

MODELAGEM DE SISTEMAS PARA TOMADA DE DECISÕES NA PECUÁRIA LEITEIRA

Airdem G. de Assis¹, Pedro F. Barbosa², Aziz G. da Silva Jr.³

¹ Embrapa Gado de Leite, Rua Eugênio do Nascimento, 610. Cep: 36038-330 - Juiz de Fora, MG - airdem@cnpgl.embrapa.br;

² Embrapa Pecuária Sudeste, Caixa Postal 339. Cep: 13560-970 - São Carlos, SP - pedro@cppse.embrapa.br;

³ Universidade Federal de Viçosa/DER. Cep: 3571-000 - Viçosa, MG - aziz@mail.ufv.br

PROCI. 1999.00045

INTRODUÇÃO

A informação organizada já pode ser considerada hoje o quarto fator de produção. A disponibilidade de informações e a capacidade de utilizá-las, adequadamente, no processo de tomada de decisão, determinam a eficiência de qualquer empreendimento. Especialmente na agricultura, onde os sistemas são caracterizados pela complexidade dos processos biológicos, perecibilidade dos produtos, desuniformidade da produção e incertezas do mercado, a informática é imprescindível para o sucesso da atividade em bases comerciais.

A análise de sistemas agrícolas teve seus conceitos praticamente definidos nos anos 70 (DENT e ANDERSON, 1971; SPEDDING, 1975) e, posteriormente, com o desenvolvimento da informática, a síntese através da modelagem matemática passou a ser adotada formalmente nos estudos de sistemas biológicos (GOLD, 1977) e agrícolas (BROCKINGTON, 1979). Na ciência animal, a visão sistêmica não é recente (SPEDDING, 1971; BROCKINGTON, 1974), porém, na pesquisa zootécnica, apesar dessas experiências passadas, persiste, ainda, a visão monodisciplinar (KUNKEL e HAGEVOORT, 1994), provavelmente pela dificuldade de se modelar sistemas mais complexos como os de produção de carne e leite. A demanda crescente por métodos que permitam sintetizar as informações científicas, associada ao alto custo da experimentação física e às facilidades operacionais da microinformática, têm estimulado pesquisadores da área animal a adotar a modelagem de sistemas como instrumento de trabalho (ASSIS e BROCKINGTON, 1995).

A premência de modernização da pecuária leiteira nacional, principalmente nos seus métodos de gestão, demanda instrumentos ágeis que orientem o processo de tomada de decisão. Os parâmetros de mercado deverão, nos próximos anos, direcionar os sistemas de pagamento de leite, privilegiando os produtores profissionais, com bonificações de acordo com o volume de produção, regularidade e qualidade da matéria-prima (JANK e GALAN, 1998). Contudo, duas condições são fundamentais para se sobreviver e crescer em um mercado de forte concorrência: a eficiência produtiva e a eficiência gerencial (VILELA et al., 1998). Os sistemas de informação e a simulação matemática são poderosos instrumentos de gestão moderna e ferramentas indispensáveis nos processos de monitoramento, tomada de decisão e busca de solução nos vários segmentos da cadeia produtiva do leite.

O objetivo desse artigo é apresentar os conceitos básicos da tecnologia de informação e descrever procedimentos que auxiliam no desenvolvimento de sistemas eficientes de gerenciamento e de tomada de decisões na atividade leiteira. Procura-se, também, enfatizar a utilidade dos modelos de simulação na avaliação dos impactos tecnológicos na produção de leite, com ênfase especial em um modelo capaz de orientar técnicos e produtores na seleção de dietas mais rentáveis para vacas leiteiras.

A PECUÁRIA LEITEIRA NACIONAL

A redução da presença do estado na economia, a partir de 1990, vem provocando transformações profundas na agricultura brasileira e, em particular, na cadeia produtiva do leite. A queda do tabelamento de preço do leite, a abertura comercial, a consolidação do Mercosul e o plano de estabilização econômica foram os grandes

precursores dessa nova realidade, dentro da qual o aumento da competitividade da pecuária leiteira é mais preponderante e inevitável para a modernização do setor.

Diante desse quadro, muitos produtores têm procurado novas alternativas para sobreviver em um mercado competitivo e aberto aos produtos importados, muitos deles subsidiados no país de origem. Tem-se observado uma busca incessante por tecnologias competitivas capazes de aumentar a produtividade, ampliar o volume de produção, reduzir os custos, melhorar a qualidade do leite e, ainda, como demanda mais recente, preservar o meio-ambiente. Produtores inovadores estão procurando se especializar na produção de leite, terceirizando a produção de forragens e a criação de fêmeas, na tentativa de reduzir custos e riscos da atividade. Essa modernização será decisiva para a pecuária leiteira sair do histórico extrativismo e se transformar em negócio lucrativo, competitivo e sustentável.

