necessariamente leva a um ótimo no sistema devido à existência com frequência de *tradeoffs* provenientes de contradições entre os objetivos de cada uma das partes (Meredith & Mantel, 1995). Assim o uso de modelos isolados pode levar a resultados impraticáveis.

Especificamente com relação aos SPGC, há a necessidade de se aplicar uma série de conhecimentos para dar suporte à decisão do pecuarista de corte. Estas decisões incluem várias áreas do conhecimento e a necessidade do trabalho de várias pessoas, na maior parte especialistas. O produtor ou pecuarista, só, é incapaz de ter acesso à grande quantidade de informações, que devem ser manipuladas, para uma correta tomada de decisão. Mesmo que se tenha acesso a uma gama maior de informações, o risco é tomar uma decisão baseada apenas em algumas delas, não enxergando todo o sistema de produção de gado de corte. Um exemplo é investir em aumento da produção quando há uma retração nas vendas, ou quando há “barreiras brancas” às exportações.

Depreende-se daí a necessidade de um sistema de apoio à decisão que permita o gerenciamento das informações. É importante que o pecuarista estabeleça vários cenários de interesse, visualizando assim as possíveis conseqüências de suas escolhas atuais. Os sistemas atuais tendem a se tornar cada vez mais complexos, exigindo um ferramental capaz de representar (de forma simplificada, se possível) esta complexidade, permitindo a condução de estudos que levem a um maior conhecimento do funcionamento do sistema e de sua dinâmica no tempo.

Dois aspectos importantes a serem considerados na adoção de grandes modelos sistêmicos é a integração do conhecimento, que se dá na maioria dos casos através de sistemas computadorizados amigáveis. Quando se trata da operação integrada de softwares, trabalhos têm apontado que a alternativa prática para se sanar a falta de um sistema que realmente integre as

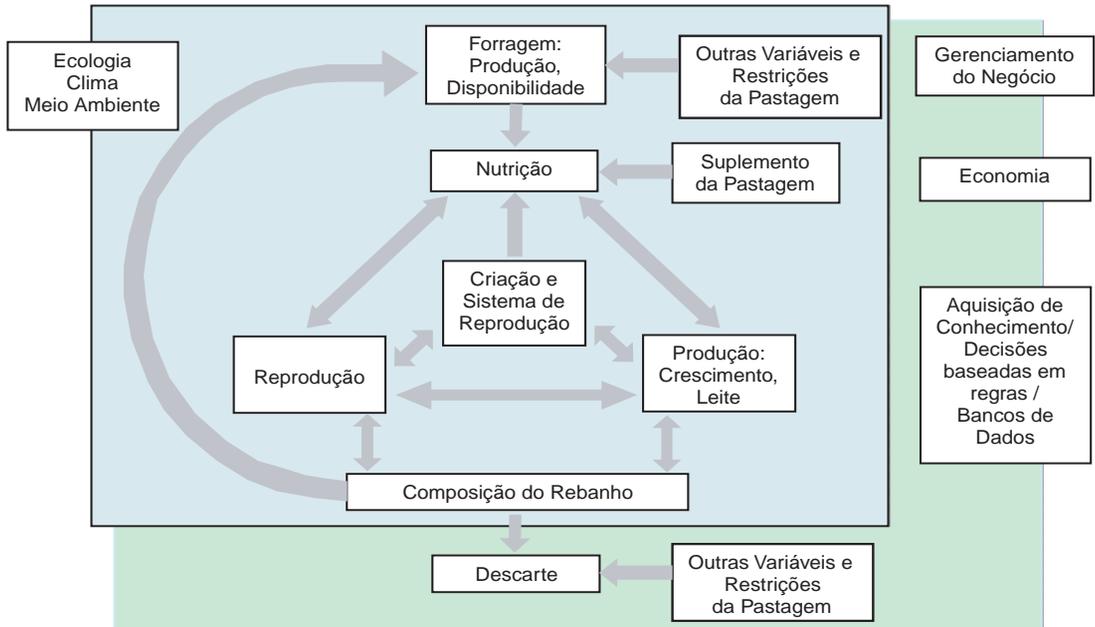


Figura 3. Modelo TAMU enriquecido.

ferramentas em um sistema complexo é “trabalhar com um conjunto de diversos softwares independentes, cada qual responsável por parte da tentativa de solução do problema” (Saraiva et al., 1997). Assim, por exemplo, pode-se tirar vantagem das ferramentas e modelos existentes de geoprocessamento, sistemas especialistas, modelos de simulação e outros. Nestes casos, é visível a importância de um modelo de simulação trabalhando lado a lado com um sistema decisório baseado em regras.

A partir da obtenção de dados sobre a condição de animais, pastagens e outros insumos (incluindo dados econômicos e financeiros) pode-se utilizar o modelo de simulação para projetar cenários, respondendo à questões colocadas pelo decisor, e obter resultados tanto quantitativos quanto qualitativos. A simulação pode considerar, dinamicamente, um grande conjunto de variáveis, uma tarefa impraticável para muitos.

O sistema de apoio à decisão pode atuar de várias formas. Uma delas recai na automatização de algumas regras do negócio, o que garante uma

maior representatividade do mundo real no modelo. Outra é a possibilidade de sugerir ações ao produtor, diante de uma situação simulada. Quanto à amigabilidade do modelo, o usuário final deve fornecer dados e obter respostas de forma simples e rápida. Um exemplo de sistema amigável é o DECI, que mantém os sub-modelos sob uma interface que utiliza perguntas para direcionar o usuário na caracterização do problema e na tomada de decisão. Como exemplificação do nível das informações que podem ser incluídas em um sistema desta natureza, é apresentada a seguir uma técnica de obtenção automatizada de dados de animais.

6.2. Coleta automatizada de dados

A utilidade de um modelo de apoio à decisão necessariamente passa por dados reais precisos. Especificamente com relação à simulação, estes dados são importantes tanto na construção do modelo quanto na sua validação. Assim técnicas avançadas de coleta de dados podem até mesmo levar a casos onde o modelo de simulação esteja sendo executado em tempo real, poucos instantes antes dos eventos reais ocorrerem no sistema sob estudo.

Um exemplo interessante de tecnologias de aquisição de dados (além de outras técnicas como a coleta eletrônica de dados e determinação de teor de carne ou gordura via ultrassom) é a varredura tridimensional a laser. Nesta técnica (Figura 4a), que está sendo desenvolvida na Universidade de Guelph (Canadá), os animais passam por um *scanner laser* sendo produzido uma representação tridimensional computadorizada do animal (Figura 4b), podendo-se a partir daí obter instantaneamente o ganho de peso, tamanho da carcaça,

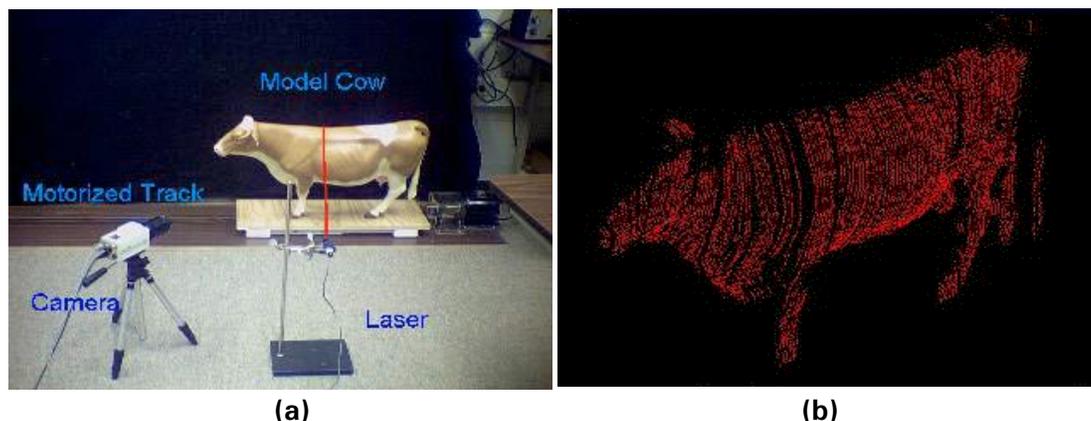


Figura 4. Técnica de varredura tridimensional a laser de bovinos.

etc. Com uma ferramenta dessas no campo, os dados podem ser enviados, automaticamente, para uma nova replicação do modelo de simulação ou serem comparados com dados simulados anteriormente.

7. Simulação à brasileira

Uma busca realizada no Brasil mostrou poucos resultados sobre o uso de simulação de sistemas de produção de bovinos de corte. Entretanto, existem modelos que merecem destaque. Estes modelos apresentam abordagens diferentes de desenvolvimento, assim como focos de atenção distintos.

7.1. EMBRAPEC

O Modelo Bioeconômico de Pecuária de Corte (Cezar, 1982a,b) destina-se a auxiliar o produtor na análise de decisões que interfiram no sistema produtivo, considerando, além de dados biológicos, dados econômicos. Neste modelo é possível analisar o desenvolvimento das fazendas (cria, recria ou engorda) e também, se desejável, analisar somente as atividades diretamente ligadas à pecuária. Permite a inclusão de dados da estrutura física dos animais e de culturas auxiliares. Desenvolvido em FORTRAN IV, o modelo de crescimento e desenvolvimento dos animais não é muito detalhado e depende de muitos dados que devem ser fornecidos pelo usuário do sistema.

O modelo pode simular uma grande quantidade de situações do dia-a-dia do pecuarista. As saídas envolvem dados como custo de operação, investimentos necessários, impostos e encargos, fluxo de caixa, etc. Além desses dados, que permitem a análise do desempenho do sistema criatório, o modelo fornece os correspondentes resultados técnicos da criação.

Alguns resultados da utilização do Embraptec são apresentados em um capítulo específico.

7.2. HERDSIZE

A partir de uma série de questões postas ao criador, o HERDSIZE faz cálculos e cuida dos detalhes da alocação de um rebanho bovino em uma determinada área. As informações usadas nos cálculos incluem: área da propriedade, tipo de sistema de produção, raça dos animais, forrageiras disponíveis, tipo e período de suplementação alimentar, método de inseminação, relação touro/vaca, taxas de natalidade e mortalidade e taxa de reposição (Lopes et al., 1997). Além disso o usuário deve, além de responder

às questões, fornecer uma série de índices zootécnicos, das pastagens e de manejo, usados nos cálculos. A partir do estabelecimento de cenários, o modelo “simula” anualmente a evolução do rebanho até a sua estabilização. O objetivo principal deste modelo é facilitar “... o dimensionamento, evolução, dinâmica e estabilização do rebanho bovino leiteiro ou de corte com precisão e considerável rapidez” (Lopes, 1997). O sistema roda sob DOS e foi desenvolvido em CA Clipper 5.2. Este modelo pode ser aplicado em sistemas semi-extensivos ou extensivos de gado leiteiro ou de corte.

7.3. SIMGADO

Também desenvolvido em CA Clipper 5.2, o SIMGADO (Tatizana & Peres, 1995) usa uma abordagem sistêmica para tratar dos vários tipos de informações que devem ser usadas na modelagem de sistemas de criação de gado de corte. O sistema engloba além do modelo de reprodução e crescimento de animais (Sanders & Cartwright, 1979a, 1979b), rotinas de crescimento de pastagens (com dados simulados ou experimentais), sistema de acompanhamento financeiro e um sistema de regras personalizáveis. Além disso, o sistema já apresenta a utilização de números aleatórios podendo também utilizar valores médios.

Associado ao modelo de crescimento dos animais está um conjunto de rotinas relativas às condições de pastagem. Há a caracterização da fazenda (áreas e tipos das pastagens), a produtividade dos solos: tipo, declividade e umidade, entre outros. Os autores também definiram cenários onde são associados níveis de produtividade às chamadas “situações”, como “solo médio e umidade baixa”, demandando valores aleatórios ou médios, como taxa de crescimento diário (kg/ha), teor de nutrientes digestíveis totais (NDT) e o teor de proteína bruta (PB). O modelo inclui ainda resultados experimentais para alguns tipos de forrageiras.

A parte do modelo que considera a ingestão, as necessidades e o crescimento dos animais usa os valores definidos pelo National Research Council (EUA). O modelo apresenta-se bem completo utilizando dados de custos diretos e indiretos associados ao crescimento dos animais, como crédito bancário e gastos com pastagens.

Outro componente de destaque do modelo é o sistema de cruzamentos que considera estações de monta e taxa de fecundidade das fêmeas. Considera também regras para descarte (como o de fêmeas vazias) e taxa de mortalidade.

Os valores utilizados pelo sistema podem ser mudados durante a simulação através de um sistema de regras, definido pelo usuário, implantado no sistema. Isso permite que se altere as regras de manejo e, conseqüentemente, o comportamento do modelo. Por exemplo, é possível tratar com um sistema de vendas automáticas ou estabelecer paradas na simulação, baseadas no tempo ou no fluxo de caixa negativo. Segundo os autores o sistema foi usado em situações experimentais, conseguindo representar as tendências encontradas no campo.

7.4. EMBRAPA/UFSCar

Um modelo desenvolvido em parceria entre a EMBRAPA Pecuária Sudeste e a Universidade Federal de São Carlos (Costa et al., 1999) evoluiu a partir do modelo básico da TAMU, como especificado em Smith (1979). Este modelo destaca-se por ser desenvolvido em uma ambiente dedicado à simulação estocástica dinâmica: o *software* ARENA. A idéia do modelo foi integrar dados existentes de crescimento e reprodução. Além disso contempla o conceito de integração de ferramentas computacionais. Foi utilizado o *software* NEXPERT, uma ferramenta dedicada à modelagem de sistemas especialistas, como gerenciador de regras, por exemplo, regras de manejo. A integração tornou-se possível graças ao uso do ambiente MS Windows.

8. Otimização do arraçamento do sistema de produção de carne bovina em confinamento

Desenvolvido por João Cândido Bracarense Costa na sua tese de mestrado (Costa, 1996), o modelo busca minimizar o custo de alimentação de bovinos de corte criados em regime de confinamento. São consideradas as necessidades para desenvolvimento e manutenção dos animais. O modelo foi implementado em PASCAL, utilizando técnicas de simulação estocástica, programação dinâmica e otimização.

Para simular o desenvolvimento dos animais são usados os conceitos de estados limitados por pesos (250 – 520 kg), em intervalos de 30 kg. Para cada estado é fornecido um, dentre quatro tipos de ração. Estes tipos foram obtidos a partir de dados do National Resource Council (NRC), diferenciando-se quanto ao custo, desempenho (ganho de peso) e composição. Para um dado tipo de ração, à medida que o animal ganha peso e muda de classe (estado) ele passa

a receber uma nova ração. Desta forma pode-se obter o desempenho dos animais do rebanho quando alimentados com os quatro tipos de ração.

As rações usadas no modelo foram balanceadas utilizando-se um modelo de programação linear que, ao mesmo tempo em que atendia às necessidades nutricionais dos animais, procurava minimizar o custo da ração. Para isso foram usados:

- Tabela de necessidades nutricionais do NRC, para diversas classes de peso, especificadas na forma de ganhos de peso em função do peso, conteúdo de proteína bruta, NDT, cálcio e fósforo.
- Tabela de preço dos alimentos como farelos, fosfato bicálcico e fósforo.

Para estudar as mudança das classes de pesos foi utilizada a programação dinâmica. Para isso construiu-se uma simulação estocástica, determinando-se as probabilidades de transição de estado. A entrada consistiu de 1000 animais, com pesos uniformemente distribuídos entre 250 e 280 kg (Classe 1), simulando a aquisição dos animais. A partir daí, para cada um dos 9 períodos simulados o ganho de peso do animal foi determinado por uma distribuição normal, com média igual ao valor da matriz de ganho de peso e intervalo de confiança de 95%. Ao engordar, o animal pode ou não mudar de estado. A cada estado é fornecida uma variedade de uma determinada ração. As probabilidades de transição entre estados são calculadas pela divisão do número de animais, que estão em um certo estado, pelo total de animais que permanecem no rebanho. Este procedimento é repetido para cada um dos quatro tipos de ração, o que dá origem a quatro matrizes de transição.

O produto de cada matriz de transição pela matriz de custo das rações foi submetido a otimização para determinação da seqüência ótima de rações a serem fornecidas pelo criador aos animais confinados. A programação dinâmica de Markov, considerando-se o princípio de otimalidade de Bellman, buscou (a partir de uma seqüência inicial proposta pelo usuário), iterativamente, uma curva de crescimento rápida acompanhada de uma alimentação balanceada e barata. O modelo apresenta, ao final, a seqüência considerada ótima e o seu custo.

Costa (1996) conclui que seu modelo pode ser melhorado com a inclusão de outros fatores como preços realistas, dados do mercado de carne, dados de genética animal e nutrição animal. Foi feita análise de sensibilidade da solução quanto à variação de preço das rações. O autor sugere que se faça o mesmo com o aumento do custo dos alimentos no problema linear que balanceia as rações.

9. Comentários a respeito dos modelos pesquisados

Os modelos pesquisados mostraram-se realmente comprometidos com uma visão sistêmica mais ampliada, surgida de modelos mais antigos. Comparativamente, os modelos nacionais apresentam-se inferiores, em escala, pois os internacionais já incorporam o conhecimento multidisciplinar de grandes equipes de pesquisadores de institutos reconhecidos.

A maioria dos modelos encontrados (nacionais ou não) apregoa serem modelos de simulação quando, na verdade, são modelos determinísticos estáticos, o que reduz em muito o seu poder de auxiliar na tomada da decisão. Bons exemplos do uso de simulação de eventos discretos são o GRAZE, o SIMGADO e o modelo Embrapa Pecuária Sudeste/UFSCar.

Foram identificados dois tipos de limitações quanto aos modelos pesquisados:

- 1) Vários modelos ainda possuem uma visão sistêmica limitada;
- 2) Limitação, também, na utilização do potencial que a tecnologia de simulação disponibiliza atualmente. Esta limitação se manifesta tanto na construção de modelos estáticos determinísticos quanto na utilização de ferramentas inadequadas, ou pouco produtivas, no desenvolvimento dos modelos computacionais. Isto também é percebido nos *softwares* nacionais, quando não utilizam simulação estocástica dinâmica para desenvolver processos de simulação. Na verdade, muitos utilizam-se de modelos analíticos, portanto determinísticos.

Amigabilidade

Espera-se dos sistemas/modelos pesquisados que os mesmos sejam amigáveis, utilizando boas interfaces gráficas. No entanto neste aspecto deixam a desejar, seja pelo seu estado de desenvolvimento (muitos ainda são baseados em DOS) seja pela sua concepção. Alguns admitem a necessidade de conhecimento maior para inserir no modelo e declaram-se modelos para pesquisadores, como é o caso do GRAZE.

Ferramentas de desenvolvimento

Apesar da existência, desde a década de 1980, de ambientes dedicados de desenvolvimento de modelos de simulação – os chamados simuladores – não foram encontrados modelos de SPGC desenvolvidos nestes ambientes. O mesmo se pode dizer das linguagens de simulação como SIMAN, GPSSH, etc. O que se tem na verdade são softwares/modelos desenvolvidos em linguagens como Clipper, FORTRAN, C/C++, Delphi, que são linguagens muito pouco amigáveis para o desenvolvimento de modelos de simulação.

Bases de dados

Existem hoje vários bancos de dados de informações compiladas a partir de dados reais como: solos, desempenho de variedades genéticas, clima, crescimento de forragens. Exemplos disso são o Cornell Net Carbohydrate and Protein System – CNCPS (Fox et al., 1995), o do NRC (NRC, 1984), o do NCBA (Hardin, 1998). No Brasil existem várias destas bases como a Bolsa de Mercadorias e Futuros de São Paulo, o BBS da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Oliveira, 1995) e o banco de dados de índices pluviométricos (Zullo Jr., 1995). Estas bases poderiam ser incorporadas diretamente em modelos como o DECI ou o GRAZE, permitindo a adaptação destes modelos em situações brasileiras.

Automatização de regras e uso de sistemas de apoio à decisão

Alguns dos sistemas apresentados utilizam-se do recurso de regras de produção, de forma completa ou parcial. É o caso do DECI, do SIMGADO e do modelo Embrapa Pecuária Sudeste/UFSCar. No entanto, deve-se atentar para questões como a necessidade de sistemas mais adaptados à realidade nacional, não esquecendo a relação custo/benefício (Oliveira, 1995).

10. Conclusões

O quadro apresentado de modelos de simulação de sistemas de produção de gado de corte é de evolução. Os modelos internacionais têm, sobre os nacionais, a vantagem de estarem em um nível superior no que diz respeito a caminhar em direção aos simuladores integrados. No entanto, ocorre

ainda a difusão de conceitos errôneos a respeito do que seja simulação, o que acaba levando a uma sub-utilização de toda a potencialidade disponível no mercado.

A adoção de uma visão sistêmica mais abrangente pode levar à sinergia entre várias áreas de conhecimento no Brasil, ao mesmo tempo em que proporcionará, aos criadores de gado de corte, ferramentas bem mais poderosas de apoio à decisão. A simulação, neste caso, passaria a ocupar lugar de destaque, já que seria a demandante da maioria das informações, integrando os demais sub-modelos. A simulação permitiria a análise prévia de cenários alternativos, para os criadores de gado de corte, viabilizando decisões mais concretas num mercado cada vez mais dinâmico e competitivo.

