

# Modelagem e simulação na agropecuária

---

Luciano Cavalcante Muniz<sup>1</sup>; Marco Antônio de Oliveira Viu<sup>2</sup>; Cláudio de Ulhôa Magnabosco<sup>3</sup>; Dyomar Toledo Lopes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Doutorando em Ciência Animal – EV/UFG, munizluciano@hotmail.com

<sup>2</sup> Professor da Escola de Veterinária – UFG/Jataí

<sup>3</sup> Pesquisador EMBRAPA Cerrados – Bolsista CNPq

---

## RESUMO

Objetivou-se revisar os trabalhos com modelagem econômica para auxílio na tomada de decisão na agropecuária. Não se pode imaginar uma atividade produtiva e empresarial que não tenha por objetivo a busca de resultados econômicos sólidos e convincentes. A situação econômica do agropecuarista tem se tornado crítica em razão de ganhos insuficientes em produtividade, que em associação com as piores relações de troca, determinaram redução no poder de compra do setor nos últimos anos. Como a influência do produtor sobre os termos de troca é limitada, em razão do caráter de concorrência perfeita da atividade, o caminho para assegurar melhor poder de compra é aumentar a produtividade, de modo eficiente e com o menor custo possível, para reduzir os custos médios de produção. Verifica-se a imediata necessidade da implantação de uma visão empresarial aos produtores rurais, uma vez que estes se encontram inseridos em um

mercado que deverá cada vez mais buscar mecanismos de gestão eficientes para aumentar os ganhos econômicos com a produção. Neste contexto, os procedimentos de modelagem econômica facilitam a integração de conceitos científicos e resultados experimentais, em ferramentas capazes de melhorar o entendimento da dinâmica de uma propriedade sob diferentes cenários de manejo. Esses modelos também podem ser usados para avaliar a eficiência de produção de determinado sistema frente ao seu real potencial, bem como determinar e mensurar o impacto de diferentes estratégias de alocação de recursos sobre os resultados produtivos e econômicos.

## **I- INTRODUÇÃO**

A modelagem é oriunda de uma área do conhecimento chamada análise de sistemas, e pode ser definida como uma organização de atributos de interesse particular, que visa conceituar, integrar e generalizar o conhecimento científico através da simplificação da realidade, que é bem mais complexa, e que resulta em uma ferramenta de auxílio para simulações de diversos cenários. Os cenários são concebidos a partir de uma eleição pragmática dos diversos atributos provenientes das diferentes áreas do conhecimento, de tal forma que se possa compreender como esses atributos eleitos venham a relacionar-se entre si, dentro de limites pré-definidos pelo modelador (DOURADO NETO et al., 1998; THORNLEY, 1998).

Existem diversas classificações para diferenciar os modelos. Uma delas os dividem em matemáticos e de simulação. Os modelos matemáticos, simplesmente referentes a representações matemáticas de um fenômeno, podem ser de três tipos: (i) empíricos, baseados em dados puramente observados; (ii) estocásticos, em que o processo é descrito pelas leis de probabilidade e (iii) mecanísticos, que consideram as leis físicas, químicas e biológicas no processo, sendo os mais versáteis dentre os tipos de modelos matemáticos (PAUTIAN et al., 1992).

Representando modelos mais complexos por englobar um ou mais modelos matemáticos, os modelos de simulação, conforme ADDISCOTT (1993), podem ser divididos em: (i) determinísticos, em que um conjunto de eventos leva a um resultado único e definido e (ii) estocásticos, em que a incerteza é considerada na sua estrutura. Essas duas categorias mencionadas podem ainda dividir os modelos de simulação em: (i) mecanísticos, que procuram descrever os mecanismos envolvidos no processo e (ii) funcionais, que descrevem apenas os aspectos gerais do processo.

Segundo BARIONI et al. (2003), pode-se apontar como aspectos positivos da modelagem: i) fazer previsões de interesse particular, visando nortear tomadas de decisão e operar um sistema de produção; ii) descobrir o que se deve buscar para entender um sistema; iii) identificar lacunas do conhecimento; iv) auxiliar a elaboração de um zoneamento climático; v) nortear a pesquisa, através do rastreamento oferecido pela composição do modelo e vi) fornecer subsídio teórico para estudos mais amplos e mais complexos.

Inúmeras vantagens podem ser conseguidas com o uso de modelos bem elaborados, considerando que os mesmos devem resumir

convenientemente uma gama de informações, permitindo progressos no conhecimento da planta e de suas interações com o ambiente, além de esclarecer pontos em que o conhecimento seja limitado (THORNLEY, 1998).

Por outro lado, os modelos não podem ser encarados como um objetivo final de pesquisa (como uma consequência) ou de qualquer necessidade agrônômica, e nem tampouco como uma ferramenta pronta, visto que são previamente concebidos e são compostos por vários elementos, os quais devem ser bem conhecidos e constantemente aferidos quanto aos seus limites diante das diversas situações. Os modelos se referem a uma ordem de grandeza a ser estimada, a qual deverá ser comparada com observações de situações reais, para que então possam ser validados para diversas simulações (DETOMINI, 2004).