As forças de mercado têm provocado o deslocamento da produção de leite para a região dos Cerrados, devido, principalmente, à topografia e aos baixos preços da terra, da mão-de-obra e dos grãos, comparativamente aos preços desses fatores nas bacias leiteiras tradicionais. Além disso, os programas de incentivo à produção, especialmente o Fundo Constitucional do Financiamento do Centro-Oeste (FCO), estimularam a intensificação da produção através da adoção de técnicas de recuperação de pastagens e de melhoramento genético do rebanho (JANK e GALAN, 1998). Estes investimentos têm criado condições de a região tornar-se exportadora líquida de produtos lácteos, com potencial de competir no mercado internacional. A especialização da atividade, a capacitação da mão-de-obra e a melhoria da qualidade do leite são requisitos essenciais para aumentar a competitividade da pecuária leiteira regional.

O deslocamento geográfico do setor resultou, no período 1990-97, em aumento de 70% na produção de leite da Região Centro-Oeste, enquanto a produção nacional cresceu 38%. Nesse mesmo período, a produção de leite do Estado de Goiás cresceu 76% (GOMES, 1997). Não obstante o rápido crescimento da produção de leite nos Cerrados, o aumento de produção deveu-se mais à expansão de fronteira do que a ganhos significativos de produtividade (VILELA et al., 1998). Outrossim, a instalação de várias indústrias de laticínios, notadamente para processamento de leite "longa vida", vem consolidar o desenvolvimento da produção de leite na região.

Com o progressivo avanço tecnológico da indústria laticinista e a evolução da economia brasileira, a tendência é o crescimento da demanda por produtos lácteos de alta qualidade. A demanda crescente do consumidor pela qualidade dos produtos tem conduzido a indústria a exigir melhor padrão da matéria prima, com ganhos de eficiência nos vários elos da cadeia produtiva. O resfriamento e a coleta a granel do leite na propriedade rural têm provocado impactos altamente positivos em todos os segmentos da cadeia.

Em consequência do plano de estabilização econômica iniciado em 1994, proporcionando ganho real de renda, o consumo aparente de leite e derivados cresceu mais de 25% nos dois primeiros anos (GOMES, 1997). Já os anos 97 e 98 foram de baixo crescimento do consumo, desemprego crescente e economia estagnada, forçando a queda do preço de leite. Com a valorização do dólar, a expectativa é de melhoria do mercado, devido à redução das importações e ao aumento de demanda do produto interno, com efeitos positivos no preço do leite. Contudo, pode haver aumento de preço de alguns insumos importados (e.g. fertilizantes e medicamentos) e mesmo de insumos nacionais cujos preços são influenciados pelo mercado internacional (e.g. milho e soja).

MODELAGEM DE SISTEMAS SOB O ENFOQUE DE NEGÓCIO

É importante definir quem são os beneficiários e os usuários de um sistema de suporte à tomada de decisões. Sistemas computadorizados somente contribuem para os empreendimentos agrícolas, se seu foco prioritário for o atendimento das demandas dos produtores, ou seja, se atender prioritariamente os clientes que, em última instância, se beneficiarão do sistema (SCHEER, 1996). Essas necessidades do cliente são definidas tomando-se como critérios a facilidade de uso, a rapidez e outros aspectos de ergonomia do programa. Sistemas avançados, em relação a atributos computacionais, têm sido desenvolvidos, mas não garantem, necessariamente, os benefícios esperados.

O desenvolvimento de modelos baseados em "processos de negócio" é uma metodologia adequada para aumentar a eficiência dos sistemas de informação. A metodologia prioriza aspectos técnicos e administrativos e sua linguagem é bem próxima destas áreas. As fases principais dessa metodologia são:

- análise da relevância do problema;
- estruturação do problema (descrição do processo de negócio);
- desenvolvimento do modelo; e
- implementação técnica do sistema.

As duas primeiras fases são fundamentais e, por isso, objetos de um maior detalhamento. É imprescindível, nessas fases, contar com a participação de profissionais especialistas ligados à área do negócio (e.g. ciências agrárias) que disponham de conhecimentos sólidos sobre o problema e, adicionalmente, capazes de trabalhar em equipe multidisciplinar e de utilizar alguma linguagem de programação estruturada.

O enfoque básico é a análise e estruturação do problema em forma de processos de negócio, definidos como atividades de gerenciamento de uma empresa; por exemplo, o processo de eliminação de matrizes, a escolha de reprodutores, o controle preventivo de doenças, etc. A partir desses processos, determinam-se suas etapas e as informações necessárias, as quais servirão de base para a modelagem do sistema.

Um exemplo da aplicação dessa metodologia na agricultura é o desenvolvimento de um sistema para orientar os trabalhos da extensão rural na cadeia de produção integrada de suínos (SILVA, 1998). O sistema tem como objetivo aumentar a eficiência na solução de problemas na área de sanidade animal. Desta forma, tem-se como *beneficiários* os produtores rurais e como *usuários* os extensionistas ou produtores rurais empreendedores.

Na primeira fase dessa metodologia (análise da relevância do problema), avalia-se a importância técnica, econômica ou financeira do aumento da eficiência no controle de doenças como, no caso de rebanhos leiteiros, a febre aftosa, a brucelose ou a mastite. Na segunda fase (estruturação do problema), busca-se descrever o processo de negócio. Para tal são formulados fluxogramas detalhando cada etapa dos processos de identificação do problema e de tomada de decisão (FIGURA 1).