Referências Bibliográficas

CEZAR, I. M. Modelo Bioeconômico de Produção de Bovinos de Corte, I. Descrição do modelo, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n. 6, p.941-949, 1982.

CEZAR, I. M. Modelo Bioeconômico de Produção de Bovinos de Corte, II. Avaliação econômica na introdução de pastagem cultivada em um sistema extensivo de cria no Brasil Central, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n.7, p.1093-1104, 1982.

COSTA, L. H. **Potencial e Aplicações de Sistemas de Apoio à Decisão para Empresas Rurais**. In: AGROSOFT 95, 1995

COSTA, J. C. B. **Otimização do Arraçamento do Sistema de Produção de Carne Bovina em Confinamento**. 1996. Tese (Mestrado) - UFSC, Florianópolis.

COSTA, M. B. da; BARBOSA, P. F.; TORRES, I. Análise e Síntese de Sistemas de Produção de Gado de Corte por Meio de um Modelo de Simulação: A Experiência com o Modelo TAMU. In: WORKSHOP SOBRE MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO ANIMAL-Estado da arte e perspectivas – **Anais...** 1999, São Carlos. São Carlos: UFSCAR, 1999.

FOX, D. G.; BARRY, M. C.; PITT, R. E.; ROSELER, D. K.; STONE, W. C. Application of the Cornell Net Carbohydrate and Protein model for Cattle Consuming Forages. **Journal of Animal Science**, v.73, p.267-277, 1995.

HARREL, C.; TUMAY, K. **Simulation Made Easy: A Manager's Guide**. Georgia: Engineering & Management Press, 1995, 311 p.

KILPATRICK, D. J.; STEEN, R. W. J. A Predictive Model for Beef Cattle Growth and Carcass Composition. **Agricultural Systems**, v.61, p.95-107, 1999.

LOPES, M. A.; VEIGA, R. D.; ZAMBALDE, A. L.; SILVA, A. R. P.; LOPES, D. C. F. **HERDSIZE: Sistema Computacional para Dimensionamento, Evolução Dinâmica de Rebanhos Bovinos Mantidos em Sistemas de Produção Semi-Intensivo ou Extensivo**". In: CONGRESSO DA SBI-AGRO; WORKSHOP ON SUPPLY CHAIN MANAGEMENT IN AGRIBUSINESS, 1997, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: AGROSOFT : CTSOFT: SBI-AGRO, 1997.

MEREDITH, J. R.; MANTEL, S. J. **Project Management: A Managerial Approach**; 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1995.

NRC. **Nutrient Requirements of Beef Cattle**. Washington DC, 1984.

PARSCH, L. D.; LOEWER, O. J.; **GRAZE Beef-Forage Simulation Model: User's Guide**. Florida: University of Florida, 1995.

PEGDEN, D. C.; SHANNON, R. E.; SADOWSKI, R. P. **Introduction to Simulation Using SIMAN**. 2.ed. New York: Mc-Graw Hill, 1995, 600p.

SANDERS, J. O.; CARTWRIGHT, T. C. A General Cattle Production System Model. I. Structure of the model. **Agricultural Systems**, v.4, p.217-227, 1979a.

SANDERS, J. O.; CARTWRIGHT, T. C. A General Cattle Production System Model. II. Procedures used for simulating animal performance. **Agricultural Systems**, v.4, p.289-309, 1979b.

SARAIVA, A. M.; BASSETO, B. A.; MASSOLA, A. M. de A. Interoperabilidade de *Software* para Uso em Agricultura de Precisão. In: CONGRESSO DA SBI-AGRO; WORKSHOP ON SUPPLY CHAIN MANAGEMENT IN AGRIBUSINESS, 1997, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: AGROSOFT : CTSOFT: SBI-AGRO, 1997..

SHTUB, A.; BARD, J.; GLOBERSON, S. **Project Management**. New Jersey: Prentice-Hall, 1994.

SMITH, G.E, **The TAMU Beef Cattle Production Model**, College Station: Texas A&M University, 1979, 9p.

TATIZANA, S. A.; PERES, F. C. **SIMGADO: Software de Simulação da Produção de Gado de Corte**. Belo Horizonte: AGROSOFT, 1995.

WILLIAMS, C. B.; JENKINS, T. G. A Computer Model to Predict Composition of Empty Body Weight Changes in Cattle at All Stages of Maturity. **Journal of Animal Science**, v.76, p.980-987, 1998.

YOUNG, B. A.; **Simulation Modelling of Winter Stress and Feed Requirements of Cattle** Disponível em < <http://www.afhe.ualberta.ca/90-0685.htm>>. consultado em 1999.

ZULLO Jr., J. **A Utilização da Informática na Agropecuária**. Belo Horizonte: Agrosoft, 1995.

CAPÍTULO V

MODELO BIOECONÔMICO DE PECUÁRIA DE CORTE

*Ivo Martins Cezar
Rafael Geraldo de Oliveira Alves
Pedro Franklin BARbosa*

1. Introdução

Os sistemas de produção agropecuários são extremamente complexos, sujeitos a riscos e administrados pelo homem visando, quase sempre, benefícios de natureza econômica. Estimar com precisão os efeitos de tomadas de decisão gerenciais e tecnológicas, considerando as possíveis interações entre os componentes biológicos e econômicos associados a variações de clima e preços, nem sempre é possível.

Para minimizar riscos e erros e maximizar sua função objetiva, é necessário que o tomador de decisões disponha “a priori” de informações analíticas sobre os efeitos de possíveis decisões no sistema de produção como um todo, não só do ponto de vista biológico mas também do econômico.

Tendo este desafio como objetivo, embora reconhecendo a simulação como abstração da realidade, o Modelo Bioeconômico de Pecuária de Corte (EMBRAPEC) foi desenvolvido de forma a constituir-se num ferramental analítico de tomadas de decisão gerenciais e tecnológicas para sistemas de produção de pecuária de corte (Cezar, 1980; Cezar, 1982a). O modelo não visa simular, de forma complexa, os processos biológicos e suas interações; tais representações são formuladas de maneira simplificada e a maioria entra no programa como dados. Entretanto, o EMBRAPEC atinge um razoável grau de complexidade, quanto ao número de variáveis representativas do sistema de produção, e uma enorme possibilidade de combinações, tornando-o um potente instrumento de experimentação.

O modelo está estruturado para representar o desenvolvimento de fazendas de cria, recria e engorda ou somente a atividade de cria ou cria e recria, incorporando a estrutura física de produção, combinando ou não a atividade de pecuária com atividades agrícolas de culturas de verão em processos de formação ou recuperação de pastagens.

A infra-estrutura física existente na fazenda em questão entra no programa como dados, tais como: área total, área utilizável, área em pastagem cultivada por espécie forrageira, área com lavouras, cercas, currais, casas, rebanho, cavalos de serviço, etc. A partir desta infra-estrutura combinada com variáveis de decisões, o modelo desenvolve as atividades.

Os investimentos fixos e semi-fixos devido à formação e recuperação de pastagens, construções de cercas, currais, casas para vaqueiros e aquisições de semoventes, assim como as atividades agrícolas, podem ser, opcionalmente, total ou parcialmente financiados.

As práticas de manejo, vacinações, vermifugações, suplementação mineral e alimentar de bezerros mamando (“creep-feeding”) ou mesmo a

suplementação alimentar de machos em regime de pastagens nos períodos de seca combinada com confinamento, descarte de fêmeas e touros, estratégias de crescimento do rebanho com ou sem aquisição de fêmeas e machos, estratégias de idade e peso de venda de machos, prioridade no uso de pastagens cultivadas, pesos e ganhos de peso, rendimentos de carcaça, podem ser simulados.

Custos de operação, investimentos, reparo e manutenção, depreciações, impostos e encargos sociais são calculados pelo modelo, assim como as receitas provenientes da exploração pecuária e agrícola.

Opcionalmente, o modelo incorpora o risco devido à variação do preço da arroba de boi gordo e os efeitos climáticos sobre a atividade de produção de grãos.

Os custos e as receitas são computados de forma a gerar o fluxo de caixa sobre o qual são aplicados os parâmetros econômicos de taxa interna de retorno e valor presente líquido. Além disso, o modelo calcula anualmente a participação percentual de cada item de custo e de receita.

As saídas do programa proporcionam um relatório com grande número de informações sobre o desenvolvimento físico da propriedade e do desempenho técnico-econômico das atividades, constituindo-se num instrumento de análise para avaliar os impactos de tecnologias e tomadas de decisão.

2. Estrutura do Modelo

O EMBRAPEC foi desenvolvido em linguagem FORTRAN IV, totalizando 4.657 linhas, incluindo os comentários.

A estrutura modular do EMBRAPEC é constituída de um programa principal e de 62 sub-rotinas. Cada sub-rotina simula um evento específico de forma individualizada, que é acionada pelo programa principal ou chamada a operar por outras sub-rotinas.

A dinâmica do modelo é simulada por passos com intervalo de tempo mensal, podendo rodar no máximo por 20 anos.

O programa inicia lendo os dados de entrada e checando a consistência e a lógica dos mesmos. Este procedimento de compatibilizar as informações que entram no modelo, embora não seja aplicado para todos os 355 dados de entrada, permite garantir a lógica de tomadas de decisões, emitindo mensagens de erro quando a mesma não é alcançada.

Detalhes sobre a descrição do modelo podem ser encontrados em Cezar (1980; 1982a; 1995a).

3. Operacionalização e Funcionamento

Uma descrição contendo razoável nível de detalhamento, que permite um bom entendimento do funcionamento e da operacionalização do modelo, foi preparada por Cezar (1995a), sob a forma de manual. Entretanto, é importante ressaltar que os resultados esperados do modelo dependem fundamentalmente das informações que entram como dados. Por isso, é recomendável atenção e cuidados especiais na codificação e digitação dos mesmos. Para facilitar, o manual oferece a descrição de cada variável que entra como dado. Além disso, o manual inclui uma listagem das variáveis em ordem alfabética e uma planilha de codificação.

Embora a quantidade de dados de entrada seja relativamente grande para operacionalizar o EMBRAPEC, grande parte dos mesmos não necessita ser modificada após a primeira rodada, a não ser aqueles de interesse para experimentação.

Recomenda-se um planejamento prévio para experimentar com o modelo, de sorte que cada modificação de qualquer variável ou conjunto de variáveis, seja registrada pelo experimentador, especificando o número da rodada por meio da variável que define o número do sistema de produção a ser rodado.

O programa emite um relatório contendo os dados de entrada, o que permite ao usuário verificar as informações fornecidas.

4. Resultados

As oportunidades de experimentação com o EMBRAPEC foram inúmeras, descrevendo-se as que se seguem como exemplos da aplicação do modelo na simulação de sistemas de produção de pecuária de corte.

Cezar (1982b) avaliou os efeitos da introdução de pastagem cultivada em um sistema de cria, sob diferentes estratégias e riscos. Os resultados econômicos da análise de sensibilidade (taxa interna de retorno) são apresentados na Tabela 1. Embora o estabelecimento da pastagem por meio da cultura de arroz tenha apresentado variação alta no desempenho econômico do sistema, essa prática ainda se mostrou mais atrativa do que o estabelecimento direto da pastagem. O risco devido à variação nos preços da carne bovina não pareceu ser um fator importante no melhoramento do sistema, a longo prazo. Entretanto, iniciar a formação da pastagem no topo do ciclo de preços da carne apresentou-se como uma estratégia melhor do que no início, meio e parte inferior do ciclo. A compra de vacas de cria, para acelerar o crescimento do

rebanho, proporcionou melhor resultado econômico do que o crescimento natural, com e sem aquisição de novilhos. A venda de novilhos gordos (46 meses) superou qualquer outra idade de venda. A total substituição do cerrado por pastagem cultivada, por meio da tecnologia usual, mostrou-se atrativa somente com o uso de crédito subsidiado.

O modelo foi utilizado para avaliar os impactos de um programa de financiamento para recuperação de pastagens. Neste exercício, rodou-se o modelo com a alternativa de recuperar 10 milhões de hectares em um período de 5 anos (20% ao ano), utilizando-se culturas de verão no primeiro ano da recuperação, tendo como base o sistema de cria, recria e engorda. A proposta de financiamento teve as seguintes características: 1) investimentos: juros de 8% ao ano, carência de 4 anos e amortização em 10 anos; e 2) custeios: juros de 11% ao ano por um período de 9 meses, amortização anual e Proagro a 7% sobre o custeio.

A análise econômica dos investimentos, custos e benefícios adicionais promovidos pelo programa de financiamento, em relação ao sistema base, apresentou taxa interna de retorno de 22,68% e relação benefício/custo de 1,15. Do ponto de vista físico, a oferta de carne sairia de uma média de produção de 21,53 kg/ha/ano para 52,24 kg/ha/ano, ou seja, um incremento da ordem de 142%. Entretanto, nos últimos anos o impacto foi substancialmente maior, passando para 86,36 kg/ha/ano, o que significa um aumento de 300%.

O modelo também foi utilizado por Euclides Filho e Cezar (1995) com o objetivo de quantificar o impacto da redução da idade de abate sobre alguns parâmetros do sistema de cria, recria e engorda, como a taxa de desfrute e a produção de carcaça por hectare. Foram avaliados três sistemas de produção que diferiam somente com respeito à idade de abate (26, 38 e 42 meses). Os três sistemas apresentavam os seguintes parâmetros: 1) idade das fêmeas ao primeiro parto: 36 meses; 2) taxa de desmama: 64%; 3) área de pastagens cultivadas: 4.000 hectares. Em todos os casos foram consideradas as fases de cria, recria e engorda. Os pesos de abate foram 490 kg, para abate aos 42 meses, e 450 kg para as outras duas idades de abate. Considerou-se, ainda, que o rendimento de carcaça foi igual a 54% em todos os casos. Os resultados obtidos, como médias de 8 anos, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 1. Resultados econômicos da análise de sensibilidade, de acordo com o critério da taxa interna de retorno (TIR) - adaptada de Cezar (1982b).

Tratamentos	TIR, %
1. Crescimento do rebanho:	
- crescimento natural + compra de novilhos de um ano (básico)	12,0
- comprando vacas de cria	12,7
- crescimento natural	12,2
2. Estratégia para estação chuvosa:	
- não comprando vacas velhas (básico)	12,0
- comprando vacas velhas	12,0
3. Idade de venda de machos:	
- 9 meses	13,6
- 22 meses (básico)	12,0
- 34 meses	10,7
- 46 meses	18,2
4. Proporção de pastagem cultivada:	
- 2,5%	16,3
- 5,0% (básico)	12,0
- 7,5%	11,3
- 10,0%	10,6
5. Etapas para formar a pastagem:	
- 1	12,1
- 2 (básico)	12,0
- 3	12,2
6. Proporção de financiamento sobre investimentos:	
- 0% (básico)	12,0
- 70%	13,3
- 100%	15,0
7. Posição inicial no ciclo de preços da carne incluindo tendência:	12,0
- sem incluir tendência e as características cíclicas (básico)	13,8
- início do ciclo	14,2
- topo do ciclo	14,7
- meio do ciclo	14,7
- parte inferior do ciclo	14,7

Tabela 2. Efeitos da redução da idade de abate sobre alguns parâmetros de três sistemas de produção de gado de corte.

Parâmetros	Unidade	Idade de abate, meses		
		42	36	26
Total de animais no rebanho	Cabeça	6.874	7.234	7.534
Total de fêmeas em reprodução	Cabeça	1.866	2.140	2.495
Total de bezerras desmamadas	Cabeça	1.206	1.384	1.566
Total de animais vendidos	Cabeça	1.135	1.293	1.492
Peso vivo vendido	Kg/ha	118	122	138
Taxa de desfrute	%	16	18	20
Equivalente-carcaça	Kg/ha	52	57	67

A avaliação “ex-ante” de alternativas de modelos físicos de sistemas de produção também foi feita por meio do modelo de simulação, com o objetivo de instalação de um modelo físico de sistema de produção na Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS. Coerente com suas diretrizes, a Embrapa Gado de Corte tem gerado informações visando intensificar os sistemas produtivos no que tange à obtenção de maior produção de carne por hectare. Dado o caráter analítico das informações, geradas quase sempre de forma isolada, se faz necessário um estudo de síntese para verificar os seus impactos no sistema de produção como um todo.

Considerando o sistema de produção como um todo, o EMBRAPEC foi utilizado em um experimento fatorial combinando peso à desmama e capacidade de suporte das pastagens na época da seca. Os resultados obtidos encontram-se nas Tabelas 3 (produção de carne por hectare/ano) e 4 (idade de abate dos machos).

Tabela 3. Produção de carne por hectare/ano de acordo com o peso à desmama (kg) e a capacidade suporte das pastagens na época da seca (UA/ha)*.

Capacidade de suporte	Peso à desmama, kg				
	160	180	200	220	240
1,0	58,14	58,23	58,63	69,12	69,22
1,4	81,66	81,66	82,98	96,77	96,90
1,6	93,33	93,33	93,81	110,59	110,74
1,8	104,99	104,99	105,53	124,42	124,58

* UA = Unidade Animal (450 kg de peso vivo).

Tabela 4. Idade de abate de machos (meses) de acordo com o peso à desmama (kg) e a capacidade de suporte das pastagens na época da seca (UA/ha)*.

Capacidade de suporte	Peso à desmama, kg				
	160	180	200	220	240
1,0	28	27	25	24	22
1,4	28	27	25	24	22
1,6	28	27	25	24	22
1,8	28	27	25	24	22

* UA = Unidade Animal (450 kg de peso vivo).

Diante desses resultados, optou-se por selecionar a alternativa de peso à desmama de 180 kg, que embora seja um desafio para rebanhos comerciais da raça Nelore, acredita-se que sob boas condições pastagens e, se necessário, utilizar “creep-feeding”, é possível atingir este peso à desmama. No entanto, ocorre que seria necessário abater os machos aos 24 meses, para liberar pasto para as fêmeas, e combinar com a capacidade de suporte de 1,4 UA/ha para

produzir 96,77 kg de carne/ha/ano, o que estaria próximo da meta de 100 kg/ha/ano. Para liberar pasto para as fêmeas deveria ser introduzida a terminação dos machos em confinamento. Outras alternativas também podem ser escolhidas.

Uma vez escolhida a alternativa com peso à desmama de 180 kg, suplementação alimentar na primeira seca, confinamento na segunda seca e capacidade de suporte de 1,4 UA/ha, rodou-se novamente o modelo por um período de 16 anos, com a finalidade de verificar a viabilidade econômica do sistema. Os resultados obtidos, considerando uma fazenda de 2.900 hectares, foram: 1) taxa interna de retorno: 31,73%; 2) valor presente líquido: R\$ 838.383,00 (1995); e 3) relação benefício/custo: 1,30 a uma taxa de desconto de 10%.

Cezar (1995b) utilizou o modelo de simulação para fazer uma estimativa dos efeitos de elevar o peso à desmama, em função do melhoramento do potencial genético (Tabela 5). A produtividade (kg de carne/ha) não é alterada, porém reduz-se o período de confinamento e, conseqüentemente, melhora-se a margem bruta/ha.

Tabela 5. Efeito do peso à desmama na economicidade da produção do novilho precoce.

	Peso à desmama, kg		
Especificação	150	180	220
1. Caracterização do sistema de produção:			
1.1 – Área	2.901	2.901	2.901
1.2 – Suplementação na primeira seca	Sim	Sim	Sim
1.3 – Confinamento	Sim	Sim	Sim
1.4 – “Creep-feeding”	Não	Não	Não
1.5 – Idade ao primeiro parto	3	3	3
1.6 – Dias de confinamento	96	66	26
1.7 – Idade de abate (meses)	26	25	23
2. Indicadores físicos:			
2.1 – Taxa de desfrute anual, %	23	23	23
2.2 – Kg de carcaça/ha	68,04	68,04	68,04
3. Indicadores econômicos (R\$ de 1995):			
3.1 – Margem bruta/ha	56,98	63,61	71,01
3.2 – Margem bruta/kg de carcaça	0,83	0,93	1,04

A prática de suplementar os bezerros durante a amamentação, com concentrado energético e proteico (“creep-feeding”), é uma alternativa para aumentar o peso à desmama. Os efeitos econômicos dessa prática para os pesos à desmama de 180 e 220 kg em relação ao peso de 150 kg, na produção de novilhos precoces foram simulados por Cezar (1995b) e são mostrados na Tabela 6.

Tabela 6. Estimativas do efeito de “creep-feeding” na rentabilidade da produção de novilhos precoces em relação ao peso à desmama de 150 kg.

Especificação	Peso à desmama, kg		
	150	180	220
Margem bruta/ha/ano	56,98	59,12	67,00
Margem bruta/kg de carcaça vendido/ano	0,83	0,86	0,98

A redução da idade ao primeiro parto de 3 para 2 anos, às custas de “creep-feeding” e suplementação alimentar na primeira seca para as fêmeas, mantidas as taxas de natalidade de 80% para as primíparas, com 65% de taxa de concepção e mortalidade de bezerros de 4%, melhorou a produção anual de carne/ha e piorou a margem bruta/ha (Tabela 7), de acordo com os resultados obtidos por Cezar (1995b). No entanto, é possível aumentar a eficiência econômica do sistema pela redução da idade ao primeiro parto, sob condições de taxas de natalidade e de concepção superiores, taxas de mortalidade inferiores e custos mais baixos.