## **II- USO NA AGRICULTURA**

Há muitos anos vêm sendo desenvolvidos modelos de estimativa do rendimento de diversas culturas, com base em variáveis meteorológicas e outras derivadas do balanço hídrico, porém com grandes limitações. A previsão de rendimento torna-se mais precisa quando os modelos de simulação são usados para estimar a produção em grandes áreas. Por outro lado, HOOGEBOOM (2000) afirma que a utilização de modelos, com fins de predição, pode ter aplicações, tanto previamente à semeadura, como durante o crescimento e

desenvolvimento da cultura, podendo essa informação ser usada ao nível de propriedades rurais ou de instituições governamentais para planejamento de políticas agrícolas.

Diversos autores desenvolveram modelos que simulam o desenvolvimento da planta, o acúmulo de fitomassa seca nos diferentes componentes da planta e o índice de área foliar (IAF), em função de parâmetros fenológicos e climáticos (SPITTERS et al., 1986 a, b). Cada um destes modelos simula parte do processo de produção da planta ou cultura, sendo desenvolvidos em condições climáticas específicas. Apesar de sua importância para a pesquisa e a agricultura, sua aplicação pode tornar-se limitada quando se pretende fazer estimativas em condições distintas daquelas em que tais modelos foram desenvolvidos.

Conforme salienta FIGUEREDO JÚNIOR (2004), o modelo Water and Agrochemical Vadose Environment (WAVE), parte de um projeto do instituto de pesquisas Científicas na Agricultura e Indústria da Bélgica, foi desenvolvido em condições climáticas mais amplas. Este modelo é resultante de inúmeras pesquisas que objetivaram o desenvolvimento, a calibração e validação de modelos matemáticos que descrevem a quantidade de matéria e energia no sistema solo-planta-atmosfera, e consistem de diferentes módulos de simulação do crescimento de plantas e movimento da água, solutos, calor e nitrogênio no solo.

O modelo Crop-Environment Resource Synthesis (CERES)-Maize, foi desenvolvido nos Estados Unidos da América, com o objetivo de quantificar os efeitos independentes e iterativos do genótipo, clima e atributos do solo no crescimento e produção de milho. O referido modelo simula os principais processos fisiológicos da planta, incluindo: fotossíntese; respiração; acúmulo e partição de fitomassa; fenologia;

crescimento de folhas, caules e raízes; extração de água do solo e, evapotranspiração (DETOMINI, 2004).

Os modelos WAVE e CERES-Maize são capazes de simular satisfatoriamente em distintas situações. Contudo, são bastante complexos e sua aplicação requer uma grande quantidade de parâmetros de entrada, tornando sua utilização limitada pela dificuldade na obtenção dos dados requeridos nas simulações (DETOMINI, 2004).

Com base nas relações energia-planta, um procedimento mais simples foi desenvolvido por DOORENBOS & KASSAM (1994) para estimativa do rendimento de diversas culturas. Simulações realizadas com a utilização deste modelo requerem uma quantidade relativamente pequena de dados de entrada, o que facilita sua aplicação (VILLA NOVA et al., 2001).

Finalmente, deve ser ressaltado que todos os modelos são abstrações. O grau de abstração permitido é um valor de um julgamento a ser feito no contexto dos objetivos. A chave para uma efetiva modelagem está no equilíbrio entre o realismo e a abstração na reprodução do sistema (SANTOS, 1986). Não existe, portanto um modelo certo ou errado, mas sim modelos com diversos graus de aplicação para diversas circunstâncias. Não existe também um modelo universal que fornece uma solução para todos os problemas, entretanto os modelos devem continuar a ser construídos e adaptados às diversas situações particulares. Os profissionais que trabalham com essas ferramentas devem portanto definir claramente seus objetivos antes de pensar em construí-los, enquanto que os usuários devem escolher aqueles que melhor resolvam suas necessidades específicas (THORNLEY & JOHNSON, 1990; DOURADO NETO et al., 1998; THORNLEY, 1998).

### III- USO NA FORRAGICULTURA

A integração de fatores determinantes da produtividade das plantas com fatores do meio e suas variações estacionais permite entender e explicar a estacionalidade da produção das plantas forrageiras. A modelagem matemática constitui-se numa descrição simplificada de sistemas reais a partir da integração de conhecimentos de diferentes disciplinas com o intuito de sintetizar, apresentar e analisar diversos aspectos da produção agrícola, incluindo a produção e os diversos tipos de interações entre as culturas e o meio ambiente, permitindo assim a previsão do comportamento da comunidade de plantas (BERNARDES, 2000), além da identificação de oportunidades para a melhoria no manejo utilizado (WOODWARD, 1998).

Algumas das principais dificuldades do processo de modelagem estão no tratamento estatístico a ser utilizado, o que leva muitos pesquisadores a recorrer a simplificações. As limitações computacionais existentes até poucos anos atrás faziam com que modelos com significado biológico e análises estatísticas precisas fossem conflitantes, levando à preferência por modelos lineares e/ou polinomiais (que geram bons resultados estatísticos) em relação àqueles não-lineares, com maior significado biológico (CACHO, 1993). Entretanto, os avanços computacionais na área estatística já permitem o uso de modelos não-lineares na modelagem de fenômenos biológicos e, além disso, o correto emprego de análises de medidas repetidas no tempo (PEEK et al., 2002).