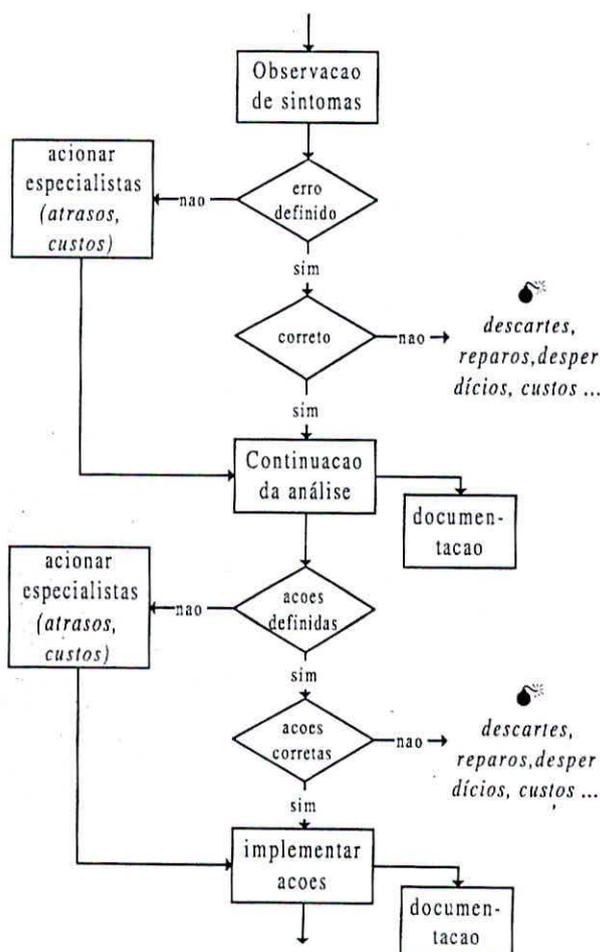


Figura 1: Fluxograma do processo de identificação de problemas em uma empresa.

A partir da descrição do processo de negócio, detalham-se as funções e as informações necessárias, elaboração do modelo de funções e do modelo de dados. Pode-se definir funções como, por exemplo: obter informações sobre sintomas visuais através de fotos, vídeos ou animações, etc. Com a descrição do negócio o problema, torna-se mais fácil definir as informações necessárias. As informações dos sintomas da doença podem ser definidas na etapa de observação de sintomas, verificando-se, ainda, a necessidade de se incluir novos conhecimentos ou regras que permitam detectar a possível doença. Por exemplo, caso o animal apresente vômitos e diarreia com presença de muco, haveria grande probabilidade de se tratar da doença x. Essa análise é continuada se necessário com novas consultas aos especialistas, até que se tenham as ações corretas para serem implementadas e documentadas.

MODELAGEM DE SISTEMAS NA AGROPECUÁRIA

O desenvolvimento da tecnologia de informação na agropecuária teve início tão logo os computadores tornaram-se disponíveis comercialmente. Entretanto, muitas das aplicações ficaram restritas a centros de pesquisas e, de modo geral, a utilização da informática no meio rural é bem menos intensa do que em outros setores da economia. Nos Estados Unidos, o grau de utilização da informática no setor agrícola é da ordem de 42%, enquanto nos principais países europeus, essa taxa varia de 3% na França a 17% na Inglaterra (SILVA, 1995).

No Brasil, conforme levantamento realizado pelo Núcleo Softex de Juiz de Fora, em 1997 foram identificadas 58 empresas que dispunham de aplicativos para o setor agrícola, com um total de 146 programas (AGROSOFT, 1997). O maior número de sistemas destina-se à atividade de criação de bovinos (corte e leite), com a maior voltada para monitoramento e controle de rebanhos. Há ainda grande possibilidade de aperfeiçoamento dos atuais sistemas, incorporando novas tecnologias. Dentre as novas tecnologias disponíveis, sistemas especialistas baseados em conhecimentos acumulados podem aumentar a eficiência dos sistemas existentes (HOGEVEEN et al., 1994). Como exemplo, cita-se um sistema especialista que define ações para aumentar a eficiência técnica e econômica de um sistema físico de produção de leite (SILVA, 1993).

Nesta década, vários sistemas baseados em conhecimento acumulado foram elaborados para aplicação em diversos processos de decisão na produção de leite (HOGEVEEN et al., 1994), tais como: definição de práticas de manejo (SCHMISSEUR e GAMROTH, 1993), avaliação do desempenho reprodutivo (DOMECQ et al., 1991) e seleção de estratégias de alimentação de vacas leiteiras (GRINSPAN et al., 1994).

Outra característica importante a ser considerada e ainda pouco presente nos sistemas atuais, é a capacidade de compartilhamento e troca de informações entre os vários segmentos de uma cadeia produtiva, ou seja, os sistemas devem ser integrados. Cada vez mais, o sucesso do empreendimento rural depende do sucesso de toda a sua cadeia produtiva. Por exemplo, o produtor de leite, numa economia globalizada, é afetado diretamente pelo grau de organização do mercado mundial no qual ele está inserido. A eficiência da cadeia integrada depende não somente da eficiência de produção em cada segmento, mas principalmente da eficiência do fluxo de informações. Informações adequadas permitem reduzir custos de transações, seja no controle da produção, seja nos aspectos de logística e de qualidade.