Tabela 7. Efeito da redução da idade ao primeiro parto de 3 para 2 anos por meio de “creep-feeding” e suplementação na primeira seca.

Especificação	Idade ao primeiro parto, anos	
	3	2
Peso à desmama (machos)	220	220
Kg de carcaça/ha/ano	68,04	71,33
Margem bruta/ha/ano (R\$ de 1995)	71,01	67,74

5. Referências Bibliográficas

CEZAR, I. M. **Simulation model and economic evaluation of management strategies for improvement of a beef grazing system in the "cerrado" area of the Central Brazil region.** 1980. Thesis (Master in Agricultural Science) - University of Canterbury, Lincoln College., Lincoln.

CEZAR, I. M. Modelo bioeconômico de produção de gado de corte. I. Descrição do modelo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, DF, v.17, n.6, p.941-949, 1982a.

CEZAR, I. M. Modelo bioeconômico de produção de bovinos de corte. II. Avaliação econômica na introdução de pastagem cultivada em um sistema extensivo de cria no Brasil Central. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.17, n.7, p.1093-1104, 1982b.

CEZAR, I. M. **Modelo bioeconômico de pecuária de corte – EMBRAPEC:** versão preliminar. Campo Grande: Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte, 1995a.

CEZAR, I. M. **Sistemas de produção de novilho precoce.** In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE NOVILHO PRECOCE, 1995, Campinas. **Anais...** Campinas: CATI, 1995b. p.39-55.

EUCLIDES FILHO, K; CEZAR, I. M. **Produção de novilho precoce e seu efeito na produtividade do sistema.** Campo Grande: EMBRAPA-CNPGC, 1995. (CNPGC Divulga, 4) 3p.

CAPÍTULO VI

MODELO DE ANÁLISE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE

Zenith João de Arruda

A produção de carne bovina é uma atividade econômica que, por um lado envolve as fases biológicas de produção, **cria, recria, engorda**, e, por outro, a utilização de fatores de produção como terra, benfeitorias, instalações, pastagens, medicamentos e outros insumos, administração, mão de obra e outros serviços que, convertidos em valores aos preços vigentes, determinam a economicidade do sistema em uso. A tecnologia constitui o uso estratégico de um ou mais recursos produtivos, cuja adoção pelo produtor, depende da sua resposta econômica.

As decisões quanto a geração ou adoção de uma nova tecnologia tanto ao nível *ex-ante* (**pesquisadores**) quanto ao *ex-post* (**extensionistas e produtores**) requerem instrumentos de medida de impactos biológicos e econômicos de forma ágil e abstrativa para economia de tempo e de recursos.

Além da reduzida disponibilidade de modelos matemáticos de avaliação e simulação de sistemas de produção de carne bovina, sua estrutura ou é mais voltada para a análise biológica ou para a avaliação econômica, sem explorar com mais refinamento os componentes de custo ou subsistemas, como a inseminação artificial, a pastagem, o confinamento, a administração, etc.

O OBJETIVO deste capítulo foi o de estruturar um modelo matemático de avaliação econômica de sistemas de produção de carne bovina, envolvendo diversos fatores, economicamente relevantes, com a identificação, a caracterização e a estruturação dos componentes e subcomponentes de custo.

A META foi obter um modelo matemático que permitisse avaliar o desempenho econômico de alternativas de produção praticadas na região Centro-Oeste, bem como o impacto de tecnologias a serem desenvolvidas nos Centros de Pesquisa.

A METODOLOGIA adotada baseou-se nos seguintes critérios:

- a) A avaliação econômica teve por base metodológica o critério da orçamentação adotado por diversos autores (Frank, 1975; Costa, 1986; Arruda, 1992), e adaptado para a avaliação econômica da pecuária bovina de corte, em suas diversas fases biológicas (Arruda, 1993).
- b) A estruturação do modelo matemático bem como a composição dos componentes de custo, foram feitos utilizando-se planilhas eletrônicas **EXCEL** (Microsoft, 1994).
- c) Elaborou-se uma matriz de custos de produção envolvendo as fases de cria, recria e engorda, subdividindo a fase de cria em períodos de monta, gestação e aleitamento dos bezerros. Os componentes de

custo considerados relevantes, foram a **pastagem, mistura mineral, medicamentos, administração e serviços, custo financeiro** do capital rebanho, **inseminação artificial, suplemento alimentar, confinamento e impostos** sobre o faturamento. Cada componente de custo foi devidamente detalhado em tabelas anexas de forma a permitir inclusão do evento, mudanças de valores e de quantidades, sempre que necessário.

- d) Para a estimativa do custo de fecundação de um óvulo, partiu-se de um número de vacas (segundo a relação vacas/bezerro(a) e um número de touros ou doses de sêmen, envolvidos na produção de cada feto, incluindo-se todos os recursos (insumos, serviços e custo do capital) utilizados no processo de geração de cada bezerro (a), ao nascer.
- e) Igual procedimento foi adotado para as fases de gestação e de aleitamento, computando nestas somente a participação da fêmea.
- f) Sendo o **macho gordo** o elemento de maior importância na produção de carne e, sabendo-se da equivalência de custos e da diferenciação de preços no final do aleitamento, adotou-se a seguinte estratégia para a determinação do custo de produção de um bezerro macho desmamado:
 - I – assumindo-se a produção de macho numa gestação, e de fêmea na seguinte, tomou-se o custo acumulado de dois bezerras (macho e fêmea) e subtraiu-se o valor de mercado da fêmea para se obter o custo de produção de um bezerro macho desmamado.
 - II – a partir deste valor (acima descrito), o bovino macho passou a acumular os custos das demais fases, até chegar à condição de **boi** pronto para o abate.
- g) Nas primeiras fases, a **fecundação, a gestação e o aleitamento**, a(s) vaca(s) e os recursos por ela(s) consumidos, apresentaram superposições, tornando necessário o rateio de custos entre elas. Por exemplo, dependendo da eficiência reprodutiva da vaca, ela poderá estar, num determinado período, aleitando um bezerro e gestando um outro no ventre.

- h) Este procedimento resultou na montagem de uma matriz em que as fases de produção foram dispostas em **colunas** e os recursos, constituíram as **linhas**. O cruzamento das informações permitiu a visualização dos custos parciais e acumulados de cada fase, possibilitando a análise e a compreensão da importância relativa dos recursos por produto gerado nas diferentes etapas do **Sistema** .
- i) Para a estimativa dos **custos**, considerou-se aqueles de desembolso direto, como insumos e serviços, e os indiretos como depreciação e juros sobre o capital imobilizado em benfeitorias, máquinas e animais.
- j) Finalmente, considerou-se o **benefício** gerado em função do produto final e dos preços praticados no mercado, que subtraído o custo acumulado, resultou na **Renda Líquida**, indicadora da rentabilidade do sistema considerado.

Os **RESULTADOS** são apresentados na parte final da matriz de processamento dos dados contidos no questionário de informações iniciais. Diversas **tabelas**, que detalham os custos de tantos itens quanto necessários, podem ser criadas dentro da mesma planilha ou de outras da mesma pasta, para alimentar de dados a matriz principal.

A título de exemplo de operacionalização do modelo, apresenta-se em seguida, as **entradas** e os **resultados** de dois sistemas de produção de bois para abate: 1 - Sistema **Tradicional** e
2 - Sistema **Melhorado**.

As informações básicas e os resultados dos Sistemas **Tradicional** e **Melhorado** são apresentadas nas Tabelas 1 a 4. Os preços são relativos ao ano de 1998.

Tabela 1. Avaliação econômica da produção de um boi, no **Sistema Tradicional**: Informações básicas.

Item	Valor
Rebanho médio anual do Sistema (UA)	1296,0
Área Total das Pastagens (ha)	1800,00
Área de Pastagens nativas (ha)	1260,00
Área de Pastagens cultivadas (ha)	540,00
Suporte médio da fazenda (UA / ha)	0,72
Preço da Mistura Mineral (\$/Kg)	0,30
Custo dos medicamentos /Cab /mês	0,05
Custo de Administração e Serviços / CAB /mês	1,11
Custo do Capital Bovino / CAB /mês (coefic)	0,007
Valor do Macho à desmama (\$/cab)	140,00
Valor do boi magro /CAB	250,00
Taxa de Desmama	0,50
Período da Vaca na fase de monta (meses)	1,25
Período do Touro ou Rufião na fase de monta (meses)	12,00
Valor médio das Vacas (\$/cab)	140,00
Valor ponderado de Touros e Rufiões (\$/cab)	500,00
Valor da fêmea à desmama (\$/cab)	80,00
Período de Gestação (meses)	7,25
Período de cria (meses)	12,00
Período da recria (meses)	28,00
Período da engorda (meses)	12,00
Peso ao abate em arroba de carcaça	17,50
Engorda: em Confinamento = (0), a Pasto = (1)	1,00
Preço da arroba de boi no mês de abate (R\$)	22,00
Fase Recria: percentual de pastagem cultivada (%)	5,00
Fase Engorda: percentual de pastagem cultivada (100%)	100,00
Consumo da Mistura Mineral (Kg/cab/dia)	0,03
Valor médio dos Touros (\$/cab)	500,00
Taxa do ICMS no Estado (Mato Grosso do Sul)	7,00
Custo de oportunidade do administrador (núm. de S.Mín./mês)	4
Número de empregados	3
Salário médio dos empregados (núm. de S.Mín./mês)	1
Número de Kms rodados a serviço da fazenda	14000
Outras despesas administrativas + impostos	500,00

Tabela 2. Resultados do Sistema Tradicional de acordo com as fases de produção (M = monta; G = gestação; A = aleitamento; C = cria; R = recria; E = engorda).

Fases de produção	R\$/ Unid	M (feto)	G (bezerro)	A (desmama)	C (total)	R (novilho)	E (boi)	TOTAL
Tempo por fase (meses)	-	-	-	-	12	28	12	52
C - CUSTOS:								
Pastagem + benfeit.	1,86	3,68	13,00	21,52	38,21	27,93	46,62	112,76
Mist. Mineral	0,30	2,05	3,52	5,83	11,40	6,80	3,89	22,10
Medicamentos	0,05	1,55	0,87	1,80	4,22	1,26	0,72	6,20
Adm + Serviços	1,43	3,94	14,53	24,05	45,52	28,05	16,03	86,60
Juros Cap. Bovinos (Machos e fêmeas)	0,007	10,85	14,21	23,52	48,58	27,44	21,00	97,02
Custo acumul./Cab (machos e fêmeas)	-	22,07	46,13	76,72	-	91,49	88,26	-
Custo acumul./Cab (machos)	-	-	-	209,86	-	301,35	389,60	389,60
Custo/arroba (Machos)	22,26	-	-	-	-	-	-	-
D - BENEFÍCIOS (venda de boi gordo): Em Março de 1997								
Valor de mercado	22,00	-	-	-	-	-	-	385,00
E - LUCRO:	-0,26	-	-	-	-	-	-	-4,60
F - OUTRAS INFORMAÇÕES								
Pastagem (ha) = 1800,00		Rebanho (UA) = 1296		Relação B/C = 0,99				
Suporte (UA/ha) = 0,7		Peso ao abate (@) = 17,5						
Invernadas (No) = 15		Taxa desm. (%) = 50						
Invern. Média (ha) = 120,00		Fêmea desm. (R\$) = 80,00						

Tabela 3. Avaliação econômica da produção de um boi, no **Sistema Melhorado**: informações básicas.

Item	Valor
Rebanho médio anual do Sistema (UA)	1872,00
Área Total das Pastagens (ha)	1800,00
Área de Pastagens nativas (ha)	360,00
Área de Pastagens cultivadas (ha)	1440,00
Suporte médio da fazenda (UA / ha)	1,04
Preço da Mistura Mineral (\$/Kg)	0,40
Custo dos medicamentos /Cab /mês	0,08
Custo de Administração e Serviços / CAB /mês	1,13
Custo do Capital Bovino / CAB /mês (coefic)	0,007
Valor do Macho à desmama (R\$/cab)	150,00
Valor do boi magro /CAB	250,00
Taxa de Desmama	0,70
Período da Vaca na fase de monta (meses)	1,25
Relação Touro ou Rufião/Vaca (coefic)	0,07
Período do Touro ou Rufião na fase de monta (meses)	12,00
Valor médio das Vacas (\$/cab)	150,00
Valor ponderado de Touros e Rufiões (\$/cab)	700,00
Valor da fêmea à desmama (\$/cab)	90,00
Custo do sêmen na inseminação (\$/dose)	5,00
Período de Gestação (meses)	7,25
Período de cria (meses)	7,00
Período da recria (meses)	24,00
Período da engorda (meses)	9,00
Peso ao abate em arroba de carcaça	17,00
Preço da arroba de boi no mês de abate (R\$)	22,00
Fase Cria: percentual de pastagem cultivada (%)	50,00
Fase Recria: percentual de pastagem cultivada (%)	80,00
Fase Engorda: percentual de pastagem cultivada (100%)	100,00
Consumo da Mistura Mineral (Kg/cab/dia)	0,05
Valor médio dos Touros (\$/cab)	700,00
Percentual de Touros do Total c/ Rufiões (%)	100,00
Taxa do ICMS no Estado (Mato Grosso do Sul)	7,00
Custo de oportunidade do administrador (núm. de S.Mín./mês)	7
Número de empregados	3
Salário médio dos empregados (núm. de S.Mín./mês)	1,2
Número de Kms rodados a serviço da fazenda	18000
Outras despesas administrativas + impostos	1000,00

Tabela 4. Resultados do Sistema **Melhorado** (M = monta; G = gestação; A = aleitamento; C = cria; R = recria; E = engorda)- valores em R\$ 1,00.

Fases de produção	R\$/ Unid	M (feto)	G (bezerro)	A (desmama)	C (total)	R (novilho)	E (boi)	TOTAL
Tempo por fase (meses)	-	-	-	-	12	28	12	52
C - CUSTOS:								
Pastagem + benfeit.	3,20	5,93	21,14	20,41	47,49	67,63	40,03	155,15
Mist. Mineral	0,40	1,97	5,59	5,40	12,97	12,96	6,48	32,41
Medicamentos	0,08	1,14	0,99	1,20	3,33	1,73	9,86	5,92
Adm + Serviços	1,25	2,83	10,58	10,21	23,63	24,52	12,26	60,40
Juros Cap. Bovinos	0,007	7,76	10,88	10,50	29,13	25,20	15,75	70,08
Custo parcial/Cab (machos e fêmeas)	-	19,63	49,19	47,73	-	132,03	75,38	-
Custo acumul./Cab (machos e fêmeas)	-	19,63	68,81	116,54	116,54	248,58	323,96	323,96
Custo acumul./Cab (Machos)	-	-	-	143,08	-	275,12	350,50	350,50
Custo arroba (Machos)	20,62	-	-	-	-	-	-	-
D - BENEFÍCIOS (venda de boi gordo): Em Março de 1997								
Valor de mercado	22,00	-	-	-	-	-	-	374,00
E - LUCRO:	1,38	-	-	-	-	-	-	23,50
F - OUTRAS INFORMAÇÕES								
Pastagem (ha) = 1800,00		Rebanho (UA) = 1872		Relação B/C = 1,07				
Suporte (UA/ha) = 1,0		Peso ao abate (@) = 17						
Invernadas (No) = 16		Taxa desm. (%) = 70						
Invern. Média (ha) = 110,00		Fêmea desm. (R\$) = 90,00						

Referências Bibliográficas

ARRUDA, Z. J. de; CORRÊA, E. S.; ZIMMER, A. H. **Avaliação técnico-econômica de alternativa para o Sistema Físico de Produção de Gado de Corte do CNPGC: 80,0 % de pasto cultivado.** Campo Grande: EMBRAPA-CNPGC, 1992. 8p. (EMBRAPA-CNPGC. Comunicado Técnico, 43).

ARRUDA, Z.J. de. **Considerações Econômicas sobre a Produção de Bezerros de Corte.** Campo Grande: EMBRAPA-CNPGC, 1993. 6p. (EMBRAPA-CNPGC, Comunicado Técnico, 47).

BROCKINGTON, N. R.; ZOCCAL, R.; VEIL, J. M. **Modelos de Simulação em Pesquisa Aplicada aos Sistemas de Produção na Agropecuária.** Brasília: EMBRAPA-SEP, 1988.

COSTA, F.P. et al. **Estimativa de Custo de Produção de Carne Bovina para a Região Centro-Oeste, Setembro de 1986.** Brasília: EMBRAPA-CNPGC, 1986. (EMBRAPA-CNPGC. Comunicado Técnico, 30).

FRANK, R. G. **Introducción al cálculo de costos agropecuários.** Buenos Aires: El Ateneo, 1978. 34p.

MICROSOFT. **Modelo Excel 5.0 para Windows: Guia do usuário.** Redmond: Microsoft, 1994.

CAPÍTULO VII

**SISTEMAS DE APOIO À TOMADA DE
DECISÕES APLICADOS AO
CONFINAMENTO DE BOVINOS DE
CORTE**

Moisés de Andrade Resende Filho

1. Introdução

O modelo de desenvolvimento da agricultura brasileira baseado, até o início da década de 80, em subsídios via crédito rural com taxas reais de juros muitas vezes negativas; a coincidência de fases de altos preços dos produtos agrícolas; e, a insignificância da taxa sobre a renda, entre outros fatores, permitiram que as preocupações dos empresários agrícolas se centrassem, quanto muito, no uso de tecnologias e insumos modernos, deixando a visão administrativa do negócio em segundo plano (Noronha e Peres, 1992; Resende Filho, 1997).

Diante da falência do sistema de crédito rural subsidiado, do processo de abertura comercial e da inserção da economia brasileira no MERCOSUL (Mercado Comum do Sul), o agronegócio brasileiro necessita direcionar-se para o aumento da eficiência econômica, via redução de custos com manutenção, ou incremento, dos atuais níveis de produção.

No caso específico da pecuária de corte brasileira, verifica-se que, apesar da representatividade do rebanho brasileiro (segundo maior do mundo em tamanho), os índices de produtividade do mesmo ainda são baixos. Por exemplo, para o ano de 1996, segundo dados da FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO (1996), a taxa de abate do rebanho¹ brasileiro (17%) quando comparada à de outros países como Argentina (23%), EUA (35%) e Austrália (30%), atualmente o maior país exportador de carne bovina do mundo, ainda configura um quadro de baixa produtividade da pecuária nacional.

Um dos entraves ao aumento da produtividade do rebanho bovino brasileiro advém das características climáticas do Centro-Sul brasileiro, região que comporta a maior parte do contingente bovino economicamente explorado no Brasil. Essa região apresenta duas épocas climaticamente distintas durante o ano, quais sejam: Período das Águas, correspondente a época quente e chuvosa o que propicia a produção de forragens verdes, abundantes e de boa qualidade nutricional, potencialmente capazes de garantir elevado ganho de peso do gado em regime extensivo a pasto; e, Período das Secas, correspondente à época seca e fria, quando há decréscimo na disponibilidade e qualidade das forragens, resultando em estagnação ou mesmo perda de peso dos animais criados em regime extensivo a pasto (Paulino et al., 1980).

Tais características climáticas, respondem pela oscilação de ganho e perda de peso dos bovinos criados em regime exclusivamente a pasto, ocasionando o aumento do tempo necessário para se produzir o animal pronto para o abate. Ainda como conseqüência, duas épocas distintas, safra (no

¹ Relação entre o número de cabeças abatidas e o número total de cabeças do rebanho.

primeiro semestre) e entressafra (no segundo semestre), são, normalmente, observadas na oferta de carne bovina no Brasil, o que resulta em preços reais da carne bovina maiores no segundo semestre do ano, notadamente entre outubro e novembro, considerados meses de pico da entressafra (Resende Filho, 1997).

Visando usufruir da sazonalidade dos preços da carne bovina, muitos pecuaristas passaram a terminar seus animais em sistemas intensivos de engorda, especialmente em confinamento². Só para se ter idéia, no Estado de Minas Gerais, um dos três maiores estados em número de animais confinados, haviam 50 pecuaristas terminando 12 mil animais em confinamento em 1977, já em 1997, constata-se a existência de 1200 pecuaristas confinando 130 mil animais (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais - EMATER- MG, 1997).

Segundo Lazzarini Neto e Lazzarini (1995), o uso de práticas objetivando o aumento da oferta de boi gordo na entressafra resulta em benefícios para todos os setores do sistema agroindustrial de carnes. Os produtores auferem maiores lucros, os frigoríficos obtêm maior regularidade no fornecimento de carcaças e os consumidores são beneficiados com carnes de melhor qualidade o ano todo.

A partir do relato das principais características e variáveis envolvidas no processo de tomada de decisão na terminação de bovinos de corte em confinamentos, o presente capítulo apresenta e discute experiências de desenvolvimento de Sistemas de Apoio à Decisão (SADs) aplicados ao planejamento de confinamentos de bovinos de corte no Brasil.

