

Emprego de Modelos Matemáticos para Pesquisa e Gerenciamento de Sistemas Integrados de Lavoura e Pecuária





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1517-5111

Novembro, 2003

Documentos 96

Emprego de Modelos Matemáticos para Pesquisa e Gerenciamento de Sistemas Integrados de Lavoura e Pecuária

Rui Fonseca Veloso
Luís Gustavo Barioni
Geraldo B. Martha Júnior

Planaltina, DF
2003

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina - DF

Fone: (61) 388-9898

Fax: (61) 388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *Dimas Vital Siqueira Resck*

Editor Técnico: *Carlos Roberto Spehar*

Secretária-Executiva: *Nilda Maria da Cunha Sette*

Supervisão editorial: *Jaime Arbués Carneiro*

Revisão de texto: *Jaime Arbués Carneiro /
Maria Helena Gonçalves Teixeira*

Normalização bibliográfica: *Shirley da Luz Soares*

Capa: *Wellington Cavalcanti*

Editoração eletrônica: *Jussara Flores de Oliveira*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Souza*

Jaime Arbués Carneiro

Impresso no Serviço Gráfico da Embrapa Cerrados

1ª edição

1ª impressão (2003): tiragem 100 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).

CIP-Brasil. Catalogação na publicação.

Embrapa Cerrados.

V443e Veloso, Rui Fonseca

Emprego de modelos matemáticos para pesquisa e
gerenciamento de sistemas integrados de lavoura e pecuária / Rui
Fonseca Veloso, Luís Gustavo Barioni, Geraldo B. Martha Júnior.
– Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2003.

24 p. – (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111; 96)

1. Lavoura - pecuária. 2. Modelos matemáticos - gerenciamento.
I. Barioni, Luís Gustavo. II. Martha Júnior, Geraldo B. III. Título.
IV. Série.

511.8 - CDD 21

© Embrapa 2003

Autores

Rui Fonseca Veloso

Eng. Agrôn., Doutor, Embrapa Cerrados,
rui@cpac.embrapa.br

Luís Gustavo Barioni

Eng. Agrôn., Doutor, Embrapa Cerrados,
barioni@cpac.embrapa.br

Geraldo B. Martha Júnior

Eng. Agrôn., Doutor, Embrapa Cerrados,
gbmartha@cpac.embrapa.br

Apresentação

O conceito central de pesquisa agropecuária, com visão sistêmica, é que os sistemas pesquisados devem ser entendidos considerando suas dinâmicas tidas como aspecto crucial de toda atividade humana e fundamental para avaliar mudanças em quaisquer de seus componentes. Um estudante tenta aumentar sua competência, um médico tenta melhorar a saúde do paciente e a pesquisa agropecuária visa aumentar a eficiência de processos biofísicos e de toda uma unidade de produção agrossilvipastoril em termos econômicos, sociais e ambientais.

Neste documento são discutidos conceitos de sistemas, conceitualização de um sistema integrado de produção agropecuária e a importância da modelagem matemática de sistemas visando ao desenvolvimento de ferramentas de apoio à tomada de decisões do produtor rural e, conseqüentemente, melhorias de eficiência desses sistemas.

Nesse contexto, este documento trata de uma contribuição para análise e síntese de conhecimentos disponíveis sobre sistemas agropecuários, seus processos, seus principais componentes e interações, mostrando como identificar as restrições para melhoria de sua performance por meio de ferramentas de resolução de problemas de avaliação de tecnologias e de gerência de fazenda.