Em pecuária leiteira, uma revisão extensa sobre modelos de tomada de decisão foi realizada por JALVINGH et al. (1990), dentro do projeto *Sistemas-TACT* da Universidade Agrícola de Wageningen. O objetivo principal desse projeto foi o desenvolvimento de modelos técnico-econômicos para auxiliar no planejamento estratégico de fazendas leiteiras e granjas de suínos. O projeto concentrou-se na análise e comparação dos modelos de simulação existentes na literatura. Os modelos estudados abordavam os seguintes temas: produção de forragens, pastagens, manejo e alimentação animal. Os resultados dessa revisão 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. Os modelos de alimentação e pastagens referem-se à produção de forragens, consumo de alimentos e produção de leite, com os respectivos resultados financeiros por fazendas individuais (WIEN e ZAALMINK, 1994).

Outros modelos de fazenda foram elaborados e adotados com o objetivo de se verificar os impactos de estratégias de alimentação e manejo do rebanho sobre o desempenho de sistemas de produção de leite baseados, principalmente, em pastagens (LARCOTBE, 1995; SORENSEN et al., 1996). Atualmente, alguns desses modelos vêm sendo usados para verificar os efeitos, no sistema de produção, de decisões tomadas quanto à estratégia de

alimentação do rebanho (OSTERGAARD et al., 1994; URIBE et al., 1996) ou ao manejo da pastagem (CLARK et al., 1995; KRISTENSEN et al., 1997).

No Brasil, ASSIS e BROCKINGTON (1995) revisaram os trabalhos brasileiros apresentados na sessão de economia e sistemas de produção nas reuniões anuais da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Com relação ao desenvolvimento e utilização da modelagem de sistemas, apenas 6% dos trabalhos apresentados no período de 1985 a 1994 foram classificados como pertencentes ao grupo "modelos 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 leiteiro.

A experiência da Embrapa Gado de Leite em modelagem de sistemas foi revisada por ZOCCAL e ASSIS (1997). Esta experiência iniciou-se com o desenvolvimento de um modelo dinâmico, representativo dos sistemas de produção de leite da Zona da Mata de Minas Gerais (BROCKINGTON et al., 1983). O objetivo básico do uso deste modelo de simulação foi avaliar os impactos técnico-econômicos da introdução de novas tecnologias nos sistemas tradicionais de produção de leite. Vários trabalhos de pesquisa foram realizados com o modelo de simulação em diferentes áreas de conhecimento (BROCKINGTON et al., 1988). Recentemente, outro modelo de simulação foi elaborado com o objetivo de se avaliar dietas de vacas em lactação com base na dinâmica de nutrientes no trato gastrointestinal (ASSIS et al., 1994, 1997a e b; DIJKSTRA et al., 1996a e b). Detalhes deste modelo serão apresentados e discutidos mais adiante, como exemplo de aplicação de um modelo de tomada de decisão na pecuária leiteira.

Outros modelos de comprovada eficácia para monitoramento e apoio à tomada de decisões têm sido relatados na literatura brasileira. Contudo, estes modelos apresentam limitações para simular a produção de leite, pois não representam a dinâmica dos processos envolvidos, atributo essencial em um modelo de simulação de natureza biológica. Dentre estes, destacam-se sistemas para monitorar eventos diários e calcular indicadores técnicos e econômicos (YAMAGUCHI e CARNEIRO, 1997), diagnosticar problemas (BRAGA et al., 1997), dimensionar rebanhos (LOPES et al., 1997) e otimizar sistemas de produção (RODRIGUES, 1997). Todos esses modelos necessitam ser integrados com modelos de simulação antes de serem usados na avaliação *ex-ante* de alternativas tecnológicas ou de sistemas de produção.

MODELO PARA AVALIAÇÃO DE DIETAS DE VACAS LEITEIRAS

O conhecimento da cinética dos alimentos no trato gastrointestinal é fundamental para o balanceamento de dietas de ruminantes (TAMMINGA et al., 1994). Por outro lado, a integração das informações oriundas de sucessivos ensaios de digestão torna-se impraticável quando se utilizam os métodos clássicos de avaliação de dietas. A modelagem matemática tem se mostrado uma ferramenta poderosa nos estudos de nutrição de ruminantes (FRANCE et al., 1998), permitindo sintetizar e utilizar efetivamente os recentes conhecimentos de dinâmica ruminal e utilização de nutrientes (DANFAER e LESCOAT, 1995). Outrossim, o uso de modelos de simulação poderá reduzir substancialmente o número de ensaios físicos necessários para a avaliação de dietas animais (DIJKSTRA et al., 1996a), submetendo aos testes de campo somente aquelas que apresentarem melhores resultados na simulação.

Um modelo de simulação da cinética do alimento no trato digestivo foi construído com o objetivo específico de se estudar estratégias de suplementação de vacas leiteiras alimentadas com dietas à base de cana-de-açúcar mais uréia (DIJKSTRA et al., 1996a e b). Contudo, ele poderá ser aplicado a outras forrageiras tropicais, desde que se alterem os valores de alguns parâmetros-chaves (ASSIS et al., 1994). 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 (ARC, 1980; AFRC, 1992).