Este capítulo descreve algumas características comuns aos sistemas de terminação de bovinos em confinamento, conceitua-se sistemas de apoio à decisão (SADs), apresenta alguns modelos de programação matemática desenvolvidos e inseridos em SADs, descreve e simula exemplos de utilização de dois SADs que fazem uso dos referidos modelos matemáticos, conclui com uma discussão acerca das potenciais vantagens e desvantagens da utilização de SADs aplicados a confinamentos de bovinos de corte e à agropecuária em geral.

² Regime de engorda em que os animais ficam fechados em instalações apropriadas, recebendo alimentação (concentrado e volumoso), sem acesso às pastagens.

2. Caracterizando os sistemas de terminação de bovinos de corte em confinamento no Brasil

Segundo Thiago e Costa (1994), quando se fala em confinamento faz-se necessário definir o sistema em questão, uma vez que diferentes objetivos e disponibilidade de recursos podem determinar inúmeras combinações entre instalações, animais e rações.

No caso brasileiro, dada a disponibilidade de terras, a descapitalização dos produtores rurais, o ainda baixo poder aquisitivo dos consumidores e a insipiência de um efetivo sistema de classificação de carcaças, parece lógico implementar confinamentos, visando a terminação dos animais durante a entressafra, utilizando-se instalações simples e práticas, fornecendo-se alimentos produzidos na própria fazenda.

Diante do exposto, algumas características comuns aos sistemas de terminação de bovinos em confinamento no Brasil podem ser enumeradas:

- a) Uso intensivo de capital, decorrente das necessidades inerentes ao processo produtivo: fornecimento de toda a alimentação dos animais via arraçoamento, aplicação de vacinas, vermífugos e complementos vitamínicos, infra-estrutura mínima em instalações e equipamentos;
- b) Inúmeras técnicas³ e tecnologias⁴ de produção decorrentes das possibilidades de combinações entre tipos de animais quanto à raça, peso inicial, sexo, peso final e número, mão-de-obra, máquinas, concentrados, volumosos, equipamentos, recursos financeiros;
- c) Resultado econômico dependente de variáveis como o preço de aquisição do boi magro, do preço do boi gordo e da taxa de juros, dado que o processo produtivo é de curta duração, competindo, assim, diretamente com outras formas de ativos reais e, ou, financeiros (Neves et al., 1993);
- d) Necessidade de formulação de ração balanceada que atenda às exigências nutricionais dos animais para o ganho de peso diário planejado, de tal modo que atinjam peso final igual ou superior a 450 kg na época de venda. Somente assim, os animais poderiam ser classificados como "boi gordo" o que, caso não ocorresse, implicaria em prejuízos ao confinador (Lazzarini Neto, 1993); e
- e) Pouca ou irrisória diferenciação do preço pago por frigoríficos e açougues ao confinador, apesar de os animais terminados em confinamento tenderem a apresentar carne de melhor qualidade e maior rendimento da porção comestível em comparação aos animais submetidos a outros regimes de engorda (Lazzarini Neto e Lazzarini, 1995).

³ Combinação entre os fatores de produção de modo a produzir ao longo de uma mesma isoquanta (Varian, 1992).

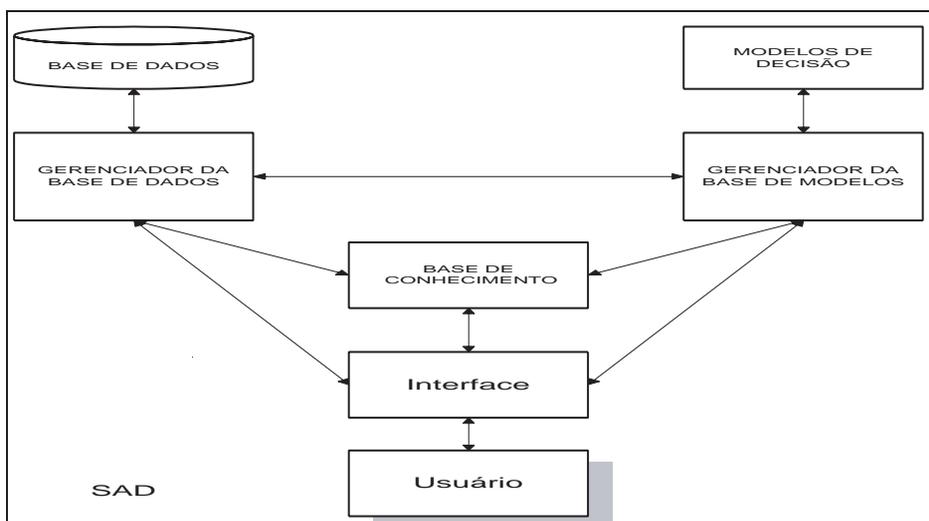
⁴ Combinação entre os fatores de produção de modo a se produzir em isoquantas distintas (Varian, 1992).

3. Sistemas de apoio à decisão (SAD)

Por anos, os administradores têm considerado o processo de tomada de decisão como uma arte, um talento adquirido ao longo do tempo através da experiência (aprendizado por tentativa e erro), uma vez que uma variedade de estilos individuais poderiam ser utilizados no sentido de se aproximar e solucionar com sucesso o mesmo tipo de problema gerencial. Esses estilos eram mais baseados em criatividade, julgamento, intuição e experiência do que em métodos quantitativos baseados em procedimentos científicos (Turban, 1993).

Dada a constante e rápida transformação do, cada vez mais, complexo ambiente em que os administradores operam, tornou-se complicado confiar em procedimentos baseados tão somente em tentativa e erro. Nesse contexto, se insere o desenvolvimento e utilização de ferramentas computacionais como os SADs, capazes de incorporar e interligar dados, modelos matemáticos e conhecimento de especialistas no sentido de dar subsídio ao processo de tomada de decisão dos administradores.

Apesar da diversidade de definições do que seria um SAD, pode-se dizer que no mínimo deve ser um sistema de informação computacional interativo, flexível e adaptativo, desenvolvido para dar suporte à resolução de um problema gerencial específico. Para tanto, deve utilizar dados e modelos analíticos, possuir interface amigável e permitir que o tomador de decisões incorpore a sua experiência e *insights*. Genericamente, um SAD deve possuir alguns componentes interligados: o “software”, o usuário, e o “hardware” (Figura 1).



Fonte: Adaptado de Turban (1993), El-Najdawi e Stylianou (1993).

Figura 1. Modelo conceitual de um SAD.

O software é constituído por três subsistemas, que são: o dos dados, o dos modelos e o de comunicação. O subsistema de dados inclui a base de dados e o sistema gerenciador de banco de dados (SGBD); o subsistema de modelos é constituído do “software” que contém e gerencia os modelos matemáticos/estatísticos; o subsistema de comunicação compreende a interface com o usuário, sendo através dele que o usuário efetivamente comunica-se e comanda o SAD (El-Najdawi e Stylianou, 1993; Turban, 1993). Em alguns SADs pode ser importante a inclusão de um ou mais sistemas especialistas que incorporem a base de conhecimento de especialistas ou “experts” em área específicas do conhecimento.

4. Base de modelos de sistemas de apoio à decisão aplicados a confinamentos de bovinos de corte

Como já mencionado, um dos subsistemas de um SAD constitui-se da base de modelos matemáticos/estatísticos. Serão apresentados dois exemplos de modelos matemáticos desenvolvidos com o intuito de auxiliar o administrador de confinamentos de bovinos de corte a planejar a estratégia de produção que mais se aproxime do lucro máximo, possibilitando a incorporação de informações de mercado e do seu próprio “feeling”.

4.1. Minimizando o custo com a alimentação para dado nível de ganho de peso vivo diário

Observando as características comuns entre sistemas de terminação de bovinos de corte no Brasil, apresentadas no item 2 desse capítulo, pode ser verificado que o confinador deve definir a duração do processo de engorda com critério, de modo a obter o boi gordo, com pelo menos 450 kg de peso vivo, entre outubro e novembro, normalmente, meses de pico de preço da entressafra.

Com base no exposto, caso o confinador tenha pré-definido o número de animais a confinar, os pesos inicial e final médios do lote e a duração do processo de confinamento em dias ou o ganho de peso vivo diário desejado para os animais, o problema a ser solucionado se reduz à determinação da composição da ração de custo mínimo capaz de assegurar o ganho de peso vivo diário planejado para os animais a serem confinados, maximizando, assim, os lucros para dada estratégia de produção.

Visando modelar o problema descrito acima, utilizou-se equações propostas pelo Agricultural and Food Research Council - AFRC (1993) para antever o ganho de peso vivo diário, National Research Council - NRC (1984),

para antever o consumo de matéria seca, e as equações propostas por Fontes (1995), para calcular as exigências nutricionais do lote de animais a ser confinado. Tais equações são funções do peso inicial e final médio do lote de animais a ser confinado e do teor de energia metabolizável da ração, definido pelo AFRC (1993) como sendo a energia total ingerida pelo animal em sua alimentação, menos a energia perdida nas fezes, urina e gases. Apresenta-se, a seguir, a função ganho de peso vivo diário ΔW , proposta pelo AFRC (1993), e o consumo voluntário de matéria seca (CVMS) proposto pelo NRC (1984).

$$\Delta W = E_f / [C4 * C2 * (4,1 + 0,0332 * W - 0,000009 * W^2) + 0,1475 * E_f] \quad (1)$$

onde:

$$E_f = \{B * [1 - \exp(-K * I)] - 1\} * \{CI * [0,53 * (W/1,08)^{0,67}] + 7,08 * W/1000\} \quad (2)$$

$$B = K_m / (K_m - K_f) \quad (3)$$

$$K = K_m * \ln(K_m / K_f) \quad (4)$$

$$I = [EM]_d / [CI(0,53 * W / 1,08)^{0,67} + 7,08 * W / 1000] \quad (5)$$

$$K_m = 0,35 * q_m + 0,50 \quad (6)$$

$$K_f = 0,78 * q_m + 0,006 \quad (7)$$

$$[EM]_d = CVMS * [EM] \quad (8)$$

(9)

$$CVMS = 1,05 * [W^{0,75} * (0,1493 * [ELm] - 0,0460 * [ELm]^2 - 0,0196)] \quad (10)$$

$$[ELm] = 1,37 * [EM] / 4,184 - 0,138 * ([EM] / 4,184)^2 + 0,0105 * ([EM] / 4,184)^3 - 1,12 \quad (11)$$

$$q_m = [EM] / 18,8$$

onde: W = ganho de peso vivo em kg por dia; W = peso vivo do animal médio do lote em kg; E_f = energia líquida para ganho de peso em MJ (Megajoules) por dia; $C4$ = 1,15 para machos inteiros e castrados e 1,10 para fêmeas; $C2$ = coeficiente de ajuste do ganho de peso diário dos animais; assume valores de acordo com o tipo de desenvolvimento e sexo dos animais, como apresentado na Tabela 1; B , K , I são parâmetros calculados conforme equações 3, 4 e 5; CI = 1,15 para machos inteiros e 1,0 para fêmeas e

kg de matéria seca da ração; K_m = Eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção do animal médio; K_f = eficiência de utilização da energia metabolizável para engorda do animal médio; q_m = razão entre a energia metabolizável e a energia total da ração; CVMS = consumo voluntário de matéria seca em kg por dia segundo o NRC (1984); essa equação tem por fim antever o consumo diário de ração, em matéria seca, para um animal médio sem qualquer tipo de restrição na quantidade de alimento fornecida ao mesmo; [ELM] = energia líquida necessária para a manutenção do animal médio, segundo o NRC (1984).

Tabela 1. Valores do fator de correção C2 utilizado na determinação do ganho de peso diário dos bovinos em confinamento segundo AFRC (1993).

Tipo de Desenvolvimento	Macho	Macho Castrado	Fêmea
Precoce	1,00	1,15	1,30
Médio	0,85	1,00	1,15
Tardio	0,70	0,85	1,00

Tabela 2. Classificação de raças de bovinos em grupos quanto ao tipo de desenvolvimento, baseado em AFRC (1993), Jorge (1993) e Jorge et al. (1996).

Precoce	Médio	Tardio
Angus, North Devon, Holandês	Hereford, Gir, Tabapuã, Guzerá, Nelore	Charolês, Limousin, Simental, South Devon, Cruzamento Zebu x Europeu

Segundo Resende Filho et al. (1998a), pode-se manipular as equações de (1) a (12) de modo a verificar que a equação (1) é, em última análise, função de [EM] e W.

Pode-se perceber que, à medida que o animal ganha peso e, conseqüentemente, altera o seu peso vivo, para um mesmo teor de energia metabolizável na ração, serão, também, variados o seu ganho de peso vivo e consumo de matéria seca. Como forma de equacionar o problema de se calcular o ganho de peso vivo diário, baseando-se, apenas, nas características iniciais do lote de animais, subdividiu-se o período de confinamento em dez

subperíodos. Dessa forma, ao se calcular o ganho de peso diário do lote de animais confinados como uma média do ganho de peso calculado para cada subperíodo, conforme apresentado na equação 12, objetivou-se minimizar o problema de se considerar um ganho de peso linear para todo o período de confinamento considerando, tão somente, o peso inicial dos animais.

$$\Delta W_m = \sum_{i=0}^9 \Delta W_t / 10 \quad (12)$$

$$W_t = W_0 + (W_{10} - W_0) * t / 10 \quad (13)$$

onde: ΔW_m = ganho de peso vivo médio esperado para o lote de animais confinados em kg por dia, sendo uma função de EM e W_t ; tem o seu valor informado pelo usuário do SAD; DW_t = ganho de peso vivo em kg por dia para cada subperíodo t, calculado segundo equação 1; W_t = peso vivo do animal em kg para cada subperíodo t; W_0 corresponde ao peso médio do lote de animais no início do processo de terminação em confinamento e W_{10} , ao peso final médio do lote confinado.

É importante mencionar que para se modelar o problema de minimização do custo de ração e incorporá-lo à base de modelos de um SAD, há necessidade de se implementar uma rotina, de tal modo que, com base nos valores informados pelo usuário do SAD para raça, sexo, peso inicial (W_0), peso final (W_{10}) e ganho de peso vivo diário (W_m), seja possível calcular [EM] de modo a garantir o ganho de peso vivo médio para o lote de animais pré-estabelecido pelo usuário do sistema.

Dessa feita, uma vez definidos os valores de W_0 e W_{10} pelo usuário do SAD, a equação 12 torna-se uma função apenas da energia metabolizável [EM]. A rotina a ser implementada no SAD, deve ser capaz de calcular, com base na equação (12), o valor de [EM] necessário para que os animais confinados apresentem um ganho de peso vivo, tal e qual o planejado pelo usuário do SAD. Operacionalmente, tal rotina deve encontrar uma "raiz", de tal maneira que a equação (12) modificada $\Delta W_m - \sum_{i=0}^9 \Delta W_t / 10 = 0$.

Uma vez calculado o valor de [EM], todas as equações já apresentadas e a serem apresentadas nas seções seguintes passam a ser constantes, ou seja, assumem um valor numérico calculado com base no peso inicial e final definido pelo usuário do sistema e na [EM] calculada.

4.1.1. Descrição das equações utilizadas para calcular as exigências nutricionais dos animais confinados

É importante ressaltar que para se garantir o ganho de peso desejado para os animais em terminação em confinamento, além de se assegurar o teor mínimo de energia metabolizável na ração, se faz necessário, também, respeitar níveis mínimos de proteína e minerais. Desta feita, utilizou-se as equações propostas pelo AFRC (1993) e por Fontes (1995), objetivando calcular as exigências nutricionais mínimas dos animais confinados para cada situação apresentada pelo confinador ou usuário do sistema. A seguir, serão apresentadas tais equações.

a) Exigência de proteína para bovinos em confinamento segundo o AFRC (1993)

$$MP_t = 2,3 * W_t^{0,75} + C6 * [(168,07 - 0,16869 * W_t + 0,0001633 * W_t^2) * (1,12 - 0,1223 * DW_t) * 1,695 * DW_t] \quad (14)$$

$$MPG_t = MP_t / CVMS_t \quad (15)$$

onde: MP_t = exigência de proteína metabolizável em gramas por dia, para cada subperíodo t; C6 = fator de correção para raça e sexo dos animais, definido na Tabela 3. $CVMS_t$ = consumo voluntário de matéria seca em kg por dia segundo a equação 9, para cada W_t ; MPG_t = exigência de proteína metabolizável em gramas por kg de matéria seca, para cada subperíodo t.

Tabela 3. Valores do fator de correção C6 utilizado na determinação da exigência de proteína para bovinos em confinamento, segundo AFRC (1993).

Desenvolvimento	Macho	Macho Castrado	Fêmea
Precoce	1,00	0,90	0,80
Médio	1,10	1,00	0,90
Tardio	1,20	1,10	1,00

É importante observar que a exigência de proteína é função do peso vivo e do ganho de peso vivo diário dos animais (vide equação 14). Como o ganho de peso do animal é função da energia metabolizável da ração e do peso vivo dos animais, verifica-se que, em última análise, a exigência de proteína será função dessas mesmas variáveis.

b) Exigências de Cálcio, Fósforo, Potássio, sódio e magnésio segundo Fontes (1995)

$$Ca_t = [-0,74 + 0,0079 * W_t + 0,66 * CVMS_t + 109,073 * (W_t/1,08)^{-0,37177}] / (0,68 * CVMS_t) \quad (16)$$

onde: Ca_t = exigência de cálcio em gramas por kg de matéria seca da ração para cada subperíodo t.

$$P_t = [1,6 * (-0,06 + 0,693 * CVMS_t) + 61,378 * (W_t/1,08)^{-0,36546}] / (0,58 * CVMS_t) \quad (17)$$

onde: P_t = exigência de fósforo em gramas por kg de matéria seca da ração para cada subperíodo t.

$$K_t = [2,6 * CVMS_t + 0,0445 * W_t + 1,1 + 4,090 * (W_t/1,08)^{-0,25111}] / CVMS_t \quad (18)$$

onde: K_t = exigência de potássio em gramas por kg de matéria seca da ração para cada subperíodo t.

$$Na_t = [0,0068 * W_t + 2,769 * (W_t/1,08)^{-0,07401}] / (0,91 * CVMS_t) \quad (19)$$

onde: Na_t = exigência de sódio em gramas por kg de matéria seca da ração para cada subperíodo t.

$$Mg_t = [0,003 * W_t + 1,901 * (W_t/1,08)^{-0,27192}] / (0,17 * CVMS_t) \quad (20)$$

onde: Mg_t = exigência de magnésio em gramas por kg de matéria seca da ração para cada subperíodo t.

4.1.2. Proteína metabolizável nos alimentos

No modelo proposto pelo AFRC (1993), a disponibilidade de proteína nos alimentos não é mais estática ou simplesmente tabelada, mas dependente da própria composição da ração a ser fornecida. A relação entre a disponibilidade de proteína nos alimentos e as características da ração é efetivada considerando-se a taxa de passagem (r) da ingesta pelo rúmen dos bovinos. A seguir, apresenta-se a equação utilizada no cálculo do teor de proteína metabolizável em cada alimento i .

$$MP_i = 0,6375 * MCP_i + DUP_i \quad (21)$$

$$MCP_i = FME_i * [7,0 + 6,0 * (1 - e^{-0,35L})] \quad (22)$$

$$DUP_i = 0,9 * [(CP_i - QDR - SDR) - 6,25 * ADIN_i] \quad (23)$$

$$QDR = 0,8 * (a_i * CP_i) \quad (24)$$

$$SDP_i = (b_i * c_i) * CP_i / (c_i + r_i) \quad (25)$$

$$r_i = -0,024 + 0,179 * (1 - e^{-0,278L}) \quad (26)$$

onde:

MP_i = disponibilidade de proteína metabolizável determinada para cada alimento i em gramas por kg de matéria seca; MCP_i = quantidade da proteína bruta total da massa de microrganismos presentes no rúmen do animal confinado advinda de cada alimento i , em gramas por kg de matéria seca. FME_i = a energia metabolizável fermentável no rúmen para cada alimento i da ração, expresso em MJ por kg de matéria seca, com valores tabelados com base em análise química dos alimentos; $L = l$, definido segundo equação (5), quando $L = l = 1$ o animal está sendo alimentado em nível de manutenção, nos cálculos considerou-se o $L = l_0$, ou seja, o L assume o valor de l calculado utilizando-se ΔW_0 e W_0 ; DUP_i = a proteína digestível não degradável no rúmen, expresso em gramas por kg de matéria seca de cada alimento; CP_i = teor de proteína bruta presente em cada alimento i em g/kg de matéria seca com valores tabelados com base em análise química dos alimentos; QDR_i = fração da proteína que é rapidamente degradada em nível de rúmen em g/kg de matéria seca do alimento i ; SDP_i = fração da proteína lentamente degradada no rúmen em g/kg de matéria seca do alimento i ; $ADIN_i$ = teor de nitrogênio

insolúvel em detergente ácido, corresponde a proteína não degradável no rúmen em g/kg de matéria seca de cada alimento i com valores tabelados com base em análise química dos alimentos; a_i = fração da proteína bruta do alimento i que é rapidamente degradada no rúmen com valores tabelados com base em dados experimentais; b_i = fração da proteína bruta do alimento i que é lentamente ou potencialmente degradável no rúmen do animal, com valores tabelados com base em dados experimentais; c_i = taxa de digestão por hora da fração b de cada alimento i , com valores tabelados com base em dados experimentais; r_i = taxa de passagem do alimento i pelo rúmen do animal por hora.

a) Suprimento de nitrogênio para síntese de proteína microbiana no rúmen

Segundo AFRC (1993) a disponibilidade de proteína na ração, dada segundo a equação 21, somente pode ser, assim considerada, quando se garante que os microrganismos atuantes em nível de rúmen tenham assegurados o suprimento mínimo de nitrogênio para realizarem o seu metabolismo. Desta forma, a parte da proteína que é efetivamente degradada no rúmen (ERDP) do animal confinado e que, por definição, é utilizada pelos microrganismos ali presentes, com uma eficiência de 100%, deve ser maior, ou igual, à proteína bruta dos microrganismos do rúmen dada pelo somatório de MCP. Tal exigência, será incorporada como restrição ao modelo de minimização do custo de rações. A seguir, apresenta-se a equação que é utilizada para se calcular o teor de proteína que é efetivamente degradada no rúmen pelos microrganismos.

$$ERDP = \sum_{i=1}^n P_i [0,8 * a * CR + b_i * \alpha * CR / (\alpha + r_i)] \quad (27)$$

onde: ERDP = a proteína efetivamente degradada no rúmen ou a medida da parcela do suprimento total de nitrogênio que é efetivamente utilizada pelos microrganismos do rúmen para crescimento e síntese protéica. Tem seus valores expresso em gramas por kg de matéria seca da ração; P_i = quantidade de cada alimento i em kg de matéria seca na ração.