Roberto Teixeira Alves
Chefe-Geral da Embrapa Cerrados

Sumário

Introdução	9
Modelagem de Sistemas	10
Conceitos sobre sistemas	10
Propriedade rural como um sistema	11
Gerenciamento do sistema de produção	12
Modelos matemáticos no gerenciamento de sistemas	15
Modelagem de sistemas em pesquisa agropecuária	18
Considerações Finais	21
Referências Bibliográficas	21
Abstract	24

Emprego de Modelos Matemáticos para Pesquisa e Gerenciamento de Sistemas Integrados de Lavoura e Pecuária

Rui Fonseca Veloso

Luís Gustavo Barioni

Geraldo B. Martha Júnior

Introdução

O cultivo das lavouras de grãos tem sido utilizado no estabelecimento, recuperação e renovação de pastagens no Cerrado. O plantio de arroz em consórcio com gramíneas forrageiras precedeu à maioria das pastagens estabelecidas nas décadas de 1970 e 1980 e possibilitou a expansão da pecuária nessa região. Essa prática propiciava o preparo e a correção da fertilidade do solo com reduzidos custos de implantação ([VILELA et al., 2002](#)).

Recentemente, a rotação de agricultura e pecuária tem recebido atenção devido aos benefícios tanto no que se refere ao manejo do solo (químico, físico e biológico), no controle de pragas e doenças, quanto aos aspectos econômicos com uso mais racional de insumos, máquinas e mão-de-obra, melhora no fluxo de caixa, aumento da liquidez e redução de risco ([VILELA et al., 1999](#); [2002](#); [VILELA; BARCELLOS, 1999](#); [MACEDO, 2000](#)).

A associação de culturas com produção de bovinos tem sido abordada segundo o conceito de sistema integrado. Culturas de grãos e pastagens compartilham os recursos disponíveis por meio de uma inter-relação espacial ou temporal ([VILELA; BARCELLOS, 1999](#)). Nessa abordagem, verifica-se que o estudo dos componentes isolados, embora essencial, é insuficiente para a resolução de problemas em sistemas de produção.

Os sistemas integrados exigem decisões gerenciais mais amplas e complexas que os de produção de grãos e de animais isoladamente. Assim, novas metas,

objetivos e um maior número de processos biofísicos e inter-relações devem ser considerados. A crescente demanda do mercado, da sociedade e do governo por sistemas de baixo impacto ambiental negativo, inseridos na cadeia produtiva, para o desenvolvimento econômico e social exige análises mais detalhadas devido à maior complexidade na tomada de decisão. Modelos matemáticos ganham projeção como alternativa para implementação de uma abordagem sistêmica e integração de conhecimento científico na resolução de problemas gerenciais e de pesquisa envolvendo integração agricultura-pecuária ([BARIONI et al., 2002](#)).

Modelagem de Sistemas

Vários conceitos têm sido desenvolvidos sobre as propriedades e o comportamento de sistemas, formando em conjunto a teoria de sistemas. Essa tem, em diversas escolas, justificado a necessidade de modelagem matemática para explicar ou intervir em sistemas.

Conceitos sobre sistemas

Sistemas são entidades complexas, porém, organizadas e com limites definidos, nos quais os processos e os componentes definem o comportamento e as reações a um estímulo externo ([DENT; BLACKIE, 1979](#); [SPEDDING, 1988](#); [CHECKLAND, 1989](#)).

Na natureza, os componentes e os processos se organizam de forma hierárquica ([CHECKLAND, 1989](#)). A organização de um sistema pode ser identificada pela emergência de propriedades que não são encontradas no nível hierárquico imediatamente inferior. Por exemplo, a atividade de bovinocultura de corte apresenta características emergentes como: taxa de lotação animal, margem bruta e demanda de mão-de-obra as quais não existem nos níveis inferiores de agregação, como solo, planta forrageira ou animal em pastejo.

Os estudos em um sistema envolvem as etapas de análise e de síntese. A análise deve considerar os componentes, os processos e suas relações. A síntese consiste em sua reconstrução a partir do conhecimento dos componentes contidos na análise e das relações entre eles. Essa reconstrução poderá ter como base um modelo matemático ([Figura 1](#)).