Modelos empíricos, geralmente equações de regressão envolvendo variáveis climáticas, fornecem boas estimativas de produção mas são restritos às condições de meio e ao cultivar com os quais foram gerados. Por outro lado, modelos mecanísticos têm como objetivo explicar o crescimento a partir das respostas integradas de processos básicos, como a assimilação de CO<sub>2</sub> e respiração, a fatores ambientais (GOUDRIAAN e VAN LAAR,1994).

Diversos modelos que simulam a produção de plantas estão disponíveis atualmente, além de sub-modelos que simulam processos determinantes da produção vegetal. A equação de **Monsi e Saeki**, descrevendo a atenuação da luz no dossel em relação à sua quantidade de folhas (IAF) e a capacidade delas de interceptar a radiação, tornou possível a estimativa da fotossíntese de dossel, uma etapa fundamental para o desenvolvimento de modelos completos que descrevem o crescimento e a produção das culturas (HAY & WALKER, 1989).

O modelo de BOOTE & JONES (1987), através da integração de alguns dos fatores determinantes da assimilação de carbono pelas plantas, tais como IAF, coeficiente de extinção luminosa, densidade de fluxo da radiação e máxima taxa de fotossíntese foliar, é capaz de estimar a fotossíntese do dossel e sua resposta à radiação (JOHNSON et al., 1989).

O modelo SUCROS 1 simula a produção potencial (acúmulo de massa seca) de culturas, sob amplo suprimento de água e nutrientes e livre da interferência de pragas e doenças, a partir da assimilação de CO<sub>2</sub> pelo dossel (fotossíntese) e utilização do carbono pelas plantas para manutenção e crescimento. A fotossíntese é estimada a partir de características do dossel como IAF, quantidade de energia radiante absorvida e fotossíntese de folhas individuais e a utilização do carbono



absorvido é estimada por coeficientes de alocação, dependentes do estágio fenológico da planta (GOUDRIAAN & VAN LAAR, 1994).

Modelos que descrevem a produção animal em pastagens são muito complexos, pois além de necessitarem dos mesmos sub-modelos necessários para a modelagem de culturas agrícolas, envolvendo as relações entre a planta e o meio, necessitam de sub-modelos que descrevam os processos fisiológicos do animal em pastejo e a interação do animal com a pastagem que lhe é oferecida (LOEWER JÚNIOR, 1998; WOODWARD, 1998), como no modelo GRAZE (LOEWER JÚNIOR, 1998).

Devido à complexidade das interações envolvidas no processo produtivo, o desenvolvimento de modelos é um processo lento e depende do envolvimento de equipes multidisciplinares e, portanto, bancos de dados amplos e completos, de todas as áreas e disciplinas envolvidas, que são fundamentais para que modelos realísticos possam ser desenvolvidos (MORENO, 2004).

Assim, a modelagem da produção de forragem em função da unidade fototérmica associada à análise de componentes morfofisiológicos das plantas forrageiras é apenas um de uma série de estudos necessários para que se tenha um modelo que auxilie no planejamento e na tomada de decisões em sistemas de produção animal baseados na exploração de pastagens.

#### IV- USO NA NUTRIÇÃO ANIMAL

Modelos matemáticos podem ser classificados quanto à forma de tratar o tempo em estáticos e dinâmicos. Modelos estáticos desconsideram efeitos de estados transitórios sobre o comportamento do sistema. Esses modelos assumem que os estados transitórios não influenciam os resultados do modelo e, portanto, a determinação do estado do sistema em um ponto no tempo é suficiente para determinar suas respostas. Os modelos estáticos são atualmente os mais utilizados nos sistemas de alimentação de ruminantes dos diversos países desenvolvidos. São exemplos os modelos do Institut National de la Recherche Agronomique, (INRA, 1989), Agricultural Food Research Council, (AFRC, 1993), National Research Council, (NRC, 1996).

Modelos dinâmicos são empregados na representação de sistemas nos quais as variações de estado são relevantes na previsão de seu comportamento e/ou quando existe interesse no estudo da seqüência espaço-temporal das variáveis do sistema (BARIONI et al., 2002). Modelos dinâmicos são baseados nas seguintes premissas: (1) o estado de um sistema pode ser expresso quantitativamente em qualquer instante de tempo; (2) as taxas de mudança são afetadas pelo estado atual e por variáveis exógenas e podem ser descritas em termos matemáticos e do sistema.

O crescimento depende da ingestão e digestão de nutrientes pelo animal, incluindo, no caso de ruminantes, processos relativos à fermentação ruminal e metabolismo. Assim em modelos de produção animal, a ingestão de alimentos ou nutrientes é utilizada para previsão dos processos considerados em modelo de digestão, metabolismo e crescimento animal.