4.1.3. Um modelo para minimização do custo de rações para confinamentos de bovinos de corte

Com base nas características do problema de minimização do custo da ração a ser fornecida aos bovinos em terminação em confinamento, pode-se

formalizar a função objetivo desse problema de programação linear, da seguinte forma (Resende Filho, 1997 e Resende Filho et al., 1998a):

$$\text{Minimize } CR = \sum_{i=1}^n Pr_i * R / MS_i \quad (28)$$

onde: CR = Custo da ração a ser fornecida aos animais em confinamento em R\$ por 100 kg de matéria seca; MS_i = porcentagem de matéria seca de cada alimento i, com valores tabelados com base em análise químico-bromatológica dos alimentos; Pr_i = preço de mercado ou custo de produção em R\$/kg de cada alimento i disponível à formulação da ração, em matéria natural.

As restrições ao problema de minimização do custo da ração a ser fornecida em confinamentos de bovinos de corte são descritas a seguir.

- I) Não negatividade das variáveis de decisão do modelo, $P_i \geq 0$, para $i = 1, 2, \dots, n$;
- II) A quantidade de melaço não deve exceder 10% da matéria seca da ração (Ferreira, 1993), $Me \leq 10$, onde: Me = kg de matéria seca de melaço;
- III) A quantidade de uréia não deve exceder 1% da matéria seca (Ferreira, 1993), $Ur \leq 1$ onde: Ur = kg de matéria seca de uréia;
- IV) O teor de proteína deve atender às necessidades dos animais em confinamento em sua fase limite, assim atendendo as necessidades dos outros subperíodos também, $\sum_{i=1}^n MP_i P_i \geq \text{maior } MPG_t$;
- V) Restrições quanto ao teor de cálcio na ração: a) $\sum_{i=1}^n Ca_i * P_i \geq \text{maior } Ca_t$; e b) $\sum_{i=1}^n Ca_i * P_i \leq 2$, onde: Ca_i = valor tabelado em gramas de cálcio por kg de matéria seca em cada alimento i; Segundo NRC (1984) o nível de cálcio não deve exceder 2% da matéria seca da ração;
- VI) Restrições quanto ao teor de fósforo na ração a) $\sum_{i=1}^n Po_i * P_i \geq \text{maior } P_t$; e b) $\sum_{i=1}^n Po_i * P_i \leq 1$, onde: Po_i = gramas de fósforo por kg de matéria seca em cada alimento i; Segundo NRC (1984), o nível de fósforo na ração em base seca

não deve exceder 1 %;

- VII)** Restrições quanto ao teor de potássio na ração a) $\sum_{i=1}^n K_i * P_i \geq \text{maior } K_t$;
b) $\sum_{i=1}^n K_i * P_i \leq 3$, onde: K_i = gramas de potássio por kg de matéria seca em cada alimento i; Segundo NRC (1984), o nível de potássio na ração não deve exceder 3%;

- VIII)** Restrições quanto ao teor de sódio na ração a) $\sum_{i=1}^n Na_i * P_i \geq \text{maior } Na_t$;
b) $\sum_{i=1}^n Na_i * P_i \leq 10$, onde: Na_i = gramas de sódio por kg de matéria seca em cada alimento i; O nível de sódio na ração não deve exceder a 10% da matéria seca da mesma (NRC, 1984).

- IX)** Restrições quanto ao teor de magnésio na ração a) $\sum_{i=1}^n Mg_i * P_i \geq \text{maior } Mg_t$;
b) $\sum_{i=1}^n Mg_i * P_i \leq 4$, onde: Mg_i = gramas de magnésio por kg de matéria seca em cada alimento i. Têm seus valores tabelados; O nível de magnésio na ração não deve exceder 0,4% (NRC, 1984);

- X)** Restrição quanto ao teor de matéria seca total da ração $\sum_{i=1}^n P_i = 100$;

- XI)** Relação cálcio/fósforo na ração a) $\sum_{i=1}^n Ca * P_i - 4 * \sum_{i=1}^n PoP_i \leq 0$;
b) $\sum_{i=1}^n Ca * P_i - \sum_{i=1}^n PoP_i \geq 0$, o teor de cálcio na ração deverá ser, pelo menos, quatro vezes menor que o teor de cálcio e, no mínimo, o teor de cálcio deverá ser igual ao teor de fósforo da ração em base seca (Ferreira, 1993);

- XII)** Teor de concentrados na matéria seca da ração $\sum_{i=1}^{n-c} V_i \geq 10$ onde: V_i = kg de matéria seca de cada alimento i do tipo volumoso, com i variando de 1 a n-c, onde c diz respeito ao número de alimentos concentrados considerados no modelo. O i variando de 1 a n-c, decorre da necessidade

de que os n-c primeiros alimentos do banco de dados do SAD sejam alimentos volumosos. Esta restrição estabelece que o teor de volumoso deve ser maior que 10% da matéria seca da ração formulada ou, em outras palavras, que o teor de concentrado deverá ser, no máximo, 90% da ração formulada. Tal restrição objetiva evitar problemas de acidose nos animais confinados (Resende Filho, 1997);

- XIII)** Para que os microrganismos do rúmen possam sintetizar eficientemente a proteína microbiana, é necessário que se assegure, além da energia metabolizável mínima, também o nível de nitrogênio mínimo (AFRC, 1993). Dessa forma, deve ser assegurado que a proteína efetivamente degradada no rúmen (ERDP) seja maior ou igual ao somatório da proteína bruta microbiana de cada alimento i (MCP_i): $ERDP \geq \sum_{i=1}^n MCP_i$;
- XIV)** Mínimo de energia metabolizável na ração $\sum_{i=1}^n EM_i P_i$ [EM] onde: EM_i = energia metabolizável em MJ por kg de matéria seca de cada alimento i .

4.2. Um modelo para maximização do lucro do confinamento

Caso o confinador não tivesse pré-definido o valor de qualquer uma das seguintes variáveis: peso final dos animais, número de animais, ganho de peso diário ou número de dias em confinamento, o problema gerado seria mais complexo que a simples minimização dos custos de uma ração balanceada para dada estratégia de produção. Para verificar o que aconteceria nesse caso, apresenta-se a função objetivo lucro total de um confinamento.

$$\text{Maximize LUCRO} = \text{RTA} - \text{CT} \quad (29)$$

onde:

$$\text{RTA} = (\text{PBG} * \text{NA} * \text{PF} * \text{RC}) / 15 * (1 + j)^{(\text{D} + \text{P})/30} \quad (30)$$

$$\text{CT} = \text{CM} + \text{CA} + \text{CF} + \text{CBM} + \text{CAR} \quad (31)$$

onde: RTA = receita total atualizada para data de início do confinamento; CT = custo total de produção; PBG = preço de venda do boi gordo no dia de término do confinamento em R\$ por arroba; NA = Número de animais do lote confinado; PF = Peso final dos animais; RC = Rendimento de carcaça em %; j = taxa de juros de oportunidade; D = duração do confinamento em dias, calculado dividindo-se a diferença entre o peso final e inicial do lote de animais pelo ganho de peso diário médio, ΔW_m , definido pela equação 12; P = prazo para o recebimento do pagamento, em dias; CM = custos mensais calculado multiplicando-se os gastos com mão-de-obra, horas-máquina pela duração do confinamento em meses; CA = custos com os animais, calculado multiplicando-se os gastos com medicamentos, vacinas, vitaminas pelo número de animais do lote; CF = custos fixos com depreciação de máquinas, equipamentos e benfeitorias, custo de oportunidade da terra, manutenção de máquinas e equipamentos, juros sobre o capital médio empatado com a atividade; CBM = custo com a compra do boi magro, calculado multiplicando-se o preço unitário do boi magro pelo número de animais no lote; CAR = custo com o arraçoamento do lote confinado, calculado multiplicando-se o custo por kg da ração balanceada em base seca, por exemplo a calculada segundo a equação 28 dividida por 100 kg, pelo consumo médio de matéria seca do período, pelo número de animais (NA) do lote e pela duração do confinamento em dias (D).

No caso da maximização do lucro, o modelo de programação matemática se torna um Problema de Programação Não-linear (PPNL) uma vez que, além das quantidade de cada alimento i em kg de matéria seca, também passam a ser variáveis de decisão do modelo a energia metabolizável em MJ, o peso final dos animais e o número de animais (variável inteira).

Segundo Resende Filho (1997), o modelo de maximização do lucro poderia ser incrementado adicionando-se àquelas restrições já definidas para o modelo de minimização do custo de rações, outras como:

- I) Restrição quanto ao número de dias de confinamento, $D \leq$ duração do confinamento em dias pré-estabelecidos pelo usuário do SAD;
- II) Restrição quanto ao número de animais, de maneira que o número de animais confinados \leq ao número de animais estipulados pelo usuário em função da capacidade das instalações;
- III) Restrição para que o peso final médio do lote de animais \geq Peso final mínimo estipulado pelo usuário;

IV) Restrição financeira para que o Custo Total de Produção \leq Capital disponível informado pelo confinador;

V) Restrição de integralidade da variável de decisão número de animais;

VI) Restrição à quantidade máxima em que cada alimento volumoso i poderá ser utilizado durante o processo de confinamento: $CVMSm * (\sum_{i=1}^n \frac{Pi}{MSi} / 100) * NA * D * (pi/MSi) \leq$

Quantidade estipulada pelo usuário do SADCONF, em que **CVMSm** é o consumo voluntário médio de matéria seca por animal, calculado com base na equação 9, utilizando a idéia apresentada para o cálculo do ganho de peso vivo médio apresentada na definição da equação 12. Essa restrição seria interessante quando houvesse restrições nas capacidades físicas de silos e, ou limitação da produção na própria fazenda dos volumosos a serem utilizados.

VII) Restrição à quantidade mínima em que cada alimento volumoso i poderá ser utilizado durante o processo de confinamento $CVMSm * (\sum_{i=1}^n \frac{Pi}{MSi} / 100) * NA * D * (pi/MSi) \geq$

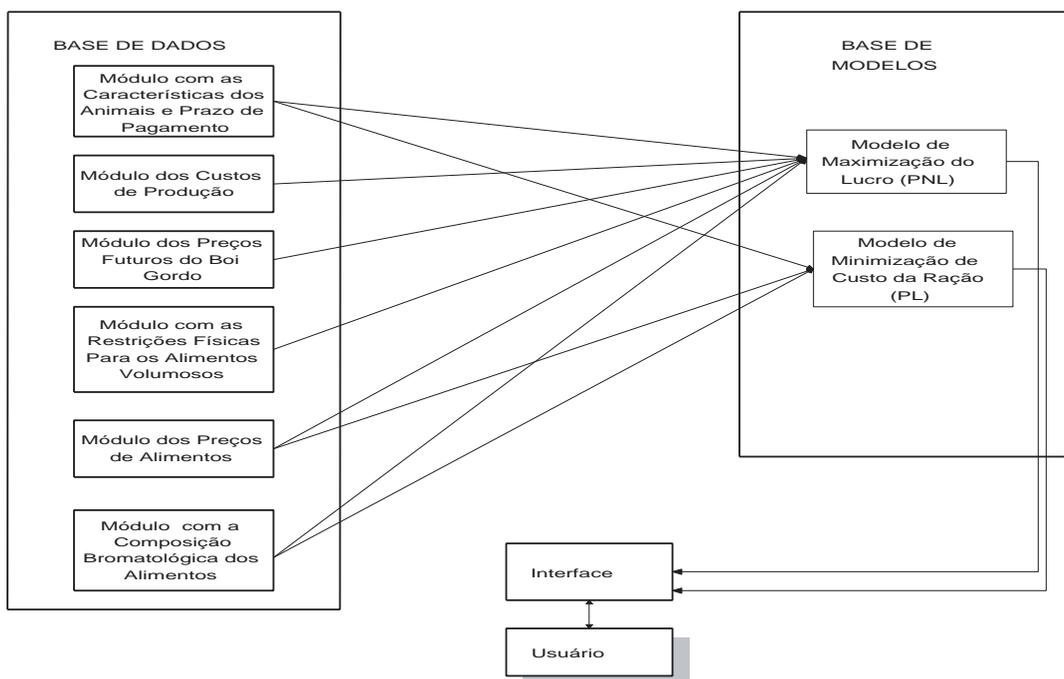
Quantidade estipulada pelo usuário. Pode ser útil ao limitar que a solução encontrada utilize, pelo menos, todo o estoque de um ou mais volumosos que tenham sido estocados para o confinamento.

4.3. Sistemas de apoio à decisão aplicados ao confinamento de bovinos de corte

Dois exemplos de SADs serão apresentados no sentido de ilustrar a utilização desse tipo de ferramenta computacional na tomada de decisões em confinamento de bovinos de corte. Em ambos os exemplos, os SADs utilizam os modelos matemáticos para maximização do lucro e minimização do custo de rações já apresentados no presente capítulo.

4.3.1. Um sistema de apoio à decisão desenvolvido com o uso de planilha eletrônica

Resende Filho et al. (1998b) apresentam e descrevem um SAD aplicado ao confinamento de bovinos de corte (SACONF) desenvolvido com o uso do Microsoft Excel 5.0., utilizando-se o Microsoft Visual Basic para aplicativos e a macro suplementar Solver que utiliza o método Simplex, "Branch and Bound" e Gradiente Reduzido Generalizado para resolver respectivamente, problemas de programação linear, inteira, não-linear (MICROSOFT, 1994). O fluxo de dados e a estrutura do sistema são apresentadas na Figura 2.



PNL: Programação Não-Linear; PL: Programação Linear.

Figura 2. Arquitetura do SADCONF

Pode ser observado pela Figura 2 que o SAD pode utilizar os dois modelos matemáticos apresentados no presente capítulo, quais sejam: a) Modelo de Maximização do Lucro do Confinamento o qual utiliza informações coletadas

em todos os módulos de inserção de dados do programa; e b) Modelo de Minimização do Custo de Ração. Vale observar pela Figura 2 que as necessidades de dados para a operacionalização de cada um dos modelos são distintas.

A seguir, serão descritos os dados requeridos ao usuário do SADCONF em cada um dos seus módulos. Deve ser observada a ligação entre os dados e os atributos dos animais a confinar e as equações utilizadas na formalização dos modelos.

Módulo com as características dos animais e prazo de pagamento: peso inicial, sexo (macho, macho castrado, fêmea), raça e preço de compra do boi magro, duração máxima do processo de engorda e o número máximo de dias de duração do processo de engorda.

Módulo dos custos de produção: custos operacionais mensais previstos (pagamento da mão-de-obra, combustível, etc.); os custos por animal (vacina, vermífugo, etc.); o custo de oportunidade do capital ou taxa de juros mensal; disponibilidade máxima de capital; custos fixos decorrentes da manutenção de máquinas e equipamentos, depreciação de instalações, entre outros.

Módulo dos preços futuros da arroba do boi gordo: os preços para os meses subsequentes ao início do confinamento, poderão ser fornecidos com base no critério que melhor parecer ao usuário. Recomenda-se a utilização dos preços formados em nível de Bolsa de Mercadorias & Futuros, uma vez que Kassouf (1988) constata que as previsões formadas no mercado futuro do boi gordo desta instituição são muitas vezes mais precisas que as realizadas com o uso de modelos econométricos sofisticados.

Módulo com as restrições físicas para os alimentos volumosos: os dados aqui inseridos estão relacionados com as restrições VII e VIII do modelo de maximização do lucro.

Módulo dos preços dos alimentos: deve-se inserir os preços/custos de produção dos alimentos disponíveis à formulação de ração, como um dos parâmetros da equação (28).

Módulo com a composição dos alimentos: a composição de 24 alimentos quanto a Matéria seca (%), FME (MJ/kg), Ca, P, Mg, K, CP e ADIN em g/kg, além das parcelas a, b e c da proteína (vide equações de 21 a 26), já está armazenada na base de dados do SADCONF, sendo possível alterá-las.

Durante o processo de maximização do lucro são alterados os valores da variável [EM] em MJ, o peso final dos animais em kg, o número de animais a serem confinados (variável inteira), e a quantidade de cada alimento disponível à formulação da ração. Com a manipulação dos níveis de tais variáveis, vai se aumentando o valor da função lucro do confinamento, até que se chegue ao

ponto em que, se alterando os valores das variáveis já mencionadas, não mais se verifica incremento no valor do lucro final.

Exemplificando a utilização do SADCONF

Para operacionalização do exemplo à seguir foi considerado um módulo de produção que comporta no máximo 60 animais que deverão atingir no mínimo 450 kg de peso vivo com rendimento de carcaça de 52%. Os animais são F1 zebu x europeu, machos castrados, com 360 kg de peso inicial, cotados a R\$ 350,00. A data de início do confinamento é 1 de julho de 1999. Foram definidos a taxa de juros nominal de oportunidade de 1,1% ao mês, os custos com depreciação anual de um curral à céu aberto (R\$ 137,00), pagamento de mão-de-obra e encargos sociais (R\$ 150,00) e juros sobre o capital médio empatado (R\$ 100,00) calculados segundo Resende Filho (1997). Os preços/custos de produção dos alimentos disponíveis, bem como os preços futuros considerados para a arroba do boi gordo são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Preço de alguns alimentos selecionados e preços futuros do boi gordo. Apresenta-se, na Figura 3 a tela dos resultados calculados pelo SADCONF.

Alimento	Custo em R\$/ tonelada	Mês de venda	Preços futuros do boi gordo (R\$/@)
Cloreto de sódio	120,00	Agosto/99	33,6
Silagem de milho	25,00	Setembro/99	35,1
Farelo de soja (45% PB)	205,00	Outubro/99	35,9
Uréia	360,00		
Capim Napier (61 dias)	10,00		

Fonte: AGRIDATA (1999), BM&F(1999).

Observando a Figura 3, verifica-se que o SADCONF apresenta ao usuário o peso final ótimo a ser obtido pelos animais confinados 457,9 kg, o ganho de peso vivo diário por animal de 1,08 kg/dia, o preço nominal esperado para arroba do boi gordo (R\$ 35,90), o número de animais a confinar (60), a data de término e venda dos animais (1º de outubro), o consumo diário de ração (1939,5 kg por dia/60 animais), o lucro esperado R\$ 5650,42, entre outras informações.

RECIPIENTAR SADCONE		SALVAR		RECIPIENTAR SADCONE		RECALCULAR		IMPRIMIR		AJUDA	
APRESENTAR RAÇÃO CALCULADA		RESULTADOS CALCULADOS PELO SADCONE								RAÇÃO CALCULADA EM BASE SECA	
Peso Final do Boi Gordo	35,57 Arrobas									457,8 Kg de Peso Vivo	
Preço Nominal	R\$ 35,90 por Arrebia										
Preço Atualizado para o Mês Inicial	R\$ 34,35 por Arrebia										
Animais a Serem Confinados	00 Animais										
Data de Término do Confinamento	1 de Outubro										
Duração do Confinamento (Dias)	93 dias										
Diferencial de Peso (em Arrobas)	3,9 Arrobas										
Custo da Arrebia do Boi Magro	R\$ 29,20 / Arrebia										
Custo com Ração	R\$ 9,69 / 100 Kg de Matéria Seca									R\$ 1,00 / arroba por dia	
Consumo Diário Médio de Matéria Seca	9,57 Kg de M.S. por Cab.									Consumo Diário: 339,5 Kg de ração por dia	
Ganho de Peso Vivo Diário	1,08 Kg/dia									Custo por Arroba: R\$ 26,18 (arroba ganha)	
Energia Metabolizável da Ração	2,42 Mcal/Kg de M.S.									Energia: 18,1 M.Kg de M.S.	
BALANÇO ECONÔMICO (Valores Atualizados)						% Sobre os Custos					
RECEITAS		R\$ 32714,18								121%	
CUSTOS (TOTAL)		(R\$ 27663,76)								100%	
Custo Total com Boi Magro		(R\$ 2000,00)								70%	
Custo Total com o Arraçoamento		(R\$ 5222,26)								19%	
Custo com os Outros Itens		(R\$ 2441,50)								9%	
LUCRO		R\$ 5050,42								21%	
Devido ao Diferencial de Preços		R\$ 3732,27								14%	
Devido ao Confinamento		R\$ 1318,15								7%	

Figura 3. Tela de apresentação dos resultados no SADCONE.