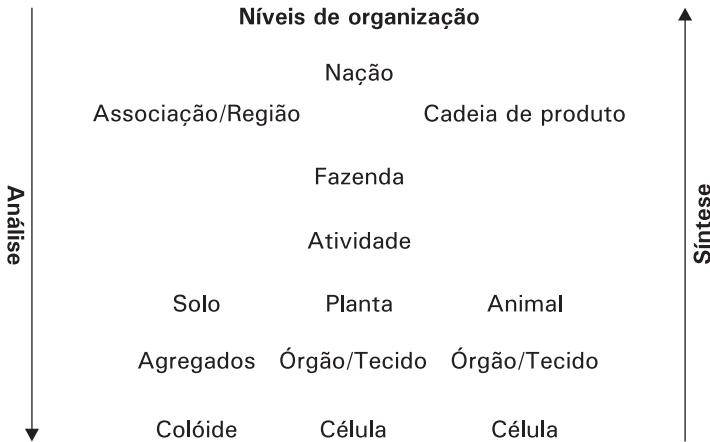


Figura 1. Exemplos de níveis de organização relativos à análise e à síntese de sistemas agropecuários.

Outra consideração fundamental da teoria de sistemas é que a reação de um componente isolado a um dado estímulo é distinta daquela apresentada quando este é um componente do sistema (DOYLE, 1990). As interações entre os componentes são os determinantes de seu comportamento (BYWATER, 1990). Um exemplo didático, no campo da química, é o de átomos e de moléculas. O oxigênio e o hidrogênio separadamente possuem propriedades e comportamentos totalmente distintos daqueles apresentados pela molécula de água composta pelos dois elementos (CHECKLAND, 1989). A maior implicação é que estudos dos componentes, embora importantes, são insuficientes para determinar o comportamento do sistema como um todo (DENT; BLACKIE, 1979).

Propriedade rural como um sistema

Não obstante sua complexidade ser inerente à produção agrícola, a propriedade rural apresenta uma organização característica. É possível, por exemplo, identificar níveis inferiores de agregação como solo, cultura anual, pastagem e animal. Cada um dos componentes apresenta propriedades e incorpora processos inter-relacionados envolvendo diferentes atividades do sistema (VELOSO et al., 1992) (Tabela 1).

Alguns processos biofísicos básicos interagem com esses componentes. Esses processos incluem, por exemplo, a absorção de água e de nutrientes pelas plantas e o retorno dos restos da cultura ou pastagem nas interfaces solo/planta e planta/animal.

Tabela 1. Propriedades de processos biofísicos agregados dos componentes biofísicos da atividade de produção animal em pastagens.

Componente	Propriedade	Processo biofísico agregado
Solo	Textura, teor de carbono, retenção de umidade, condutividade hidráulica, teor de nutrientes, relevo.	Infiltração, percolação, evaporação, lixiviação, adsorção, fixação, mineralização, imobilização, humificação, nitrificação, volatilização.
Cultura ou pastagem	Biomassa, área foliar, estágio fenológico, massa de caule, folha, grãos, resposta à temperatura, umidade do solo e nutriente, valor nutritivo.	Absorção de água, absorção e transporte de nutrientes, fotossíntese, translocação, respiração, transpiração, crescimento, senescência, fenologia e genética, partição de fotossintetizados.
Rebanho	Número e idade de animais, potencial reprodutivo, peso adulto, composição, estágio fisiológico, potencial de deposição de tecidos, potencial de produção de leite.	Ingestão, fermentação ruminal e passagem, digestão e absorção de nutrientes, metabolismo, deposição/mobilização de tecidos, produção de leite, regulação térmica, reprodução.

Cada um desses processos é influenciado pelo estado dos componentes do sistema e por fatores exógenos tais como: temperatura, pluviosidade, radiação incidente e adição de nutrientes [\(Figura 2\)](#). Conforme se vê, as propriedades rurais enquadram-se na definição de sistemas.