As variáveis de estado definidas no modelo são as frações nitrogenadas, os carboidratos estruturais (fibras) e não-estruturais (açúcares e amido), os ácidos graxos voláteis (AGV), os lipídios e os microrganismos ruminais representadas 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.

Para a predição da produção de leite, além dos nutrientes disponíveis, necessita-se de informações do

peso vivo do animal e da composição química do leite (i.e. lactose, gordura e proteína) que são definidos pelo próprio usuário, como variáveis de entrada do modelo. A energia disponível para manutenção e produção é o resultado do somatório dos valores energéticos dos nutrientes absorvidos (i.e. glicose, proteína, lipídios e ácidos graxos voláteis), segundo DIJKSTRA et al. (1996b). A produção de leite é determinada pelo nutriente mais limitante, após deduzidos os requerimentos de manutenção.

Existem duas versões do modelo: (i) *Cane.CSL*, para computadores de grande porte, desenvolvida por pesquisadores das Universidades de Reading, Inglaterra, e Wageningen, Holanda, em ACSL-Advanced Continuous Simulation Language (MITCHELL e GAUTHIER, 1981) e (ii) *Simula.CSM*, desenvolvida pela equipe da Embrapa Gado de Leite, em CSMP-Continuous System Modeling Program (IBM, 1975) adaptado para microcomputadores (JANSEN et al., 1988). Ambas versões foram validadas com dados de dois ensaios de digestão realizados na Estação Experimental de Coronel Pacheco-MG, da Embrapa Gado de Leite, com animais em crescimento, fistulados no rúmen e no abomaso, onde os fluxos MS, FDN e PB foram monitorados em diferentes seções do trato gastrintestinal.

Após testado com dados de cana-de-açúcar, levantaram-se, na literatura, informações de diferentes forragens (i.e. capim-elefante, silagem de milho, feno e silagem de alfafa) para avaliar a versão *Simula.CSM* sob outras condições nutricionais. 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 (ASSIS et al., 1994). Somente as dietas com silagem de milho apresentaram resultados discrepantes e especula-se que essa inconsistência deva estar relacionada com a sua proporção de AGV individuais no rúmen que difere das outras forrageiras estudadas.

Considerando as avaliações com os dados de fluxo de nutrientes, o modelo está apto para ser usado na seleção de dietas, mas a primeira versão só será disponibilizada após a avaliação da sua capacidade de prever o desempenho animal. Com este objetivo, um ensaio de alimentação foi realizado, em que 32 vacas em lactação foram submetidas a dietas de cana-de-açúcar suplementadas com farelo de soja ou grãos de soja, exclusivos ou misturados com milho (ASSIS et al., 1999). Comparando os resultados da simulação com os dados obtidos nesse ensaio, verificou-se que houve concordância entre as produções preditas e as observadas no campo, quando se utilizaram a energia, a proteína e a glicose como preditores. Entretanto, piores resultados foram obtidos quando se utilizaram os lipídios como nutrientes de referência. Por isso, quando se adicionou alta quantidade de grãos de soja à dieta básica, as predições de produção de leite foram discrepantes, provavelmente devido à maior proporção de óleo, acima de 6% da matéria seca. O modelo não está, ainda, capacitado para atuar em condições ruminais extremas.

Procurando representar um sistema típico de alimentação de vacas leiteiras nos períodos da seca e das "águas", dois testes foram realizados para verificar se o modelo está apto a simular dietas baseadas em capim-elefante suplementado, ou não, com cana-de-açúcar. Para tanto, considerou-se que em dietas de cana-de-açúcar a proporção de protozoários no líquido ruminal relativo às bactérias é ligeiramente maior (40 vs. 60%) do que em dietas à base de capim-elefante suplementado com cana (30 vs. 70%).

Os resultados das simulações do período das "águas" indicaram que no sistema de pastejo de capim-elefante, sem suplementação, a energia é o fator nutricional mais crítico, limitando a produção de leite em 7,0 e 11,7 kg/vaca/dia, quando se assume consumo de pasto da ordem de 9 e 11 kg MS/vaca/dia, respectivamente (ASSIS, 1997). Efetuando-se as suplementações energéticas necessárias e utilizando fontes adequadas de carboidratos não-estruturais, pode-se atingir até 22,6 kg de leite/vaca/dia com pasto de capim-elefante. As simulações do período da seca mostraram que, quando se suplementa o capim-elefante com a mistura cana-de-açúcar mais uréia e concentrados, os lipídios tornam-se os nutrientes mais limitantes, indicando que, nessas condições, a suplementação com algum ingrediente rico em gordura poderá elevar a produção de leite até 18 kg/vaca/dia. Contudo, esses resultados necessitam ser validados com dados de campo e, para tanto, um ensaio de longa duração está em andamento na Embrapa Gado de Leite, onde cerca de 80 vacas leiteiras, em pastejo rotativo de capim-elefante, estão submetidas a quatro níveis de suplementação com concentrados.