O SADCONE também calcula, via análise de sensibilidade da solução, qual deverá ser o preço mínimo da arroba do boi gordo na época de término do confinamento, de maneira a garantir ao confinador ao menos lucro zero que segundo a Figura 3 seria de R\$ 29,70.

O SADCONE gera e apresenta ao usuário, a composição da ração em base natural a ser formulada, bem como a sua composição em base seca. No exemplo simulado, a ração em matéria natural a ser fornecida aos animais confinados, de modo a imprimir um ganho de 1,08 kg/dia, com consumo médio diário de ração de 32,33 kg/animal/dia ou 9,57 kg de matéria seca/animal/dia, deveria ser composta de 44,52% de capim elefante Napier, 49,37% de silagem de milho, 0,03% NaCl, 5,89% de Farelo de Soja (45% de PB), 0,19% uréia, o que corresponde em base seca a 30,07% de capim elefante Napier, 51,69% de silagem de milho, 0,09% NaCl, 17,50% de Farelo de Soja (45% de PB), 0,65% uréia.

Vale mencionar que caso o confinador tivesse *a priori* definido confinar 60 animais, imprimindo ganho de peso de 1,08 kg/dia até atingirem 457,9 kg de peso final, as variáveis de decisão do modelo matemático se restringiriam a quantidade de cada alimento i a participar da composição da ração que deveria ser de custo mínimo. Nesse caso, poderia ser utilizado o modelo de minimização de custo da ração para a estratégia definida que se chegaria aos mesmos resultados do modelo de maximização do lucro do confinamento.

É importante mencionar que o resultado obtido com o uso do modelo de maximização do lucro (modelo não-linear e não-convexo), não necessariamente resulta no máximo global da função lucro. Uma forma de se amenizar tal limitação foi criar uma rotina de recálculo que, partindo de valores iniciais diversos para as variáveis de decisão, armazena as soluções obtidas, selecionando aquelas que correspondam ao maior lucro dentre os resultados gerados (Resende Filho, 1997).

Diante da complexidade em se trabalhar com o modelo de maximização do lucro, dos riscos em se disseminar um software baseado em planilha eletrônica, dada a possibilidade de o usuário alterar a concepção inicial do SAD, inviabilizando assim o seu uso e, considerando-se a aplicabilidade do modelo de minimização do custo para uma estratégia de produção pré-definida, apresenta-se a seguir um SAD que incorpora o modelo de minimização do custo, adicionando a ele alguns atributos do modelo de maximização do lucro.

4.3.2. Um sistema de apoio à decisão desenvolvido em Visual Basic

O GERABOI 1.0 constitui-se em um SAD que utiliza o modelo de minimização do custo de rações descrito no presente capítulo, como um componente da função lucro descrita pelas equações (29) à (31). O software foi desenvolvido utilizando-se a linguagem de programação Visual Basic acoplada a uma DLL (Dynamic Link Library) que disponibiliza o algoritmo simplex para resolução de modelos de programação linear. O programa permite a formulação de diversas rações de custo mínimo, considerando-se as características dos animais a serem confinados, bem como os alimentos disponíveis e seus respectivos custos/preços de mercado. Possibilita também a simulação de diversos cenários em que o usuário poderá calcular os seus custos, receitas e lucro esperado para diversas estratégias de produção (considerando-se diferentes animais, duração do confinamento, tipos de alimentos, etc.), bem como o preço mínimo de venda da arroba do boi gordo capaz de garantir lucratividade pré-estabelecida pelo usuário do sistema.

A arquitetura do GERABOI é muito próxima à apresentada na Figura 2 para o SADCONF, com exceção de que não possui o módulo com as restrições físicas para os alimentos volumosos. O GERABOI, com base nos dados inseridos nas suas 4 telas de inserção de dados e no ganho de peso vivo diário informado pelo usuário, calcula a energia metabolizável necessária para se garantir tal ganho. Com base no valor de [EM] calcula o consumo de matéria seca para os animais confinados (equação 9) e os requerimentos nutricionais (equações de 15 a 20). Após isso, carrega o modelo de minimização do custo de rações que após solucionado, permite o cálculo dos custos com alimentação dos animais. Com base nos preços previstos para o boi gordo na data de término, custos com alimentação e demais custos de produção, calcula-se o lucro esperado para aquela estratégia de produção (ganho de peso diário) definida pelo usuário do sistema. Pode-se calcular o lucro esperado para diferentes ganhos de peso vivo diário e então efetuar a comparação entre eles.

5.2.1. Exemplificando a utilização do GERABOI 1.0

Para operacionalização do exemplo a ser simulado considerou-se um módulo de produção com 60 animais, atingindo 450 kg de peso final, com rendimento de carcaça de 52%. Os animais são F1 Zebu x Europeu, machos castrados, com 360 kg de peso inicial (12 arrobas), adquiridos ao custo de R\$ 350,00 cabeça. Considerou-se uma taxa de juros nominal de oportunidade de 1,1% ao mês (vide equação 29). A data de início do confinamento foi estipulada para 1 de julho de 1999. Foram considerados os custos com depreciação de um curral a céu aberto (R\$ 150,00), juros sobre o capital médio empatado (R\$ 100,00), pagamento de mão-de-obra e encargos sociais (R\$ 150,00), medicamentos (2,50/cab.), vacinas (R\$ 0,46/cab.), vitamina A (R\$ 0,46/cab.) e os preços dos alimentos apresentados na Tabela 4.

Foram simuladas 4 possibilidades de ganho de peso vivo; 0,9 kg/dia; 0,95 kg/dia; 1,00 kg/dia e 1,1 kg/dia. O GERABOI 1.0 gerou os resultados apresentados na Figura 4.

Verificado que a estratégia de produção com maior expectativa de lucro, R\$ 5514,70, é a obtida imprimindo-se um ganho de peso de 0,95 kg/dia ao lote de 60 animais a serem confinados, são enumerados alguns dos cálculos do GERABOI para essa estratégia de produção: duração do confinamento de 95 dias, os custos com compra do boi magro e alimentação representam, respectivamente, 78,98% e 17,53% do custo total de produção (Figura 5).

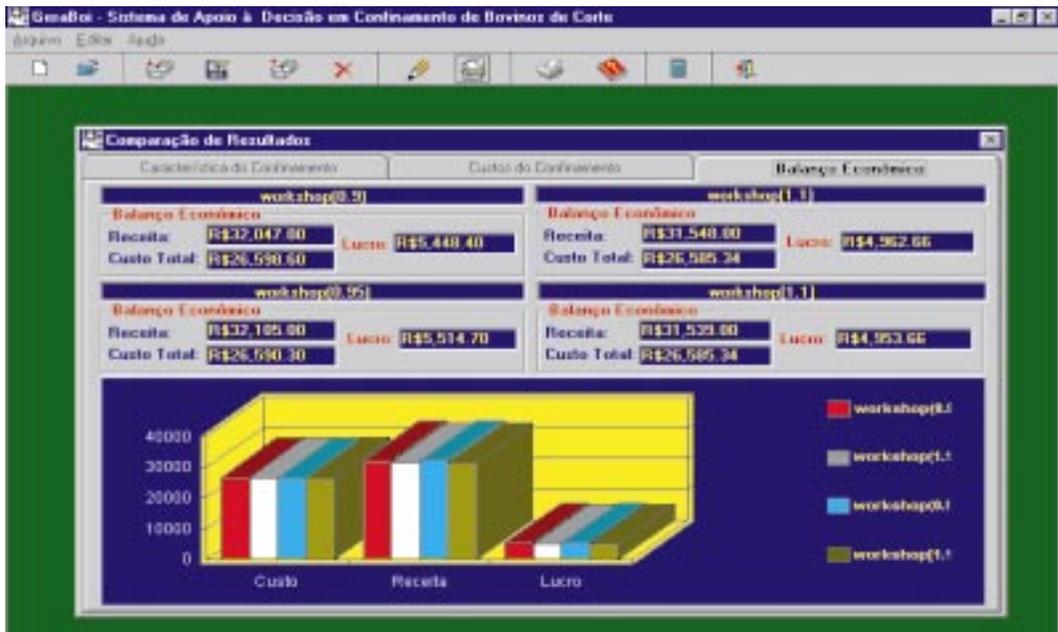


Figura 4. Resultados calculados pelo GERABOI

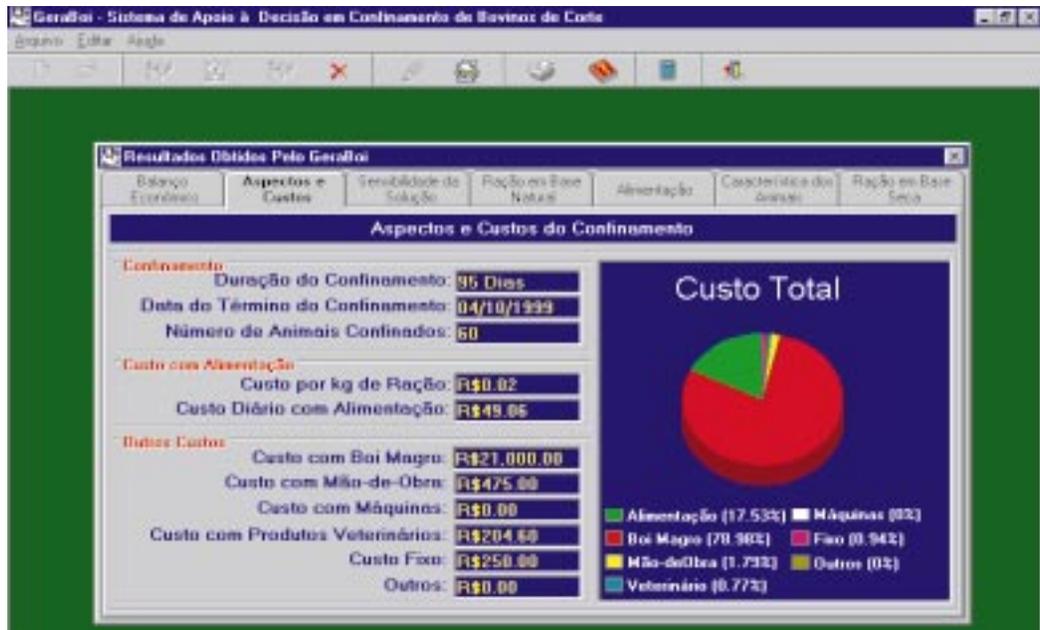


Figura 5. Resultados do Geraboi para custos de produção.

O consumo esperado de ração calculado é de 35,41 kg/cabeça/dia, sendo o custo diário com alimentação de R\$ 49,06 para os 60 animais. A composição da ração de custo mínimo formulada em base seca, bem como suas características nutricionais são apresentadas na Figura 6.



Figura 6. Ração em base e exigências dos animais calculadas pelo GERABOI 1.0

A composição da ração em matéria natural a ser formulada e fornecida aos animais está apresentada na Figura 7.

Com base na composição da ração e na previsão de consumo diário dos 60 animais o GERABOI calcula a quantidade necessária de cada alimento participante da ração, de modo a se alimentar os animais em confinamento até o fim da engorda, como apresenta a Figura 7. Como exemplo, seriam necessários 50 kg de NaCl, o que representaria um gasto de R\$ 6,12; 74,70 toneladas de Silagem de milho, perfazendo um gasto de R\$ 1867,67 e assim por diante para os demais alimentos listados na referida Figura.

Resultado Obtido Pelo Geralboi

Previsão de Custos do Cede Alimento no Ração

Composição da Ração	Quantidade em Tonelada	Preço por Tonelada	Gasto no Confinamento	Preço Mínimo	Preço Máximo
Cherato de Sólido (H2O)	0,05	R\$120,00	R\$6,12	R\$0,00	R\$16,250,00
Silagem de Milho	74,70	R\$29,00	R\$21,673,52	R\$20,11	R\$227,65
Feno de Soja (45% PB)	6,85	R\$200,00	R\$1,370,52	R\$162,94	R\$227,95
Uréia	0,54	R\$300,00	R\$162,00	R\$0,00	R\$1,001,79
Capim Napier - 61 Dias	119,74	R\$10,00	R\$1,197,39	R\$7,61	R\$13,51

Figura 7. Previsão das quantidades de alimento a serem utilizadas no confinamento

O GERABOI possibilita, ainda, se calcular o preço mínimo necessário para que se obtenha um nível de lucro (em valores atualizados) igual ao nível mínimo de atratividade definido pelo usuário do sistema (com base na equação 29). No exemplo simulado o preço mínimo para que o confinador obtivesse lucro zero, ou seja, pelo menos não tivesse prejuízo é apresentado na Figura 8.

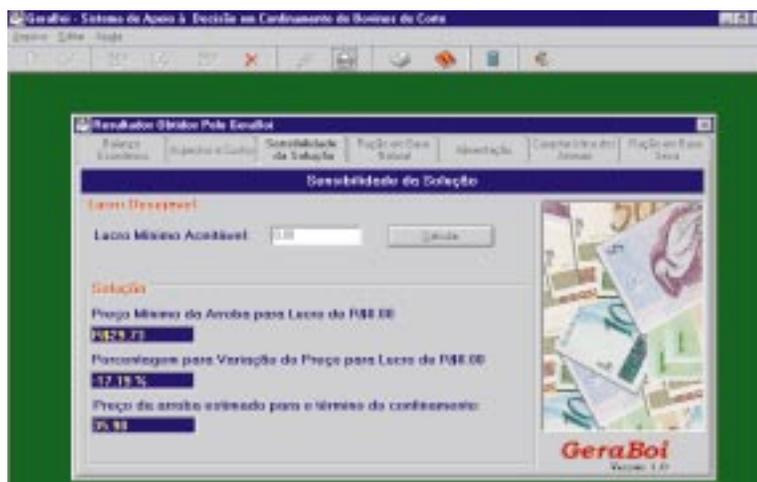


Figura 8. Sensibilidade da solução ao preço futuro do boi gordo por arroba.

Vale observar pela Figura 8 que uma redução de 17,19% no preço previsto para 04/10/1999 data final do confinamento (R\$ 35,90) resultaria em um lucro zero, ou seja, caso o preço da arroba do boi gordo na data de venda dos animais terminados em confinamento fosse R\$ 29,73, mesmo assim o confinador não teria prejuízo. Esse indicador gerado pelo GERABOI dá uma idéia do grau de risco relacionado à imprevisibilidade do preço futuro do boi gordo.

5. Conclusões

Com a tendência de redução dos preços de equipamentos (“hardwares”) e de programas (“softwares”), a agricultura tem hoje uma condição favorável ao investimento na modernização de seus controles via informatização. A informática na agricultura é uma alternativa para o aumento da eficiência gerencial das propriedades, bem como alternativa para se agilizar o fornecimento de informações em tempo real (Martin, 1993; Silva Jr., 1991).

O presente capítulo corrobora com as conclusões de Doluschitz e Schmisser (1988) quando propõem que o uso de SADs informatizados na agricultura pode aumentar a eficiência dos sistemas de extensão rural, uma vez que possibilitam a difusão maior e mais fácil de tecnologia, além de permitir maior agilidade na transmissão e no acúmulo de informações geradas pela pesquisa em sistemas prontamente utilizáveis por agricultores e extensionistas.

Nos casos específicos dos SADs apresentados no presente capítulo, um benefício potencial aos usuários seria o de, estimulando a simulação de técnicas e tecnologias diversas de condução do processo produtivo, propiciar o aumento no nível de entendimento das interligações entre as variáveis de decisão envolvidas no planejamento de sistemas de terminação de bovinos em confinamento.

A concepção de SADs permite a interligação entre diversas áreas do conhecimento científico. No caso dos SADs aplicados ao confinamento de bovinos de corte, verifica-se a interligação entre as áreas de nutrição de ruminantes, economia agrícola, pesquisa operacional e ciência da computação. Dessa feita, percebe-se que o desenvolvimento de SADs computadorizados permite aproximar o conhecimento científico da realidade dinâmica em que se dá o processo de tomada de decisão, podendo auxiliar o administrador a responder às clássicas indagações a respeito do que, como e quanto produzir (Resende Filho, 1998b).

O desenvolvimento e utilização de SADs em condições de campo pode servir como uma maneira de se testar as recomendações técnicas em condições reais, constitui-se em uma maneira efetiva de se testar o conhecimento gerado pelas ciências agrárias, propiciando, dessa forma, avanços (Cox, 1996).

Deve-se refletir sobre os condicionantes da efetiva utilização da informática como instrumento auxiliar na tomada de decisão de pecuaristas e agricultores brasileiros. Há que se reduzir a distância existente entre a sofisticação das ferramentas computacionais e o grau de compreensão e instrução do público alvo. De fato, a disseminação da informática no campo esta intimamente ligada ao próprio processo de difusão de tecnologia.

Os trabalhos relacionados ao uso de SADs na agropecuária têm um extenso campo de pesquisa, principalmente no que concerne a sua adequação às reais necessidades dos agricultores e pecuaristas, ao desenvolvimento de métodos para a validação dos modelos propostos pela pesquisa agropecuária, bem como a avaliação dos impactos decorrentes da efetiva utilização dos mesmos.

Verifica-se que a concepção e construção de SADs e de modelos passíveis de incorporação em sua base de modelos estão intimamente ligadas à compreensão do ambiente onde se dá a tomada de decisões, uma vez que, somente assim, se pode detectar as variáveis de decisão (aquelas em que o tomador de decisões pode influir) do problema abordado. Contudo, pode ocorrer que as variáveis de decisão detectadas pelo construtor do SAD não coincidam com aquelas consideradas e trabalhadas no cotidiano pelos agricultores, pecuaristas e extensionistas rurais. Nesse sentido, ressalta-se que o desenvolvimento de SADs para a agricultura pode ser considerado uma arte em que há de se levar em conta os hábitos e características dos potenciais usuários finais, sem contudo, perder de vista os potenciais benefícios da utilização de modernas ferramentas da informática e da pesquisa operacional combinadas as recentes tecnologias geradas pela pesquisa agropecuária.

6. Referências Bibliográficas

AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL (AFRC). **Energy and protein requirements of ruminants**: an advisory manual prepared by AFRC Technical Committee on responses to nutrients. Wallingford, UK: Commonwealth Agricultural Bureau International, 1993. 159 p.

AGRIDATA. **Preços agropecuários no Estado de Minas Gerais**. Disponível em: < www.agridata.mg.gov.br/emater/owa/hestrc > . Acesso em 1999.

BM&F. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 1999. Caderno 2. Folha dinheiro. (diversos)

COX, P. G. Some issues in the design of agricultural decision support systems. **Agricultural Systems**. Oxford, England, v.52, n.2/3, p.355-381, 1996.

DOLUSCHITZ, R.; SCHMISSEUR, W. E. Expert system: applications to agriculture and farm management. **Computers and electronics in agriculture**, Amsterdam, v. 2, n.2, p.173-182, Apr. 1988.

EL-NAJDAWI, M. K.; STYLIANOU, C. A. Expert support system: integrating AI technologies. **Communications of the ACM**, New York, v.36, n.12, p.55-65, dec. 1993.

EMATER-MG. Confinamento garante o abastecimento na entressafra. **Extensão em Minas Gerais**, Belo Horizonte, n.6, p.13-18, out. 1997.

FERREIRA, N. F. **Otimização econômica em confinamento de bovinos de corte**. 1993. 89f. Dissertação (Mestrado em Economia Agrária) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **Anualpec 96**: anuário estatístico da produção animal. São Paulo: Argos Comunicação, 1996. 312 p.

FONTES, C. A. A. Composição corporal, exigências líquidas de nutrientes para ganho de peso e desempenho produtivo de animais zebuínos e mestiços europeu-zebu: resultados experimentais. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE RUMINANTES, 1995, Viçosa, MG, **Anais...** Viçosa, MG: Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, 1995. p.419-455.

JORGE, A. M. **Ganho de peso, conversão alimentar e características da carcaça de bovinos e bubalinos**. 1993. 98f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia): Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

JORGE, A. M.; FONTES, C. A. A. PAULINO, M. F. Ganho de peso e de carcaça, consumo e eficiência alimentar de zebuínos de quatro raças, abatidos em três estágios de maturidade. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 33, 1996, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBZ, 1996. p.105-107.

KASSOUF, A. L. **Previsão de preços na pecuária de corte do estado de São Paulo**. 1988. 102p. Dissertação (Mestrado em Economia Agrária) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

LAZZARINI NETO, S. Conquistas viáveis nas metas do consumo: qualidade da carne e sistema de comercialização. **O CORTE**, São Paulo, n. 33, p. 19-22, Jun. 1993.