Gerenciamento do sistema de produção

Os fatores exógenos do sistema de produção podem ser ou não controláveis. Algumas variáveis de controle ou variáveis de decisão estão associadas a insumos e são adquiridas no mercado. Outras envolvem apenas alocação dos recursos presentes no sistema, como, por exemplo, o manejo da pastagem.

O gerenciamento do sistema consiste em intervir sobre os fatores controláveis para atingir metas e objetivos preestabelecidos [\(KAY, 1986\)](#). Ações gerenciais

devem ser desenvolvidas em relação ao todo, pois a resposta final é determinada pelas inter-relações entre componentes e processos referentes (Figura 3). Ações gerenciais que desconsideram tais inter-relações são, geralmente, inadequadas.

O sistema biofísico de produção está inserido em um ambiente mais amplo onde o clima é provavelmente um dos fatores mais importantes em relação à eficiência e ao risco de produção.

Como componente externo, o mercado encontra-se próximo e tangível ao tomador de decisões. Isso porque se constitui em fonte de recursos para a agricultura moderna e o remunerador da atividade. Igualmente é fonte de risco, devido a fatores incontroláveis como preço, taxas de câmbio e remuneração do capital.

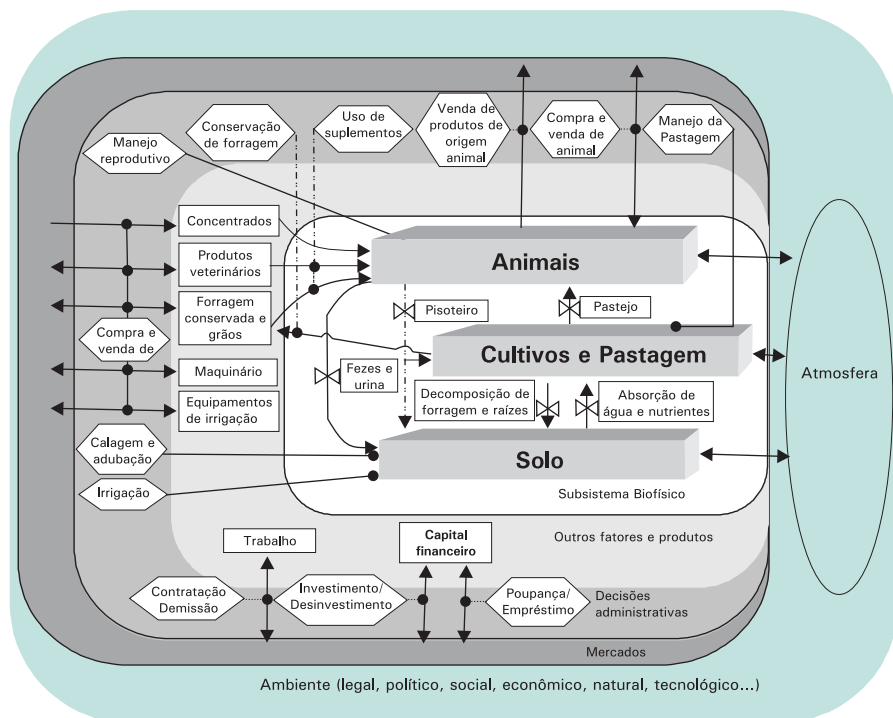


Figura 2. Diagrama das principais variáveis exógenas, componentes, processos e saídas em um sistema integrado de grãos e de pecuária.