Os modelos de crescimento animal variam em objetivos, tratamento do tempo, nível de agregação, processos modelados e

complexidade. Um ou mais dos seguintes objetivos têm sido perseguidos pelos atuais modelos de crescimento animal: (1) prever o ganho de peso e a composição do ganho de um animal em um determinado estágio de sua vida e condições nutricionais (NRC, 1996); (2) capacitar a estimativa das exigências nutricionais de tais animais (NRC, 1996); (3) capacitar a formulação de dietas mais viáveis economicamente (LANNA et al., 1999), (4) estudar as implicações do ganho compensatório (SOBOLEVA et al., 1999) e (5) estudar os efeitos de agentes modificadores da partição de nutrientes (SAINZ & WOLF, 1990).

Diversos modelos têm sido propostos para previsão da disponibilidade de produtos da fermentação ruminal para o metabolismo e crescimento (BALDWIN, 1995). No entanto submodelos empíricos que relacionam a ingestão de energia com a energia metabolizável ou energia líquida para ganho são os mais adotados atualmente (NRC, 2000).

A literatura frequentemente define “modelos de crescimento” como aqueles relacionados aos processos pós-absortivos de utilização de nutrientes e/ou energia (BALDWIN, 1995). Tais modelos incluem previsão de gastos energéticos para a manutenção assim como para a partição de nutrientes entre tecidos (músculo, víscera, osso e gordura) e a eficiência de utilização de nutrientes nesses processos.

Modelos matemáticos de metabolismo e de crescimento animal têm como premissa básica a lei da termodinâmica de conservação de energia (CRUCHAGA et al., 1992). Os índices de eficiência de utilização de energia para manutenção e ganho são utilizados para conversão da energia ingerida em energia retida nos tecidos. Nesses modelos, o

ganho médio diário de peso (GMD) é calculado como a razão entre energia retida (ER) e o conteúdo energético do ganho (CEG):

$$\mathbf{GMD = ER / CEG} \quad \text{(equação 1)}$$

A energia retida é normalmente calculada subtraindo-se a exigência energética para manutenção da ingestão de energia do animal. Em sistemas que usam energia metabolizável para os cálculos das exigências e da ingestão é necessário utilizar-se um coeficiente ( $k_g$ ) para conversão da energia metabolizável em energia líquida (BARIONI et al., 2002):

$$\mathbf{ER = IEL - EELm = k_g (IEL - EELm)} \quad \text{(equação 2)}$$

**onde:**

IEL representa a ingestão de energia líquida;

EELM é a exigência de energia líquida para manutenção e  $k_g$  é a eficiência de ganho (isto é, a razão entre energia retida e ingestão de energia metabolizável, excluindo gastos energéticos para manutenção).

Combinando as equações (1) e (2), obtemos a equação (3), que é a equação básica dos sistemas convencionais de exigências nutricionais e previsão de crescimento de bovinos.

$$\mathbf{GMD = (IEL - EELm)/CEG = kg (IEM - EEMm)/CEG}$$

(equação 3)

**onde:**

IEM representa a ingestão de energia metabolizável;

EEMm, a exigência de energia metabolizável para manutenção.

Os modelos estáticos de crescimento baseados na equação (3), adotados nos sistemas de padrões nutricionais para ruminantes, atingiram alto grau de acurácia na previsão das taxas de crescimento, principalmente para animais confinados. Esses modelos apresentam como vantagem a facilidade de especificação matemática, parametrização e introdução de fatores de correção nas equações. Ainda, esses modelos apresentam baixa demanda computacional, o que permite eficiente implementação em planilhas eletrônicas (HOFFMANN, 2007).

Os modelos propostos visam basicamente adequar a dieta às exigências do animal, avaliar a ingestão, desempenho animal, custo de produção e otimizar a formulação de dietas.

Entretanto, segundo BARIONI et al. (2002), entre as principais limitações aos modelos estáticos atuais, estão: (1) não estimar os estados transitórios do animal, inabilitando simulação adequada de ganho compensatório e (2) a utilização da eficiência de utilização de energia é função da própria concentração energética dos alimentos. As formas como essa energia é contida (gordura, proteína, etc.) e suas

possíveis interações no metabolismo e composição do ganho são desconsideradas. Modelos dinâmicos, em contrapartida, possuem maior demanda computacional e o desenvolvimento e parametrização frequentemente são mais complexos (OLTJEN et al., 2000). Alguns modelos desse tipo podem permitir simular mais adequadamente os efeitos de período e intensidade de restrição e realimentação sobre a manutenção, composição do ganho e ingestão (embora a dinâmica da ingestão seja usualmente desprezada nos modelos revistos).

Exceções feitas a alguns modelos, como por exemplo, LANNA et al., (1999), os modelos de crescimento ainda utilizam a ingestão de nutrientes como variável de entrada e não prevêem a ingestão a partir de uma demanda de nutrientes do organismo. Sendo a disponibilidade de nutrientes um dos principais fatores determinantes do crescimento, é bastante frustrante o estado atual de desenvolvimento dos modelos matemáticos nesse aspecto (HOFFMANN, 2007).