Paralelamente aos testes de validação, exercícios de simulação foram conduzidos com o objetivo 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 milho-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 1). Dentre as 153 dietas analisadas, apenas 21 apresentaram retorno econômico negativo (relação benefício/custo menor que 1,0).

Tabela 1: 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 (kg MS / vaca / dia) | PROD. LEITE (kg/vaca/dia) | CUSTO (A) (R\$/vaca/dia) | RECEITA (B) (R\$/vaca/dia) | B/A |
|-------|---|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------|
| 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 | 2,98 |
| 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.

Este modelo pode se transformar em instrumento poderoso de tomada de decisão, tanto no processo de formulação e balanceamento, quanto no de seleção de dietas, indicando para os testes físicos somente aquelas que apresentarem resultados econômicos positivos nas simulações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muitos sistemas computadorizados têm sido desenvolvidos com o objetivo de avaliar e monitorar o desempenho dos rebanhos leiteiros. Contudo, com a intensificação dos sistemas de produção de leite, o processo de tomada de decisão tem se tornado complexo, demandando sistemas mais modernos e automatizados de organização e controle das informações (PIETERSMA et al., 1998). Os modelos de natureza dinâmica são os mais poderosos, pois têm a capacidade de simular os processos biológicos envolvidos na produção de leite. Desta forma, eles são capazes de prever os efeitos de uma decisão gerencial no comportamento das variáveis biológicas responsáveis pelo desempenho do sistema.

Modelos de simulação para estudar sistemas de produção de leite vêm sendo utilizados por vários pesquisadores, principalmente nos países de clima temperado (e.g. JALVINGH et al., 1990; LARCOMBE, 1995; SORENSEN et al., 1996). Os enfoques são diversos, abordando desde sistemas de produção a áreas específicas do conhecimento científico. Neste contexto, a maioria dos modelos tem se concentrado nas áreas de nutrição animal, alimentação e pastagens, tendo em vista que, nos sistemas de produção de leite, estes temas representam, certamente, as maiores preocupações dos agentes tomadores de decisão, tanto sob o ponto de vista tecnológico como econômico. Entretanto, sob o ponto de vista dos impactos técnicos e econômicos, áreas importantes como a genética, reprodução e sanidade animal ainda não foram devidamente contempladas com modelos de simulação adequados.

No Brasil, são poucas as experiências de uso das técnicas de simulação na pecuária leiteira (e.g. BROCKINGTON et al., 1988; ASSIS et al., 1997a; ZOCCAL e ASSIS, 1997). Espera-se que, com a necessidade de se elevar, o mais rápido possível, a competitividade e o nível de organização da cadeia produtiva do leite, associados ao aumento crescente dos custos da experimentação física, as técnicas de modelagem de sistemas se tornem mais populares. A busca de uma pecuária leiteira mais competitiva e intensiva tecnologicamente demandará da pesquisa uma abordagem mais sistêmica, com a modelagem se transformando em ferramenta estratégica na avaliação a priori dos impactos da intensificação sobre a rentabilidade dos sistemas e a qualidade ambiental.

Desta forma, maior apoio deverá ser dado pelas instituições de fomento à pesquisa aos projetos que visem desenvolver ou adaptar modelos de simulação aplicados às condições brasileiras. Por outro lado, sistemas computacionais baseados em informações atuais ou em conhecimentos acumulados têm se mostrado eficazes no processo de tomada de decisão na pecuária leiteira (e.g. BRAGA et al., 1997; YAMAGUCHI e CARNEIRO, 1997; SILVA, 1998). Entretanto, esses sistemas necessitam ser integrados a modelos de simulação antes de serem usados na análise ex-ante de alternativas tecnológicas ou de sistemas de produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFRC. Nutritive requirements of ruminant animals: protein. *Nutr. Abstr. and Rev. - Series B*, v.62, p.787-835, 1992.
- AGROSOFT. Guia Agrosoft 97: 146 opções prontas para uso. *Revista Agrosoft*, Juiz de Fora, n.1, p.3-18, 1997.
- ARC. *The nutrient requirements of ruminant livestock*. Farnham Royal: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1980. 351 p.
- ASSIS, A.G., LOPES, F.C.F., DURÁES, M.C. et al. Validação de um modelo de simulação da cinética de nutrientes em vacas leiteiras. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36., 1999, Porto Alegre, RS. *Anais...* (no prelo).
- ASSIS, A.G. Produção de leite a pasto no Brasil. In: GOMIDE, J.A. (ed.) *Produção animal em pastejo*. Viçosa, MG: UFV, 1997. p.381-409.
- ASSIS, A.G. DIJKSTRA, J., MACIEL, A.S.P. et al. 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, v.1, 1997a. p.82-84.
- ASSIS, A.G., FRANCE, J., DIJKSTRA, J. et al. A model for estimating endogenous protein flows in the gastrointestinal tract of ruminants. *J. Anim. Feed Sci.*, Jablona, v.6, p.289-301, 1997b.
- ASSIS, A.G., BROCKINGTON, N.R. Sistemas de produção e economia: o estado da arte. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 32., 1995, Brasília, DF. *Anais...* Brasília: SBZ, 1995. p.575-586.