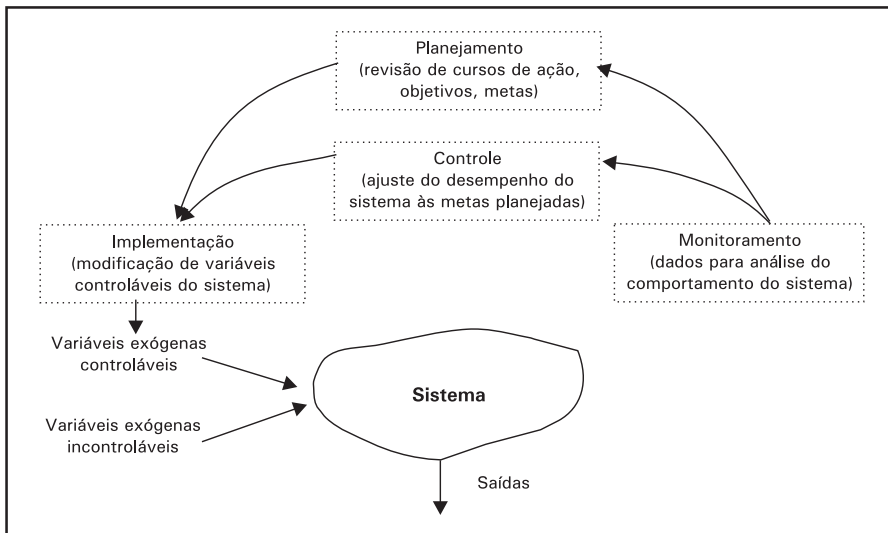


Figura 3. Diagrama simplificado das ações gerenciais básicas em um sistema de produção agropecuário.

O ambiente tecnológico, legal, político e cultural em que os sistemas de produção estão inseridos pode influenciar direta ou indiretamente (por meio de sua influência no mercado) as decisões. Didaticamente, pode-se dizer que o componente gerencial é a camada intermediária que recebe estímulos internos do sistema biofísico e dos fatores de produção e que estímulos externos estão relacionados aos mercados e ao ambiente contextual. O gerenciamento age como o carreador e o modulador dos efeitos das mudanças externas sobre o sistema ([Figura 2](#)).

No gerenciamento de sistemas complexos, como integração agricultura-pecuária, a identificação de cursos de ação que otimizem a intervenção em fatores de controle e a alocação de recursos para atingir objetivos e metas, num dado ambiente, nem sempre constitui tarefa trivial. O problema de decisão surge em decorrência dos riscos e das incertezas sobre os resultados das alternativas existentes ([BLACKIE; DENT, 1979](#)). A certeza (informação completa) sobre o futuro é impossível de ser obtida no contexto administrativo e, portanto, qualquer decisão envolve risco.

O acesso à informação pode evidenciar cursos de ação promissores e aumentar a eficiência na tomada de decisão ([ANDERSON et al., 1977](#); [TURBAN, 1988](#)). Entretanto, em sistemas, os processos ocorrem simultaneamente e a ação do gerente sobre uma variável de controle pode desencadear mudanças nas demais.

A previsão das respostas de ações gerenciais envolve análises complexas em que são necessários: o processamento de apreciável quantidade de dados e a identificação de cursos de ação que apresentem maior probabilidade de sucesso ([TURBAN, 1995](#)).

Modelos matemáticos no gerenciamento de sistemas

Modelos matemáticos são formas eficientes de processar dados monitorados no sistema, em informações pertinentes para tomada de decisões. Essa tem sido uma das principais ferramentas para o apoio à tomada de decisões ([BYWATER, 1990](#)) pela capacidade que esses modelos têm de prever resultados de diferentes alternativas de manejo e evidenciar estratégias otimizantes ([FARRELL et al., 1992](#)).

A modelagem é uma das habilidades fundamentais da mente humana e corresponde a simplificações intencionais da realidade ([ROTHEMBERG et al., 1989](#)). Modelos podem ser formalizados de diversas maneiras: representações diagramáticas, gráficos, mapas, réplicas em escala e modelos matemáticos são algumas delas ([SHANNON, 1975](#)). Entretanto, essa formalização apresenta vantagens, como: permitir a comunicação de idéias de forma organizada, visualizar e discutir as peculiaridades e o comportamento de sistemas, avaliar sistemas reais e tratar problemas matemáticos utilizando a velocidade de processamento de computadores.