Existe a expectativa de que modelos de metabolismo de nutrientes, com o tempo, sejam incorporados para previsão de eficiência de ganho em sistemas de avaliação de dietas. Parece evidente que os sistemas de alimentação irão se valer, no futuro, de modelos dinâmicos para melhorar sua capacidade preditiva em situações de alimentação diversas daquelas onde foram desenvolvidos (HOFFMANN, 2007).

As dificuldades no desenvolvimento e as limitações encontradas nos modelos dinâmicos atuais em contraste a certa maturidade já alcançada pelos modelos estáticos podem brevemente retardar, mas não evitar a sua adoção na predição do desempenho animal em larga escala.

## V- IMPLEMENTAÇÃO DE MODELOS COMPUTACIONAIS DE SIMULAÇÃO

Depois da formulação matemática das relações que participarão do modelo, a implementação de um modelo computacional de simulação requer a transferência de conhecimento (presente na forma de conceitos e regras) e de informações ao computador na forma de fórmulas, algoritmos e dados estruturais.

A definição do sistema e objetivos do modelo de simulação a ser construído deve começar antes da construção do modelo propriamente dita (MacCARL, 1984). Diferentes sistemas e objetivos necessitam de diferentes estratégias de modelagem.

Os objetivos do usuário final é que determinarão o nível de complexidade a ser adotada e uma das maiores dificuldades é fazer um modelo que seja compreensivo e simples simultaneamente. Quando um modelo é construído com um propósito bem definido é fácil de manter seu nível de complexidade baixo. No entanto, o aumento de generalidades geralmente requer adição de mais dados de entrada, variáveis e equações (HOFFMANN, 2007).

Para o desenvolvimento de modelos mecanicistas o primeiro passo, após definir seus propósitos, o(s) pacote(s) computacional(ais) a serem usados, deve ser concentrar-se no estudo do sistema a ser simulado. É importante que os sub-sistemas, os componentes e as relações dentro de cada sub-sistema, as variáveis ambientais e pontos de controle sejam identificados nesse estágio (DENT & ANDERSON, 1971).

Muitos autores recomendam o uso de uma representação diagramática do sistema, que corresponde ao segundo passo. De acordo com DENT & ANDERSON (1971), essa representação do modelo proporciona a base para a identificação do tipo e forma dos dados requeridos. A disponibilidade de dados poderá induzir as mudanças consideráveis no modelo. Não é necessário que um modelo tenha todos os detalhes do sistema a ser representado. No desenvolvimento de sistemas de auxílio à tomada de decisão somente os parâmetros que provavelmente afetariam a decisão devem ser modelados (GILLARD & MONYPENNY, 1988).

O terceiro passo envolve a busca por dados para a definição das relações quantitativas, por exemplo equações (DENT & BLACKIE, 1979). Nesse estágio podem ocorrer limitações das informações disponíveis. Caminhos alternativos para representação dos componentes do sistema e estimativa dos valores para algumas variáveis podem ser necessários.

Uma vez que os dados foram reunidos e as equações formuladas, o modelo pode ser implementado como um código computacional (BARIONI, 1997). Essa fase inclui codificação, depuração, parametrização, calibração e documentação (CARLSON et al., 1993). Algoritmos, dados estruturais, interface com o usuário e a colaboração de outro software podem também ser importantes durante essa fase. Uma vez implementado, o programa de computador representa a forma definitiva do modelo, a qual é capaz de simular o comportamento do sistema (BROCKINGTON, 1979).

Modelos são escritos usando diversos tipos de pacotes computacionais ou ferramentas de programação. A opção mais comum é a utilização da terceira geração de linguagem de programação, como, por exemplo, a Pascal, Fortran, C, C++, Delphi ou Visual Basic. Essas



linguagens são muito versáteis e podem ser usadas por qualquer projeto de desenvolvimento de software. Elas permitem uma interface personalizada com o usuário e grande capacidade de armazenamento de banco de dados (HOFFMANN, 2007).

A estimativa de parâmetros segue as fases de codificação e depuração. Modelos podem ser muito sensíveis a certos parâmetros, e por consequência uma parametrização “pobre” pode por em perigo o desempenho do modelo. A parametrização é de grande importância e necessita de considerável tempo e informação (CARLSON et al., 1993). Dependendo da intenção do usuário os parâmetros podem ser estimados internamente ou serem definidos pelo próprio usuário. Há também a possibilidade do usuário poder modificar os parâmetros do modelo, mas isso deverá ser procedido com cautela, principalmente quando os dados de entrada não têm uma base física, deixando ao usuário uma escolha difícil para ajustes e parâmetros não fixados (BARIONI, 1997).

A calibração situa-se entre os estágios de parametrização e validação e efetua uma alteração nos valores dos parâmetros de um modo lógico obtendo o melhor ajuste entre os dados de saídas simulados e dados mensurados num sistema real (CARLSON et al., 1993). Consiste num teste do processo de parametrização e é similar à validação, exceto por não objetivar testar a hipótese do modelo, mas ajustar seu comportamento ao sistema a ser simulado.