- ASSIS, A.G., DURÃES, M.C., DIJKSTRA, J. et al. Simulação da dinâmica de nutrientes no trato gastrointestinal de ruminantes. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 31., 1994, Maringá, PR. *Anais...* Maringá: SBZ, 1994. p. 445.
- BRAGA, J. L., SOUSA, E. M., NASCIFI, C. et al. Deleite: diagnóstico inicial de problemas relacionados ao rebanho leiteiro. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE INFORMÁTICA APLICADA À AGROPECUÁRIA E AGRO-INDÚSTRIA, 1., 1997, Belo Horizonte, MG. *Anais...* Belo Horizonte: AGROSOFT/ CTSOFT/SBI-AGRO, 1997. p.117-124.
- BROCKINGTON, N. R., ZOCCAL, R., VEIL, J. M. *Modelos de simulação em pesquisa aplicada aos sistemas de produção na agropecuária*. Brasília, DF: EMBRAPA-SEP, 1988. 38p. (EMBRAPA-SEP. Documentos, 42).
- BROCKINGTON, N. R., TEIXEIRA, N. M., ASSIS, A. G. et al. *Modelos bioeconômicos de sistemas de produção de leite na Zona da Mata de Minas Gerais*. Coronel Pacheco, MG: EMBRAPA-CNPGL, 1983. 57p. (EMBRAPA-CNPGL. Documentos, 08).
- BROCKINGTON, N.R. *Computer modelling in agriculture*. London: Oxford University, 1979. 156p.
- BROCKINGTON, N.R. A system approach to grassland research. In: SPEDDING, C.R.W., WILLIAMS, R.D. (eds.). *Silver Jubilee Report 1949-1974*. Hurley: Grassland Research Institute, 1974. p.179-184.
- CLARK, D. A., HARRIS, S. L. White clover or nitrogen fertiliser for dairying?. In: WHITE CLOVER: NEW ZEALAND'S COMPETITIVE EDGES, 1995, Canterbury: Agronomy Society of New Zealand and New Zealand Grassland Association Joint Symposium, *Proceedings...* Canterbury: Lincoln University, 1995. p.107-114.
- DANFÆR, R. A., LESCOAT, P. (eds.) Modelling nutrient utilisation in farm animals. In: INTERNATIONAL WORKSHOP, 4., 1994, Tjele: Research Centre Foulum, *Proceedings...* Tjele: National Institute of Animal Science, 1995. 195p.
- DENT, J.B., ANDERSON, J.R. (eds.) *Systems analysis in agricultural management*. Sidney: John Wiley & Sons, 1971. 394p.
- DIJKSTRA, J., FRANCE, J., NEAL, H.D.ST.C. et al. Simulation of digestion in cattle fed sugar cane: model development. *J. Agric. Sci., Cambridge*, v.127, p.231-246, 1996a.
- DIJKSTRA, J., FRANCE, J., ASSIS, A.G. et al. Simulation of digestion in cattle fed sugar cane: prediction of nutrient supply for milk production with locally available supplements. *J. Agric. Sci., Cambridge*, v.127, p.247-260, 1996b.
- DOMECQ, J.J., NEBEL, R.L., MCGILLIARD, M.L. et al. Expert system for evaluation of reproductive performance and management. *J. Dairy Sci., Champaign*, v. 74, p.3446-3453, 1991
- FRANCE, J., DIJKSTRA, J., DHANOA, M.S. et al. Biomathematical applications in ruminant nutrition. *J. Franklin Inst.*, v.355B, p.241-258, 1998.
- GOLD, H.J. *Mathematical modeling of biological systems. An introductory guidebook*. New York: John Wiley & Sons, 1977. 357p.
- GOMES, S.T. Cadeia agroindustrial do leite no Mercosul. In: VIEIRA, W., CARVALHO, F. (eds.). *Agronegócio e desenvolvimento econômico*. Viçosa: UFV, 1997. p.155-175.
- GRINSPAN, P., EDAN, Y., KAHN, H.E. et al. A fuzzy logic expert system for dairy cow transfer between feeding groups. *Trans. ASAE, St. Joseph*, v.7, p.147-1654, 1994.
- HOGVEEN, H., VARNER, M. A., BRÉE, D.S. et al. Knowledge representation methods for dairy decision support systems. *J. Dairy Sci., Champaign*, v.74, p.3704-3715, 1994.
- IBM. *Continuous system modeling program III (CSMP III): Program reference manual.*, 4.ed. New York, 1975. 206p. (Program number 5734-XS9).
- 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: Landbouw Economisch Instituut, 1990. 71 pp.
- JANK, M.S, GALAN, V.B. Competitividade do sistema agroindustrial do leite no Brasil. *Rev. Inst. Lat. "Cândido Tostes"*, Juiz de Fora, v.53, p.72-83, 1998.
- JANSEN, D.M., DIERKX, R.T., VAN LAAR, H.H. et al. PCSMP on IBM PC-AT's or PC-XT's and compatibles. Centre for Agrobiological Research (CABO) and Department of Theoretical Production Ecology. Wageningen: Agricultural University, 1988. 64p. (Simulation Report CABO-TT, 15).
- KRISTENSEN, T., SORENSEN, J. T., CLAUSEN, S. Simulated effect on dairy cow and herd production of different grazing intensities. *Agric. Syst., Barking*, v.55, p.123-138, 1997.
- KUNKEL, H.O., HAGEVOORT, G.R. Construction of science for animal agriculture. *J. Anim. Sci., Champaign*, v.72, p.247-253, 1994.
- LARCOMBE, M.T. *UDDER 8 Operating manual*. Hamilton, NZ: Agricultural Business Associates, 1995.
- LOPES, M. A., VEIGA, R. D., ZAMBALDE, A. L. et al. HERDSIZE: sistema computacional para dimensionamento, evolução e dinâmica de rebanhos bovinos mantidos em sistemas de produção semi-intensivo ou extensivo. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE INFORMÁTICA APLICADA À AGROPECUÁRIA E AGRO-INDÚSTRIA, 1., 1997, Belo Horizonte, MG. *Anais...* Belo Horizonte: AGROSOFT/ CTSOFT/SBI-AGRO, 1997. p.225-229.