LAZZARINI NETO, S.; LAZZARINI, S. G. Estratégias para entressafra. **Pecuária de Corte**, São Paulo, n.51, p.2-3, abr. 1995.

MARTIN, N. B. A informática no campo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 23, n.8, p.41-43, ago. 1993.

MICROSOFT. **Microsoft Excel 5.0 para Windows**: guia do usuário. Redmont: Microsoft corporation, 1994. 826 p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **Nutrient Requirements of beef cattle**. 6.ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 1984. 90 p.

NEVES, E. M.; ANDIA, L. H.; LAZZARINI, S.; WEDEKIN, V. S. P. Confinamento na bovinocultura de corte em condições ex-ante. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 31, 1993, Ilhéus. **Anais...** Brasília, DF: SOBER, 1993. p. 322-330.

NORONHA, J. F.; PERES, F. C. Rumos futuros da administração rural. In: SEMANA DE ATUALIZAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO RURAL, 1992, Lages. **Anais...** Florianópolis: EPAGRI: CTA do Planalto Serrano Catarinense, 1992. p. 251-260.

PAULINO, M. F.; SATURNINO, M. A. C.; SILVESTRE, J. R. Resultados do acompanhamento do programa de produção intensiva de carne bovina. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.6, n.69, p.3-12, set. 1980.

RESENDE FILHO, M. de A. **Desenvolvimento de um sistema de apoio ao processo de tomada de decisão em confinamento de bovinos de corte.** 1997. 116f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

RESENDE FILHO, M. de A.; BRAGA, J. L.; FONTES, C. A. de A. Um modelo para minimização do custo de rações em confinamentos de bovinos de corte. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v.18, n.2, p.149-172 , 1998a.

RESENDE FILHO, M. de A., BRAGA, J. L.; FONTES, C. A. de A. Um sistema de **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v.36, n.2, p.91-112, jan./fev. 1998b.

SILVA JR., A. G. **Sistema de suporte à decisão integrado a sistemas especialistas:** uma aplicação para o gerenciamento de fazendas produtoras de leite. 1991. 107f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

THIAGO, L. R. L. S.; COSTA, F. P. Confinamento na prática: sistemas alternativos. **O CORTE**, São Paulo, n.45, p.22-26, jul. 1994.

TURBAN, E. **Decision support and expert system: management support systems.** New York: Macmillan, 1993. 833 p.

VARIAN, H.R. **Microeconomic Analysis.** 3. ed. New York: Norton, 1992. 541 p.

CAPÍTULO VIII

**MODELAGEM MATEMÁTICA DE
SUÍNOS E AVES**

Flávio Bello Fialho

1. Introdução

A eficiência de sistemas de produção de suínos e aves melhorou muito ao longo dos anos. Avanços subseqüentes requerem uma análise mais elaborada dos sistemas, levando em conta as interações entre os diversos fatores que afetam o desempenho. O resultado da combinação de efeitos nem sempre é óbvio, não sendo possível recomendar uma estratégia única para todas as situações.

A simulação de diferentes alternativas de manejo com o uso de computadores permite prever o resultado esperado com rapidez e baixo custo. Em breve, modelos de simulação serão usados rotineiramente na agropecuária, para prever os efeitos das variações de fatores biológicos, econômicos e de manejo. Por esses motivos, o desenvolvimento de modelos de simulação tornou-se uma área prioritária de pesquisa.

No desenvolvimento de um modelo, é possível refinar o conhecimento do sistema e suas interações. Relações desconhecidas podem ser identificadas e a pesquisa pode ser direcionada para preencher as lacunas de conhecimento existentes. Experimentos podem ser simulados antes de serem levados a campo, podendo-se escolher o desenho experimental que maximize a informação extraída dos mesmos.

Vários modelos foram desenvolvidos no passado. Whittemore e Fawcett (1974) desenvolveram um modelo simples que descreve a resposta de suínos em crescimento à ingestão de energia e proteína. Black et al. (1986) simularam a utilização de energia e aminoácidos em suínos, num modelo que abrange crescimento e reprodução, considerando fatores nutricionais e ambientais. Bridges et al. (1992) desenvolveram um modelo fisiológico do crescimento de suínos, com ênfase no processo digestivo.

Esse trabalho descreve parte do modelo de crescimento de suínos desenvolvido por Fialho (1997). O modelo se divide em quatro sub-modelos: programa de alimentação, metabolismo, microambiente e balanço térmico. Em seguida, são descritas algumas das alterações necessárias para adaptar esse modelo para aves e, por último, a incorporação de sistemas especialistas a um modelo de simulação. Na definição dos modelos, tentou-se, na medida do possível, representar as equações de fluxo de nutrientes utilizando matrizes e vetores.

2. Programa de alimentação

Um dos fatores mais influentes no crescimento de animais é a

quantidade e tipo de dieta consumida pelos mesmos. O modelo de programa de alimentação é um método usado para fornecer alimento, especificando, para cada dia da vida do animal, o tipo de dieta utilizada, a estratégia de alimentação (à vontade ou controlada), a hora que a ração é fornecida e quaisquer restrições impostas ao longo do dia.

2.1. Fases de alimentação

Um programa de alimentação consiste numa lista de fases de alimentação. Cada fase especifica o tipo de dieta, o cronograma diário de alimentação, a quantidade diária de ração fornecida e um aumento semanal nessa quantidade diária. A alimentação pode ainda ser à vontade, o que significa que não haverá restrição na quantidade de alimento fornecida, exceto por possíveis retiradas da ração durante certos períodos do dia.

O momento da transição de uma fase para outra é função da idade e do peso do animal. A transição pode ocorrer quando o animal atingir uma determinada idade ou um peso mínimo, ou quando ambas as condições ocorrerem. O tipo de transição utilizada deve ser definido no programa de alimentação.

2.2. Composição das dietas

Cada fase do programa de alimentação utiliza um tipo de dieta, cuja composição deve ser especificada. A caracterização de dietas é feita na forma de um vetor, cujos elementos correspondem ao teor de nutrientes contidos na dieta ou a outras características da mesma, como o seu volume específico. Todas as unidades utilizadas no vetor de composição da dieta devem ser expressas por kg de dieta.

Essa abordagem facilita a alteração do modelo. Caso se queira incluir um novo nutriente ou fator contido na dieta, basta incluir mais um elemento no vetor. Além disso, a quantidade ingerida de cada nutriente pode ser facilmente calculada, multiplicando o vetor de composição da dieta pelo consumo de ração.

2.3. Cronograma de alimentação

Parte do programa de alimentação é o cronograma diário das ações de

manejo da alimentação ao longo do dia. Cada ação altera a quantidade de ração no comedouro e a quantidade de ração disponível para o animal. Note que esses dois valores não são iguais. É possível restringir o acesso ao comedouro, de modo que a ração disponível seja zero, apesar de haver ração no comedouro.

Parte do alimento fornecido pode ser desperdiçada, em função do tipo de comedouro e do manejo utilizado. O alimento consumido pelo animal é a diferença entre a ração fornecida e a ração desperdiçada. Nesse caso, a quantidade de ração disponível para o animal será sempre menor que a quantidade de ração no comedouro.

O modelo define cinco possíveis ações para o cronograma de alimentação: remover a ração (restringindo o acesso ao comedouro), restaurar o acesso à ração, nivelar a ração (adicionando ração até que o comedouro tenha uma certa quantidade fixa), fornecer ração (adicionando uma quantidade pré-determinada de ração) e descartar ração (esvaziando o comedouro e contabilizando a ração nele contida como desperdício). Pelo menos uma ação do cronograma deve ser do tipo nivelar ou fornecer ração.

3. Metabolismo de suínos

O modelo de metabolismo animal simula a ingestão e digestão de alimento, metabolismo basal, deposição de tecido e geração de calor. O modelo supõe a existência de uma reserva de nutrientes prontamente disponíveis dentro do organismo. A simulação do metabolismo é baseada no fluxo de nutrientes entre essa reserva, os tecidos, o sistema digestivo e o excretor. Nutrientes são removidos da reserva para manutenção e deposição de tecido, sendo adicionados à reserva após o processo de digestão e absorção e por catabolismo dos tecidos.

O modelo considera que o animal é composto por três componentes. Tecido magro é formado por proteínas, ácidos nucléicos, minerais e outros componentes, e consiste na porção seca e desengordurada do corpo do animal (principalmente músculos e ossos). Uma certa quantidade de energia e um balanço adequado de nutrientes é necessário para que ocorra crescimento de tecido magro. Um segundo componente inclui toda a água presente no organismo. A deposição de água não requer nutrientes ou energia. O modelo supõe que a quantidade de água no organismo é proporcional à quantidade de tecido magro.

Tecido gorduroso inclui todos os depósitos de gordura no organismo animal. O modelo supõe que a deposição de gordura não requer nutrientes específicos, sendo a única exigência uma certa quantidade de energia. Uma

deposição mínima de gordura, chamada de gordura essencial, é necessária para que haja deposição de tecido magro. As exigências para a deposição de tecido magro devem ser somadas à exigência de energia para deposição de gordura essencial. A gordura depositada além do essencial é denominada gordura em excesso, sendo formada quando a quantidade de energia disponível excede aquela necessária para a deposição de tecido magro.

A soma da massa de tecido magro, gordura e água compõe o peso da carcaça. Um fator de correção deve ser aplicado para se obter o peso vivo. Muitos parâmetros podem ser expressos como funções do peso vivo. No entanto, dois animais com o mesmo peso não necessariamente se comportam da mesma forma. Considerando que o tecido magro tem metabolismo mais ativo que gordura, uma correção é feita para a quantidade de gordura na carcaça. O peso corporal equivalente é definido como o peso de um animal magro com o mesmo metabolismo basal que o animal em questão.

Ao longo do tempo, a ingestão e digestão de alimentos são simuladas e os nutrientes digeridos resultantes são adicionados às reservas de nutrientes. A seguir, as exigências de manutenção são calculadas. Se algum nutriente não estiver disponível em quantidades adequadas, tecido magro é catabolizado e os nutrientes resultantes são adicionados às reservas. Se houver deficiência de energia, tanto tecido magro quanto gordura serão catabolizados.

Após as exigências de manutenção terem sido atendidas, ocorre deposição de tecido. Tecido magro é depositado primeiro, junto com a gordura essencial associada, numa quantidade determinada pelo potencial genético do animal ou pelo nutriente mais limitante das reservas, o que for menor. Após a deposição de tecido magro, o modelo simula a deposição de gordura adicional, a qual também é determinada pelo potencial genético do animal e pela energia disponível nas reservas. É possível que se tenha catabolismo de tecido magro e deposição de gordura simultaneamente se, por exemplo, os nutrientes na dieta estiverem desbalanceados.

3.1. Reserva de nutrientes

A reserva de nutrientes é composta pelos nutrientes prontamente disponíveis armazenados no sangue e tecidos com alta atividade metabólica, como o fígado. Os nutrientes digeridos e absorvidos pelo animal e os nutrientes resultantes do catabolismo de tecidos são incorporados na reserva de nutrientes. Os processos de manutenção e produtivos removem nutrientes da reserva. A reserva de nutrientes é definida em termos de um vetor cujos elementos são a quantidade disponível de cada nutriente, em gramas.

Diferentes nutrientes contêm diferentes quantidades de energia, e a eficiência de uso dessa energia pode variar. Cada nutriente contém uma certa quantidade de energia metabolizável (a energia no nutriente menos a energia nos produtos de sua decomposição). A energia disponível para manutenção e produção é denominada energia líquida, a qual consiste na energia metabolizável menos o incremento de calor. Dois vetores são usados para definir a energia metabolizável e a energia líquida dos nutrientes, em kJ/g.

A produção de calor ao longo do tempo é calculada pelo modelo. Para determinar o calor produzido por deposição e catabolismo de tecido, é necessário saber a composição de tecido magro e gordura. Ambas são definidas por vetores cujos elementos contêm a massa de cada nutriente por massa de tecido, em g/kg.

3.2. Ingestão e digestão de alimento

Ao longo do tempo, a quantidade de alimento disponível, determinada pelo programa de alimentação, pode limitar a ingestão de alimento. A composição da dieta é caracterizada por um vetor que contém a quantidade de cada nutriente por kg de dieta, bem como o volume específico do alimento, em cm^3/kg .

Quando o alimento é consumido pelos animais, ele é temporariamente armazenado dentro do trato digestivo, enquanto é digerido e absorvido. Um vetor de nutrientes no trato digestivo é definido para representar os nutrientes que foram ingeridos, mas ainda não foram absorvidos. A estrutura desse vetor é semelhante à do vetor de nutrientes na dieta.

A quantidade de alimento consumida por um animal depende de vários fatores. O modelo supõe que um dos principais mecanismos que determinam o consumo voluntário de alimento é a concentração de energia na reserva de nutrientes, calculada em função da energia metabolizável dos nutrientes da reserva e do peso corporal.

Se a concentração de energia cair abaixo de um limite mínimo, o animal começará a comer, continuando até que a concentração de energia nas reservas suba acima de um limite máximo. Sob estresse calórico, o animal reduz o consumo voluntário de ração, o que é simulado por uma redução nesses limites mínimo e máximo.

Existem aspectos de comportamento que devem ser considerados ao simular a ingestão de alimento. Suínos são animais curiosos por natureza e respondem ao fornecimento de ração se alimentando. Para levar em conta esse comportamento, o modelo prevê a ocorrência de estímulos de alimentação, que fazem com que um animal inicie uma refeição.

Uma vez iniciada, a velocidade de ingestão de alimento depende do tamanho do animal e da quantidade de alimento no trato digestivo. Em geral, animais maiores comem mais rápido e maior quantidade de ração que animais menores, devido à maior capacidade do trato digestivo. Além disso, animais com estômago vazio comem mais rápido que animais que estão praticamente saciados.

O modelo supõe que a velocidade de ingestão de alimento é proporcional à diferença entre a capacidade máxima do trato digestivo e o volume de alimento nele contido. Já a velocidade de digestão é proporcional à quantidade de material no trato digestivo. Ambas velocidades dependem da capacidade do trato digestivo, que é tida como proporcional ao peso metabólico.

A taxa de digestão é estabelecida como a fração do conteúdo do trato digestivo que é digerida por unidade de tempo. Já a taxa de ingestão de alimento é dada pela fração do volume não preenchido do trato digestivo, sendo afetada pelo estresse calórico. O alimento ingerido e digerido ao longo do tempo é calculado em função dessas taxas, e o vetor de nutrientes ingeridos é alterado.

O processo digestivo consiste em transformar os nutrientes ingeridos em nutrientes digeridos. Isso envolve secreção de enzimas, peristalse, absorção, fermentação microbiana e outras atividades. Em termos matemáticos, o processo é essencialmente a transformação de uma fração do vetor de nutrientes ingeridos num vetor de nutrientes digeridos, pela multiplicação do primeiro por uma matriz de digestão. Os nutrientes digeridos, por sua vez, são adicionados ao vetor da reserva de nutrientes. A matriz de digestão pode ser definida de modo a levar em conta ineficiências no processo digestivo, transformação de um tipo de nutriente em outro, secreção de enzimas e outras substâncias necessárias para a digestão, etc.

Na digestão, ocorre também uso de energia e geração de calor, que dependem da composição da dieta e do consumo de ração. O modelo define dois vetores, um com o gasto de energia e outro com a geração de calor para cada componente do vetor de nutrientes ingeridos. Ao serem multiplicados pela fração do vetor de nutrientes ingeridos a ser digerida, esses vetores geram o gasto total de energia e a produção total de calor por digestão.

3.3. Exigências de manutenção e catabolismo

As exigências de manutenção são função do peso corporal, composição da carcaça e temperatura corporal. O modelo supõe que a exigência basal de manutenção seja proporcional ao peso metabólico (peso vivo na potência 0,75). A exigência de manutenção aumenta se o animal estiver num ambiente quente,

devido ao aumento na perda de calor por evaporação, taxa respiratória e velocidade de reações químicas à medida que a temperatura corporal sobe. O modelo supõe um aumento linear no metabolismo com o aumento da temperatura, em ambientes quentes.

Se as reservas de nutrientes não são suficientes para atender às exigências de manutenção, haverá catabolismo de tecido. Os nutrientes que se tornarem disponíveis pelo mesmo serão adicionados às reservas prontamente disponíveis. Devido a ineficiências metabólicas, os nutrientes tornados disponíveis podem ser em menor quantidade que os retirados dos tecidos.

Dois abordagens são possíveis ao determinar quais nutrientes são catabolizados para fornecer energia. Uma é pressupor que a massa corporal será reduzida uniformemente em todos os tecidos. A outra é supor que a energia virá da gordura em excesso, a menos que não haja gordura disponível, situação na qual o tecido magro é catabolizado. Uma terceira abordagem foi usada no modelo, que supõe que parte da energia vem do excesso de gordura e parte de uma redução uniforme no peso corporal, que inclui tecido magro e gordura. A fração da energia suprida exclusivamente pela gordura é um dos parâmetros do modelo.

Na simulação das exigências de manutenção, o modelo retira das reservas os nutrientes necessários para a mesma. Se as reservas de manutenção não forem suficientes, os nutrientes serão retirados do tecido magro. A seguir, as exigências de energia para manutenção são determinadas, descontando a energia dos nutrientes já consumidos. As reservas de nutrientes são reduzidas em função desse uso de energia. Caso as reservas não sejam suficientes, tecido corporal é catabolizado para suprir as exigências de energia. Toda a energia de manutenção é transformada em calor e adicionada à produção de calor do animal.

Caso o animal esteja num ambiente frio, haverá ainda produção adicional de calor para manter o animal aquecido, a qual resulta num gasto adicional de energia. A quantidade a ser produzida depende da variação da temperatura corporal causada pelo frio e da massa do animal. Essa exigência adicional de energia pode também fazer com que ocorra catabolismo de tecido, caso as reservas de energia não sejam suficientes.

3.4. Deposição de tecido

Após as exigências de manutenção terem sido atendidas, deposição de tecido magro e gordura pode ocorrer. As taxas de deposição máxima são determinadas pelo potencial genético do animal como funções da idade e massa de tecido do animal.

As exigências de energia para deposição de tecido magro e gordura expressam a quantidade de energia líquida necessária por unidade de tecido formada. As exigências de nutrientes por unidade de tecido magro são definidas por um vetor de exigência de nutrientes para deposição de tecido magro.

A quantidade de tecido magro depositada por unidade de tempo depende da quantidade de nutrientes restante na reserva após as exigências de manutenção serem satisfeitas. A deposição de tecido magro é limitada pelo potencial genético do animal, pela energia líquida nas reservas comparada com as exigências e pela quantidade de cada nutriente nas reservas em relação à quantidade exigida para formação de tecido. A exigência de energia para gordura essencial, formada junto com o tecido magro, deve ser adicionada às exigências de energia.

Após o cálculo das quantidades de tecido magro e gordura essencial depositadas, o consumo de nutrientes e a produção de calor devem ser calculados. Isso é feito em duas etapas. Primeiro, os nutrientes exigidos são retirados das reservas. Em seguida, a exigência de energia além da energia contida nos nutrientes já retirados é calculada e mais nutrientes são removidos das reservas para suprir energia. A produção de calor é calculada em função das ineficiências na deposição de tecido no processo de deposição.

Após a deposição de tecido magro, a energia que resta nas reservas de nutrientes é usada para depositar gordura adicional. A deposição total de gordura (incluindo gordura essencial e adicional) é limitada pelo potencial genético do animal. Assim como no tecido magro, a produção de calor é calculada em função das ineficiências no processo de formação de tecido.

3.5. Reprodução

As exigências reprodutivas dos animais devem também ser consideradas. Apesar de não serem incluídas num modelo de crescimento de animais jovens, elas são importantes quando se lida com animais adultos. Em machos, a exigência de nutrientes para produção de sêmen deve ser considerada.

Em fêmeas, existem dois tipos de exigência associadas à reprodução. Porcas em gestação utilizam nutrientes e energia para o desenvolvimento dos fetos e placenta, principalmente na fase final. É necessário também dosar bem a quantidade de energia na ração, para evitar um excesso de acúmulo de gordura, que pode restringir o desenvolvimento embrionário.

Após o parto, as porcas produzem leite para alimentar os leitões, devendo a exigência de nutrientes e energia para tal ser considerada. É comum que leitões estejam em crescimento e reprodução simultaneamente, o que exige cuidados para que o fornecimento de nutrientes supra as necessidades de ambas atividades, bem como as de manutenção.

4. Microambiente

Um modelo de microambiente simula o ambiente em torno do animal, com base no ambiente externo e características das edificações onde os animais estão alojados. Esse modelo pode receber e processar dados de um modelo climático. Alternativamente, o modelo de microambiente pode gerar dados por si só, permitindo avaliar a reação do animal a determinadas condições impostas no modelo.

Algumas variáveis geradas pelo modelo de microambiente têm um comportamento cíclico ao longo do dia. Um exemplo típico é a temperatura do ar, que geralmente varia entre um mínimo ao raiar do dia e um máximo no meio da tarde. Entre o mínimo e o máximo, a curva de temperatura se comporta aproximadamente como a função senoidal. A temperatura do piso e a temperatura das superfícies radiantes se comportam de maneira similar.