Como mencionado por CARLSON et al., (1993), é importante realçar que o desenvolvimento do modelo é, ou pelo menos deveria ser, um processo interativo que inclui projeto, re-implementação e re-avaliação e, conseqüentemente, uma versão definitiva do modelo

provavelmente nunca será alcançada, uma vez que a adição de processos biofísicos será contínua.

## VI- AVALIAÇÃO DE MODELOS COMPUTACIONAIS DE SIMULAÇÃO

A parametrização, calibração e implementação inicial do modelo em um código computacional não é o fim do desenvolvimento do modelo. Depois desse estágio é indispensável avaliar o modelo para assegurar que atingiu os propósitos para os quais foi desenvolvido. CARLSON et al. (1993), dizem que a avaliação do modelo é um processo crítico no desenvolvimento iterativo de um modelo, porque é somente assim que o modelador começa verdadeiramente a entender o desempenho do modelo e sua função no sistema. O processo de avaliação pode ser dividido em verificação e validação.

A verificação é um processo contínuo e refere-se à inspeção do programa computacional a fim de se garantir um comportamento consistente e que esteja de acordo com o conhecimento atual do sistema. Dessa forma, a verificação inclui uma avaliação subjetiva da precisão do modelo feita pelos desenvolvedores ou por especialistas em modelagem e testes de programas computacionais (MacCARL, 1984).

A segunda etapa da avaliação é chamada validação. Uma vez que um modelo é uma hipótese do comportamento de um sistema, ele deve ser testado de maneira diferente a que o sistema foi modelado para ver se as hipóteses podem ser aceitas ou não (BARIONI, 1997). Validação é definida como sendo "o processo de teste do comportamento do modelo

de acordo com o sistema real o qual ele representa, respeitando os propósitos específicos pelo qual tal modelo fora desenhado” (LEVIS & LEVIS, 1978).

O objetivo da validação é desenvolver um nível de confiança aceitável inferido a partir do desempenho do modelo em que este se mostra correto e aplicável a sistemas reais.

Dados para a validação do modelo podem ser obtidos por meio de três fontes (ANDERSON et al. (1971), citado por DENT & BLACKIE, 1979): (1) dados experimentais históricos ou publicados que não participaram da construção do modelo; (2) dados experimentais históricos ou publicados coletados a partir do momento em que o modelo estava completo; e (3) dados experimentais gerados ou coletados especificamente para a validação. Uma precaução a ser feita quando se usar dados históricos é o raciocínio circular; é necessário garantir completa independência dos dados que participam da validação daqueles que foram usados na construção do modelo (MacCARL, 1984). Dessa maneira, os dados usados na parametrização das equações do modelo não são aceitos para a validação.

Dados de experimentos publicados, estudos de caso e dados históricos de fazendas e confinamentos podem prover um bom material para a validação. Dados experimentais gerados especialmente para a validação do modelo são os melhores, tanto em termos de adequação das medidas quanto em termos de se ajustar aos testes do modelo. O fator limitante para a validação é geralmente a falta de dados completos para comparação entre dados de entradas simulados e resultados gerados (HOFFMANN, 2007).

Muitos tipos de testes para validação de modelos são descritos na literatura. Alguns exemplos são: sistemas de desempenho gráficos e dados de saída do modelo numa série temporal, análise de regressão dos dados de saída do modelo e medidas reais de sistemas, teste de médias, análise de variância e covariância, entre outros (HOFFMANN, 2007).

Diversos autores discutem a utilização de testes estatísticos no sentido de se verificar a validade dos modelos (MAYER et al., 1993; THORNTON & HANSEN, 1996), propondo e discutindo a validade de se utilizar testes como o F, de modo a se testar a hipótese de que a regressão linear entre os dados observados na realidade e os previstos pelo modelo apresenta intercepto zero e inclinação igual a 1. THORNTON & HANSEN (1996) mostram que a utilização do teste F é extremamente rígida e apresenta grande viés à medida em que se aumenta o número de pontos amostrados.

A limitação apresentada por diversos testes estatísticos leva a sugerir que a utilização de instrumental estatístico deve se restringir ao objetivo descritivo e não de inferência a respeito da validade dos modelos. Tal instrumental estatístico deve ser combinado com procedimento gráfico de comparação e avaliação de especialistas (HARRISON, 1990).

Segundo BARIONI (1997), a análise de regressão simples é talvez o melhor teste estatístico para validação e um dos mais largamente utilizados nos dias de hoje. Ele é realizado com médias das saídas do modelo e de medidas do sistema real, como sendo observações pareadas.

MURTHY et al. (1990) demonstraram que uma decisão crucial é a escolha de qual teste será usado para a validação. Se o teste escolhido for muito rigoroso, o processo de modelagem irá requerer um grande número de interações para completar o teste e, de acordo com o modelo final, provavelmente indicará que o teste é muito complexo para o seu propósito. Por outro lado, se o teste não for suficientemente rigoroso, modelos com inadequada precisão passarão pelo teste.

De acordo com SHANNON (1975) o conceito da validação não deve ser considerado como idéia de variável de decisão binária, onde o modelo é válido ou inválido. Testes com o modelo sob diversos usos não garantem que este funcionará perfeitamente em todo o seu universo de possibilidades de aplicação. Um modelo considerado válido denota que este não falhou durante um teste de validação qualquer. De fato, um modelo considerado validado não o é para sempre, devendo ser continuamente testado (MacCARL, 1984).