- MITCHELL, E. L., GAUTHIER, J. *Advanced continuous simulation language. User Guide/Reference Manual*, 3.ed. Concord, MA: Mitchell and Gauthier Associates, 1981.
- OSTERGAARD, S., SORENSEN, J. T., KRISTENSEN, V. F. et al. *Modelling of the production of a dairy cow in a net energy system. Presentation and documentation of the PC-model SIMCOW*. Forningsrapport, 24. Denmark: DIAS, 1994. 31p.
- PIETERSMA, D., LACROIX, R., WADW, K.M. A framework for development of computerized management and control systems for use in dairy farming. *J. Dairy Sci.*, Champaign, v. 81, p.2962-2972, 1998.
- RODRIGUES, L. H. A. Planejamento estratégico de uma propriedade de leite através da utilização de um modelo de programação linear. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE INFORMÁTICA APLICADA À AGROPECUÁRIA E AGRO-INDÚSTRIA, I., 1997, Belo Horizonte, MG. *Anais...* Belo Horizonte: AGROSOFT/CTSOFT/SBI-AGRO, 1997. p.125-131.
- SCHEER, W. *Wirtschaftsinformatik: referenzmodelle für industrielle Geschäftsprozesse*. Berlin: Springer Verlag, 1996. 780p.
- SCHMISSEUR, E., GAMROTH, M.J. DXMAS: an expert system program providing management advice to dairy operators. *J. Dairy Sci.*, Champaign, v.76, p.2039-2049, 1993.
- SILVA JR, A.G. Gestão informatizada da qualidade em sistemas de produção integrada: uma aplicação na extensão rural da Sadia S.A. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, I., 1998, Poços de Caldas, MG. *Anais ... Poços de Caldas: SOBER*, 1998. p. 287-299.
- SILVA JR., A. G. *Sistema de suporte à decisão integrado a sistemas especialistas: uma aplicação para o gerenciamento de fazendas produtoras de leite*. Viçosa, MG. Tese (Mestrado em Economia Rural) - Universidade Federal de Viçosa, 1993.
- SILVA, C.A.B. Situação atual, tendências e perspectivas do setor de agroinformática no Brasil. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE INFORMATIZAÇÃO DE AGROPECUÁRIA, I., 1995, Juiz de Fora. Agrosoft/95.
- SORENSEN, J.T., ENEVOLDSEN, C., OSTERGAARD, S. *SIMHERD: users manual. PC programmes for simulation and analysis of production as an analytic tool in dairy cattle studies*. Intern rapport, 70. Denmark: DIAS, 1996. 90p.
- SPEEDING, C.R.W. *The biology of agricultural systems*. London: Academic Press, 1975. 261p.
- SPEEDING, C.R.W. *Grassland ecology*. London: Oxford University, 1971. 221p.
- TAMMINGA, S., VAN STRAALLEN, W.M., SUBNEL, A .P.J. et al. The Dutch protein valuation system: the DVE/OEB-system. *Livest. Prod. Sci.*, Amsterdam, v.40, p.139-155, 1994.
- URIBE, J. V., PARKER, W. J., DAKE, C. K. G. et al. A whole farm approach to feed planning and ration balancing using UDDER and CAMDAIRY. *Proc. N.Z. Soc. Anim. Prod.*, Hamilton, v.56, p.285-288, 1996.
- VILELA, D., GOMES, S.T., CALEGAR, G.M. Agronegócio leite e derivados: um programa nacional em C&T. In: CALDAS, R.A., PINHEIRO, L.E.L., MEDEIROS, J.X. et al. *Agronegócio brasileiro: ciência, tecnologia e competitividade*. Brasília: CNPq, 1998. p.257-275.
- WIEN, 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: Landbouw Economisch Instituut, 1994. 83p.
- 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 SOCIEDADE BRASILEIRA DE INFORMÁTICA APLICADA À AGROPECUÁRIA E AGRO-INDÚSTRIA, I., 1997, Belo Horizonte, MG. *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. p. 343-359.