No caso da umidade relativa do ar, a curva se inverte, com a máxima umidade aproximadamente coincidindo com a mínima temperatura e vice-versa. A intensidade de radiação solar também é uma função do tempo, sendo zero durante a noite e uma curva simétrica em torno do meio-dia durante o dia.

Para velocidade do vento, o modelo supõe que ocorrem dois ciclos por dia. Nas horas do dia em que a temperatura está mudando rapidamente, entre os horários de pico, a velocidade do vento é mais alta. Quando a temperatura está estável (no mínimo ou no máximo), a velocidade do vento é mais baixa. A velocidade do ar pode ser aumentada pelo uso de ventiladores, que podem ser ligados durante o período mais quente do dia. Existe uma velocidade do ar mínima, abaixo da qual os efeitos de convecção natural predominam. O modelo prevê que a velocidade do ar seja no mínimo igual à gerada pela convecção natural.

Alguns parâmetros ambientais, como a pressão atmosférica e a temperatura da água ingerida são considerados constantes ao longo do dia. Para fixar como constante uma das variáveis cíclicas, basta considerar no modelo o mínimo e o máximo com o mesmo valor.

5. Balanço térmico de suínos

Um modelo de balanço térmico simula as trocas de calor (ganho ou perda) para o ambiente, o balanço térmico e as variações em temperatura corporal. O modelo supõe que os efeitos do ambiente térmico sobre o animal podem ser expressos completamente em função da temperatura corporal. Como a temperatura corporal é afetada por todos os modos de transferência de calor, ela é tida como uma variável mais precisa que a temperatura ambiente para caracterizar as zonas de conforto térmico.

A taxa de variação da temperatura corporal é função da diferença entre a produção de calor e a perda de calor para o ambiente, do calor específico e da massa do animal.

5.1. Zonas de conforto térmico

O animal tem uma série de mecanismos para manter a homeostase. A zona de termoneutralidade é definida como a faixa de condições ambientais na qual o animal pode regular a perda de calor com esforço mínimo. Mudanças na temperatura corporal alteram o metabolismo e afetam o nível de produção de calor.

Se a temperatura corporal cai abaixo da temperatura crítica inferior, o metabolismo irá acelerar para aumentar a produção de calor. Se a Temperatura corporal sobe acima da temperatura crítica evaporativa, a perda de calor pelas vias evaporativas começa a aumentar, via mudanças na taxa de respiração, suor e difusão de água através da pele. Essa resposta fisiológica a altas temperaturas também causa um aumento no metabolismo. Se a temperatura corporal estiver entre as temperaturas críticas inferior e evaporativa, é considerado que ele esteja na zona de termoneutralidade.

Dentro da zona de termoneutralidade, o animal é capaz de modificar postura, comportamento e vasodilatação periférica, visando manter a temperatura corporal aproximadamente constante. Esse efeito é representado no modelo por mudanças em certos parâmetros, como a resistência térmica do tecido periférico (que é alterada por mudanças no fluxo de sangue para a pele) e a área de pele exposta ao ambiente. À medida que a temperatura corporal se aproxima da temperatura crítica inferior, esses parâmetros mudam de modo a minimizar a perda de calor. O oposto ocorre se a temperatura se aproxima da temperatura crítica evaporativa. O modelo supõe que a variação desses parâmetros dentro da zona de termoneutralidade é linear em relação à temperatura corporal.

Pela definição tradicional, a perda de calor via evaporação deve ser mínima abaixo da temperatura crítica evaporativa. No entanto, se o animal tem água a seu dispor onde ele possa se molhar, ele é capaz de aumentar as perdas por evaporação sem que isso envolva mudanças significativas na atividade metabólica. Nesse caso, o modelo permite que a perda de água por evaporação na superfície da pele aumente com a temperatura dentro da zona de termoneutralidade.

Através de ajustes no metabolismo, o animal é capaz de sobreviver sob uma faixa bem mais ampla de condições ambientais que aquelas da zona de termoneutralidade, desde que condições extremas de calor ou frio não persistam por um período de tempo prolongado. Quando as perdas de calor para o ambiente excederem a máxima capacidade de produção de calor do animal, a temperatura corporal começa a cair rapidamente e o animal entra em hipotermia. No outro extremo, a perda de calor por evaporação quando a temperatura corporal atinge a temperatura crítica superior, a partir da qual a taxa de evaporação deixa de responder a aumentos subseqüentes na temperatura corporal, que começa a aumentar rapidamente.

Na faixa de temperatura corporal entre a temperatura crítica evaporativa e a temperatura crítica superior, o animal altera as taxas de respiração e transpiração, numa tentativa de aumentar a perda de calor por via evaporativa e retornar a temperatura corporal ao nível de termoneutralidade. Os parâmetros do modelo variam de modo que a perda de calor por evaporação se reduz à medida que a temperatura corporal se aproxima da crítica evaporativa. Do mesmo modo, quando a temperatura corporal se aproxima da crítica superior, a evaporação é maximizada. Os parâmetros do modelo relacionados à perda de calor por evaporação variam linearmente dentro dessa faixa de estresse térmico.

5.2. Perda de calor através da pele

Grande parte da transferência de calor entre o animal e o ambiente ocorre através da pele do animal. O modelo considera que cada porção da superfície da pele pode ser exposta a quatro tipos diferentes de ambiente. Ela pode estar em contato com outra porção de pele (a do próprio animal ou de outro animal), em contato com o piso, exposta ao ar num ambiente sombreado ou exposta ao sol.

Se a pele está em contato com outra porção de pele, por estar dobrada sobre si mesma ou em contato com outros animais, a transferência de calor é

supostamente zero. Caso contrário, calor é transferido por condução para o piso, convecção para o ar ao redor do animal, radiação de ondas longas das superfícies em torno do animal, radiação solar de ondas curtas, e evaporação na superfície da pele. A convenção adotada é que o fluxo de calor é positivo quando ocorre do animal para o ambiente e negativo do ambiente para o animal.

A transferência de calor pela pele depende da temperatura da mesma. A maioria do calor perdido da pele para o ambiente é produzido no interior do animal. Esse calor deve primeiro ser transferido de dentro do corpo para a superfície da pele, antes que possa ser dissipado para o ambiente. Essa taxa de transferência de calor depende do coeficiente de transferência de calor do tecido periférico e da diferença entre a temperatura corporal e a temperatura da pele. Por vasodilatação e vasoconstrição, o animal é capaz de aumentar ou reduzir esse coeficiente, dentro de certos limites.

A temperatura da pele pode variar ao longo da superfície. O modelo define quatro situações possíveis para a pele. Parte da pele pode estar dobrada sobre si mesma ou em contato com outros animais, fazendo com que a transferência de calor seja nula. Outra parte pode estar em contato com o piso, com todo o calor sendo perdido por condução. O restante está exposto ao ar, com perda de calor por convecção, radiação de ondas longas e evaporação. Parte dessa superfície pode também estar exposta a radiação de ondas curtas proveniente do sol.

A taxa de transferência de calor entre o interior do animal e cada uma dessas superfícies será função da respectiva temperatura da pele. A perda de calor para piso depende da temperatura e da condutância térmica do mesmo.

A perda de calor através da pele exposta a um ambiente sombreado é a soma das perdas por radiação, convecção e evaporação. A perda por radiação depende da emissividade para radiação de ondas longas da pele e das superfícies em torno do animal, sendo função da diferença entre as temperaturas absolutas da pele e das superfícies, elevadas à quarta potência. A perda de calor por convecção é função do coeficiente de transferência de calor por convecção e da diferença entre a temperatura da pele e do ar. Já a perda de calor por evaporação depende da fração molhada da pele, do calor latente de evaporação da água, do coeficiente de transferência de vapor por convecção e da diferença entre a pressão de vapor de saturação do ar à temperatura da pele e a pressão de vapor do ar ambiente.

A perda de calor por evaporação é controlada variando a fração molhada da pele. O animal pode fazer isso transpirando ou entrando em contato com

fontes de água ou superfícies úmidas. O modelo supõe que um aumento na transpiração ocorre apenas em condições de estresse térmico, quando a temperatura corporal está acima da temperatura crítica evaporativa (no caso específico de suínos, a transpiração é muito pequena). No entanto, o animal pode se molhar quando a temperatura corporal está normal, aumentando a perda de calor evaporativa num ambiente termoneutro. Para considerar esses aspectos, o modelo divide a fração molhada da pele em fração molhada por transpiração e fração molhada por água.

A pele exposta ao sol está sujeita a todos os fenômenos de transferência de calor que afetam a pele exposta a um ambiente sombreado. Adicionalmente, o animal recebe uma carga térmica que depende da intensidade da radiação solar, do ângulo de incidência e da emissividade da pele para radiação de ondas curtas.

A superfície corporal é considerada proporcional ao peso corporal elevado à potência $2/3$, devido à relação entre área e volume. A fração da pele em contato com animais depende da temperatura corporal, variando entre zero e um máximo que depende do número de animais na baía.

A fração da pele em contato com o piso depende da postura do animal, e irá variar entre um mínimo e um máximo, dependendo do grau de conforto que o piso oferece. Por exemplo, os animais irão maximizar a área de contato com um piso quente em condições frias. No entanto, se o piso for frio, a área de contato será minimizada em condições frias e maximizada em condições quentes.

A fração de pele exposta ao sol será minimizada em condições quentes e maximizada em condições frias. Ela depende também da disponibilidade de sombra para que os animais se abriguem do sol. A fração de pele exposta a um ambiente sombreado é calculada em função das demais frações.

5.3. Outras formas de transferência de calor

Além de perder calor pela pele o animal também aquece e umidifica o ar que respira e aquece a água e alimento que ingere.

Quando o animal respira, o ar que flui para dentro do trato respiratório é aquecido até a temperatura corporal e saturado com vapor d'água. O ar exalado é parcialmente resfriado. O modelo supõe que o ar deixa o trato respiratório a uma temperatura intermediária entre a temperatura do ar e a temperatura corporal, saturado com vapor d'água àquela temperatura.

A taxa de respiração do animal, medida em volume de ar por unidade de tempo, é pequena em condições frias ou termoneutras, aumentando sob estresse calórico. A taxa de troca de calor por ventilação é função da taxa de respiração, da densidade do ar e da diferença entre a entalpia do ar exalado e a do ar inspirado.

O alimento e a água ingerida pelo animal trocam calor com o organismo, até atingir equilíbrio com a temperatura corporal. A quantidade de calor exigida para equilibrar a temperatura corporal com a do alimento e água ingeridos depende do gradiente entre as duas temperaturas, das quantidades ingeridas e dos respectivos calores específicos.

A quantidade de alimento ingerida é informada pelo modelo de metabolismo. Já a ingestão de água é supostamente proporcional ao peso metabólico do animal. A taxa de consumo de água aumenta durante o estresse térmico, sendo mínima abaixo da temperatura crítica evaporativa e máxima acima da temperatura crítica superior.

5.4. Balanço térmico e temperatura corporal

A perda total de calor é igual à soma de todas as perdas de calor mencionadas anteriormente. A variação na temperatura corporal pode ser calculada pela diferença entre o calor produzido e o calor perdido para o ambiente, dividida pelo peso corporal e pelo calor específico do animal.

6. Modelos de Aves

O modelo descrito anteriormente diz respeito a suínos. Para modelar a fisiologia de aves, algumas modificações devem ser feitas. Os modelos de microambiente e programa de alimentação não necessitam de mudança. Já os modelos de metabolismo e balanço térmico devem ser adaptados.

6.1. Diferenças no metabolismo

As principais diferenças entre aves e suínos, no que diz respeito à modelagem, estão nos sistemas digestivo e reprodutor. A anatomia do sistema digestivo de aves difere de suínos. Em modelos simples de digestão, como é o caso do modelo aqui apresentado, é possível usar o mesmo modelo para aves e suínos (os parâmetros do modelo, é claro, serão diferentes para as duas espécies). No entanto, se o modelo de digestão for refinado, mesmo que

ligeiramente, é possível que se tenha que desenvolver modelos separados para suínos e aves.

O processo reprodutivo em aves difere muito do que ocorre em suínos. Em aves, não existem as atividades de gestação e lactação, devendo as mesmas serem retiradas do modelo. Em compensação, a produção de ovos impõe uma nova exigência metabólica que deve ser considerada. A modelagem da produção de ovos exige que se leve em consideração o balanço de minerais, principalmente o de cálcio.

6.2. Diferenças no balanço térmico

As aves possuem uma camada de penas que isola a pele do ar ambiente. O calor perdido na superfície da pele coberta de penas obrigatoriamente deve fluir através das penas. Conseqüentemente, a resistência térmica da camada de penas passa a ser importante para o cálculo da perda de calor. Além disso, os mecanismos de perda de calor devem ser adaptados para levar em conta a presença das penas.

Nem toda a superfície das aves está coberta por penas. Os pés, a crista e a barbela das aves estão expostos diretamente ao ar. Para que um modelo seja adequado para aves, a perda de calor por essas superfícies deve ser considerada em separado. Diferentes tamanhos de crista e barbela também devem ser considerados.

7. Sistemas especialistas em simulação

A utilização de modelos de simulação é muitas vezes limitada, devido à dificuldade de interpretação dos resultados. Um modelo bem elaborado deve ser capaz de gerar uma grande quantidade de dados. Selecionar os resultados mais relevantes para uma situação em particular ou interpretar a relação entre os parâmetros do modelo e o resultado da simulação exige uma certa dose de experiência.

A incorporação de algum tipo de interface capaz de interpretar os dados gerados na simulação ampliaria a aplicabilidade do modelo. A inclusão de um sistema especialista ligado ao modelo de simulação permite que essa interpretação seja feita automaticamente. Uma base de conhecimento pode ser criada com o apoio de especialistas de diversas áreas. Essa base de conhecimento possibilita a geração de recomendações de manejo, nutrição, etc. para otimizar o sistema de produção.

7.1. Funcionamento de um sistema especialista

Uma das áreas de estudo no campo da inteligência artificial compreende a criação e o uso de sistemas especialistas. Um sistema especialista consiste um mecanismo de inferência que utiliza uma base de conhecimento para interpretar uma situação caracterizada por uma base de dados.

A base de dados varia de situação para situação. Ela consiste num conjunto de parâmetros que caracteriza o estado de um determinado sistema em estudo. A base de conhecimento é relativamente fixa e consiste num conjunto de regras. Cada regra contém uma condição, que pode ser verdadeira ou falsa, e uma ação a ser executada caso a condição seja verdadeira.

O mecanismo de inferência seleciona regras a serem testadas e possivelmente executadas. A execução de um sistema especialista consiste em selecionar uma regra, testar a sua condição e, caso a mesma seja verdadeira, executar a ação correspondente. Em seguida, a próxima regra é selecionada e processada, até não haver mais regras para executar.

Por exemplo, uma regra pode ser algo do tipo: se a temperatura corporal está acima de 39°C, então o animal está hipertérmico. Nesse caso, a condição da regra é a temperatura corporal está acima de 39°C, que pode ser verdadeiro ou falso, e a ação da regra é o animal está hipertérmico.

É possível que a ação de uma regra torne a condição de outra regra verdadeira. No exemplo anterior, se houver uma regra cuja condição seja algo do tipo se o animal estiver hipertérmico, essa regra deverá ser executada. Providências devem ser tomadas para evitar que ciclos infinitos sejam criados.

7.2. Interface com um modelo de simulação

Um sistema especialista pode ser acoplado a um modelo a ser executado ao final da simulação. Em geral, ele é bem mais rápido que a simulação, de modo que a execução de ambos leva praticamente o mesmo tempo que a execução apenas da simulação.

Durante a simulação, um modelo gera uma série de variáveis. Essas, quando adequadamente interpretadas, revelam informação a respeito do sistema sendo simulado. No entanto, nem sempre é possível se contar com a presença de um especialista para interpretar o resultado da simulação. Por esse motivo, o sistema especialista contém uma base de conhecimento que interpreta o resultado da simulação para o usuário.

As variáveis geradas na simulação utilizadas pelo sistema especialista formam uma base de dados. O sistema especialista lê uma variável da base de

dados e testa as regras que dela dependem, possivelmente executando as mesmas. Essas regras podem modificar variáveis que, por sua vez, podem disparar outras regras, e assim sucessivamente, até que não haja mais regras para executar. A seguir, o sistema lê a próxima variável da base de dados e repete o processo acima, até que não haja mais variáveis a serem lidas da base de dados.

O sistema especialista foi testado com duas regras simples e funciona conforme o esperado. Condições de estresse por calor e por frio foram detectadas pelo mesmo e o usuário foi informado da intensidade do estresse e da extensão dos conseqüentes prejuízos econômicos.

8. Potenciais para expansão

Modelos de simulação podem ser usados de outras formas para estudar a produção de suínos e aves. O efeito de doenças no metabolismo pode ser incorporado ao modelo, bem como efeitos adversos do ambiente não relacionados com o balanço térmico. Tais efeitos podem incluir o nível de poeira nas instalações, concentração de gases, etc.

Naturalmente, os aspectos econômicos da produção de animais devem ser levados em conta num modelo que venha a ser utilizado por produtores e técnicos. Estes incluem o custo de produção dos animais e a rentabilidade do sistema. A inclusão de uma análise econômica permite quantificar os efeitos de diferentes estratégias de produção no lucro do agricultor.

A composição das dietas é importante não só do ponto de vista do que o animal absorve, mas também devido à porção que ele não absorve, lançada no ambiente na forma de dejetos. Um modelo de digestão pode ser adaptado para simular a quantidade de dejetos produzida e a composição do mesmo. Um modelo de dejetos pode ser incorporado ao modelo fisiológico. Assim como estes, outros aspectos da produção de suínos podem ser modelados e o resultado incorporado ao modelo principal.

9. Conclusões

Alguns princípios de modelagem de suínos foram descritos, tomando-se como referência um dos modelos existentes. Deve-se fundamentar o desenvolvimento de modelos em princípios físicos conhecidos, para garantir que os mesmos funcionem adequadamente.

Modelos devem ser testados e validados antes de serem difundidos, para que possam ser úteis aos possíveis usuários. A inclusão de um sistema especialista facilita a interpretação dos resultados da simulação, tornando o programa mais atrativo para usuários.

O melhoramento genético de suínos e aves gerou linhagens com características significativamente diferentes das antigas. Novas pesquisas são necessárias para determinar as características dessas linhagens, tais como curvas de crescimento, produção de calor, metabolismo basal, etc. De preferência, todas as pesquisas futuras devem estar de alguma forma inseridas no contexto de algum modelo.

10. Referências bibliográficas

BLACK, J. L.; CAMPBELL, R. G.; WILLIAMS, I. H.; JAMES, K. J.; DAVIES, G. T. Simulation of energy and amino acid utilisation in the pig. **Research and Development in Agriculture**, v. 3, n.3, p.121-145, 1986.

BRIDGES, T. C.; TURNER, L. W.; STAHLY, T. S.; USRY, J. L.; LOEWER, O. J. Modeling the physiological growth of swine: 1. Model logic and growth concepts. **Transactions of the ASAE**, v.35, n.3, p.1019-1028, 1992.

FIALHO, F. B. **Simulation model of growth and development of swine**.1997 Tese (Doutorado)- University of Florida, Gainesville.

WHITTEMORE, C. T.; FAWCETT, R. H. Model responses of the growing pig to the dietary intake of energy and protein. **Animal Production**, v. 19, p.221-231, 1974.

CAPÍTULO IX

ZOOTECNIA DE PRECISÃO

Irenilza de Alencar Naas

Resumo

O desempenho produtivo e reprodutivo dos animais depende do manejo empregado, que envolve o sistema de criação escolhido, a nutrição, a sanidade e as instalações. Muitas vezes são merecedores de maior atenção a genética concomitantemente com o arraçamento, onde está concentrada grande parcela dos custos de investimento e operação.

O conceito de Zootecnia de Precisão está relacionado com a redução otimizada das perdas, dentro de todo o processo gerenciado. O segmento da produção é passível de otimização e o todo passa a ser também otimizado.

Cada vez que olhamos o futuro, vemos que o sistema industrial de produção zootécnica tende a focar de maneira sistêmica: o bem estar do animal, a qualidade do produto final (proteína animal), a qualidade de trabalho dos empregados e o ambiente final da produção, inclusive o tratamento que estão submetidos os resíduos. A ênfase em cada um desses aspectos muda conforme mudam as tendências individuais de produção.

Da necessidade de transformar as etapas e os processos de produção em segmentos passíveis de otimização é que surgem as pesquisas em utilização de sensores biocompatíveis, protocolos de gerenciamento de informação, desenvolvimento de software inteligentes e de decisão que, associados a controles, devem otimizar cada segmento. A tendência é que cada atividade de produção industrial de animais se torne uma atividade mais precisa, dependendo menos de variáveis casuísticas e mais de decisões inteligentes.

Embrapa

Pecuária Sudeste

**MINISTÉRIO DA AGRICULTURA,
PECUÁRIA E ABASTECIMENTO**

**GOVERNO
FEDERAL**
Trabalhando em todo o Brasil