## VII- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante esta revisão de literatura verifica-se que a modelagem está presente nas áreas relacionadas à agropecuária em geral, sendo uma ferramenta que auxilia o agropecuarista a tomar decisões, pois possibilita a sistematização das informações do sistema de produção levando em conta as variações de cenários como: mercado, índices zootécnicos, variações climáticas, produção de fitomassa, etc...

Pode-se concluir que os modelos matemáticos contribuem para avaliação de novas tecnologias, previsão e avaliação quantitativa do comportamento dos sistemas de produção submetidos a diversas condições. Além do mais permitem uma abrangência espaço-temporal muitas vezes inviável à pesquisa experimental.

#### VIII- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDISCOTT, T.M. Simulation modelling and soil behaviour. **Geoderma**, v.60, n. 1-4, p.15-40, 1993.

AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL -AFRC. Energy and protein requirements of ruminants. Wallingford: Commonwealth Agricultural Bureaux internacional, 1993. 159p.

BARIONI, L.G.; MARTHA JÚNIOR, G.B.; RAMOS, A.K.B.; VELOSO, R.F.; RODRIGUES, D. C.; VILELA, L. Planejamento e gestão do uso de recursos forrageiros na produção de bovinos em pastejo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 20., Piracicaba, 2003. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 2003. p.105-154.

BARIONI, L.G. **A dynamic simulation model for planning and controlling grazing systems**. 1997. 176p. Thesis (Master of Applied

Science in Agricultural Systems and Management) – Massey University, Palmerston North, New Zealand, 1997.

BARIONI, L. G.; VELOSO, R. F.; MARTHA JUNIOR, G. B. Modelos matemáticos aplicados a sistemas de produção animal em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 2002, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, Departamento de Zootecnia, 2002. p. 235-278.

BALDWIN, R.L. Animal energetic models. In: BALDWIN, R.L. (Ed.) **Modelling ruminant digestion and metabolism**. London: Chapman e Hall, 1995. 578p.

BERNARDES, M. S. Modelagem matemática aplicada à agricultura. FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **AGRIANUAL, 2000**. Anuário de agricultura brasileira. São Paulo, 2000. p.80-81.

BOOTE, K.J.; JONES, J.W. Equations to define canopy photosynthesis from quantum efficiency, maximum leaf rate, light extinction, leaf area index, and photon flux density. In: BIGGINS, J. (Ed.). **Progress in photosynthesis research**. The Hague: Martinus Nijhoff Publ., 1987. v.4, p.415-418.

BROCKINGTON, N.R. **Computer modelling in agriculture**. Oxford: Clarendon Press, 1979. 160p.

CACHO, O.J. A practical equation for pasture growth under grazing. **Grass and Forage Science**, v.48, n. 4, p.387- 394, 1993.

CARLSON, D.H.; THUROW, T.L.; JONES, C.A. Biophysical simulation models as foundation of decision support systems. In: STUTH, J.W.; LYONS, B.G. (Ed.). **Decision support systems for the management of grazing lands: emerging issues**. Paris: Unesco, 1993, p. 37-68.

CRUCHAGA, R.C.; GONZÁLEZ, C.A. Uso de la Bioenergética en Producción de Bovinos. In: RUIZ, M.E. **Simulacion de sistemas pecuários**. IICA: San José, Costa Rica, 1992 cap.1, p. 7- 100.

DENT, J.B.; ANDERSON, J.R. **System analysis in agricultural management**. Sidney: John Wiley, 1971. 394p.

DENT, J.B.; BLACKIE, M.J. **Systems simulation in agriculture**. London: Applied Science Publishers, 1979. 180p.

DETOMINI, E. R.; Modelagem da produtividade potencial de Brachiaria brizantha (VARIEDADES CULTIVADAS MARANDU E XARAÉS). 112p.: il. Dissertação (Mestrado). Área de Fitotecnia. Escola Superior de



Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Trad. de GHEYI, H. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

DOURADO NETO, D., TERUEL, D. A., REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R.; FRIZZONE, J.A.; BACCHI, O.O.S. Principles of crop modeling and simulation: I. uses of mathematical models in agricultural science. **Scientia Agricola**, v.55, n. especial Piracicaba, p.46 - 50, 1998a.

FIGUEREDO JÚNIOR, L.G.M. Modelo para a estimação da produtividade de grãos de milho no Estado de São Paulo. Piracicaba, 2004. 67p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

GILLARD, P.; MONYPENNY, R. A decision support approach for the beef cattle industry of tropical Australia. **Agricultural Systems**, Oxford, v. 26, n. 2, p. 179-190, 1988.

GOUDRIAAN, J.; Van LAAR, H.H. **Modeling potential crop growth processes**. Dordrecht: Kluwer academic publishers, 1994. 238p. (Current issues in production ecology).

HAY, R.K.M.; WALKER, A.J. **An introduction to the physiology of the crop yield**. New York: Longman Scientific & Technical, 1989. 292p.

HARRISON, S.R. Regression of a model on real-system output: an invalid test of a model validity. **Agricultural Systems**, Oxford, v. 34, n. 2, p. 183-190, 1990.

HOFFMANN, B. M. Parametrização e validação de um modelo de estimativas das exigências e do desempenho de gado de corte. 112p.: il. Dissertação (Mestrado). Área de Zootecnia. Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.103, n. 1-2, p.137-157, 2000.

INSTITUTE NATIONAL DE LA RECHERHCE AGRONOMIQUE **Ruminant nutrition**. Paris:John Libbey Eurotext, 1989. 389p.

JOHNSON, I.R.; PARSONS, A.J.; LUDLOW, M.M. Modelling photosynthesis in monocultures and mixtures. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.16, n. 6, p.501 - 516, 1989.

LANNA, D.P.D.; BARIONI, L.G.; BOIN, C.; TEDESCHI, L.O. **RLM 2.0 – ração de lucro máximo**: versão 2.0. Manual do usuário. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Zootecnia, 1999. 26 p.

LEVIS, A.H.; LEVIS, I.S. Toward a conceptual framework for policy analysis modelling. In: LEVIS, A.H.; QUANCE, L. (Ed.). **Systems theory applications to agricultural modelling – a proceedings**. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, 1978. p. 9-14.

LOEWER JUNIOR., O.J. GRAZE: A beef-forage model of selective grazing. In. PEART, R.M.; CURRY, R.B. (Ed.). **Agricultural systems modeling and simulation**. New York: Marcel Dekker, 1998. p.301-417.

MacCARL, B.A. Model validation: an overview with some emphasis on risk models. **Review of Marketing and Agricultural Economics**, New York, v. 52, n. 3, p. 153-173, 1984.

MAYER, D.G.; STUART, M.A.; SWAIN, A.J. Regression of real-word data on model output: an appropriate overall test of validity. **Agricultural Systems**, Oxford, v. 45, n. 1, p. 93-104, 1993.

MORENO, L.S.B. **Produção de forragem de capins do gênero Panicum e modelagem de respostas produtivas e morfofisiológicas em função de variáveis climáticas**. 2004. 86 p. Dissertação (Mestrado). Área de Zootecnia. Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MURTHY, D.N. P.; PAGE, N.W.; RODIN, E.Y. **Mathematical modelling: a tool for problem solving in engineering, physical, biological and social sciences**. Oxford: Pergamon Press, 1990. 339p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7th ed. Washington: National Academy Press, 1996. 234p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7th ed. Washington: National Academy Press, 2000. 242p.

PAUTIAN, K.; PARTON, W.J.; PERSSON, J. Modeling soil organic matter in organicamended and nitrogen fertilized long-term plots. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, p.476-488, 1992.

PEEK, M.S.; RUSSEK-COHEN, E.; WAIT, D.A.; et al. Physiological response curve analysis using nonlinear mixed models. **Oecologia**, Berlin, v.132, n.2, p.175-180, 2002.

SAINZ, R.D.; WOLFF, J.E. Development of a dynamic, mechanistic model of lamb metabolism and growth. **Animal Production**, Glasgow, v. 51, p. 535-549, 1990.

SHANNON, R.E. **Systems simulation**: The art and science. London: Prentice Hall, 1975. 387p.

SOBOLEVA, T.K.; ODDY, V.H.; PLEASANTS, A.B.; OLTJEN, J.W.; BALL, A.J.; MCCALL, D.G. A dynamical model of body composition in sheep. **Proceeding of the New Zealand Society of Animal Production**, Palmerston North, v. 59, p. 275-278, 1999.

SPITTERS, C.J.T.; TOUSSAINT, H.A.J.; GOUDRIAAN, J. Separating the diffuse and direct component of global radiation and its implications for modelling canopy photosynthesis. I. Components of incoming solar

radiation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.38, p.217-229, 1986a.

SPITTERS, C.J.T.; TOUSSAINT, H.A.J.; GOUDRIAAN, J. Separating the diffuse and direct component of global radiation and its implications for modelling canopy photosynthesis. II: Calculation of canopy photosynthesis. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.38, p.231-242, 1986b.

THORNLEY, J.H.M. **Grassland dynamics**: an ecosystem simulation model. Wallingford: CAB International, 1998. 241p.

THORNLEY, J.H.M.; JOHNSON, I.R. **Plant and crop modeling**. Oxford: Oxford University Press, 1990. 669p.

THORNTON, P.K.; HANSEN, J.W. A note on regressing real-world data on model output. **Agricultural Systems**, Oxford, v. 50, n. 4, p. 411-414, 1996.

VILLA NOVA, N.A.; SANTIAGO, A.V.; RESENDE, F.C. **Energia solar**: aspectos físicos e de captura pela biomassa. Piracicaba: ESALQ, 2001. 20p.

WOODWARD, S.J.R. Dynamical systems models and their application to optimizing grazing management. In. PEART, R.M.; CURRY, R.B. (Ed.). **Agricultural systems modeling and simulation.** New York: Marcel Dekker, 1998. p.419-473.