Enquanto um sistema é caracterizado por sua complexidade organizada, um modelo se distingue pela simplificação da realidade com o objetivo de extrair as características relevantes para a compreensão de seu comportamento ou para estabelecer soluções de problemas pertinentes ([CHECKLAND, 1989](#)). Modelos matemáticos representam a realidade por meio de uma ou mais equações e algoritmos ([THORNLEY; FRANCE, 1984](#)). Dessa forma, a representação matemática produz relações quantitativas entre um conjunto de variáveis de entrada e um conjunto de variáveis de saída, ou seja, uma descrição quantitativa da reação do sistema a determinadas condições.

Em sistemas de integração lavoura-pecuária, modelos matemáticos dispõem de potencial para considerar mais do que apenas os processos e o gerenciamento da rotação de culturas de grãos e pastagens. Eles são capazes de considerar questões como épocas de demanda por terra e forragem no sistema, fluxos de caixa, otimização de escalonamento das épocas de semeadura e pastejo, taxas de lotação animal, épocas de compra e venda de animais, utilização de grãos e resíduos culturais aos animais, entre outros. Permitem ainda que sejam aborda-

das com uma visão sistêmica, baseadas em objetivos abrangentes, no âmbito da atividade pecuária ou da fazenda ([CEZAR, 1980](#); [BARIONI et al., 1999](#)).

Decisões na integração lavoura-pecuária devem considerar cinco aspectos básicos: (1) a pastagem compete com outros alimentos cultivados na propriedade ou adquiridos no mercado para o fim de alimentação animal; (2) a pastagem apresenta valor econômico e competitividades variáveis em relação a outras opções para alimentação animal e alternativas de uso do solo em que a utilização sazonal no cultivo de grãos, a suplementação e o confinamento devem ser considerados; (3) culturas agrícolas e pastagens competem pelo uso do solo e outros recursos como capital, trabalho, maquinário, água; (4) culturas anuais podem se beneficiar da integração para interromper ciclos de doenças, pragas, melhorar propriedades do solo no racional para o uso de insumos, máquinas e mão-de-obra, melhorar o fluxo de caixa e liquidez e reduzir risco; (5) pastagens podem se beneficiar da cultura anual pelo aumento e uniformização da fertilidade do solo e controle de pragas, ectoparasitos e ervas daninhas.

Para otimizar o conjunto de atividades, em uma propriedade rural, é necessário avaliar o respectivo potencial produtivo e econômico com os fatores de produção disponíveis. O manejo de cada atividade deve ser otimizado, simultaneamente, a sua confrontação com as demais, para utilização dos recursos produtivos em uma determinada condição.

O uso de técnicas de otimização numérica para modelos não lineares e descontínuos, em conjunto com os obtidos no sistema de produção, tem possibilitado estabelecer valores para as variáveis controláveis que resultem em um ótimo global. Ao mesmo tempo, consideram-se variações na oferta ambiental, preços de insumos e produtos, restrições de capital, épocas de compra e venda de animais, uso de suplementos e fertilizantes. A determinação de estratégias otimizadas de pastejo requer:

- (a) monitoramento do sistema e obtenção de dados confiáveis para alimentar o modelo;
- (b) aplicação de modelo matemático capaz de gerar aproximações ao desempenho do sistema de produção real em relação às variáveis de decisão e ao ambiente, com dados simples e acurados; e
- (c) algoritmo capaz de encontrar soluções aproximadas para o ótimo global do sistema na função de interesse.

[Barioni et al. \(1999\)](#) empregaram um modelo matemático integrado a método numérico, para otimização da produção de ovinos, em pastagens rotacionadas.

Animais e piquetes foram representados individualmente, o que permitiu estabelecer diferentes níveis de intensidade e intervalo de pastejo.

O modelo gerou boas aproximações em comparações com três conjuntos de dados experimentais testados durante sua validação. Um algoritmo genético, utilizado na otimização de respostas em modelos não lineares e descontínuos foi implementado e acoplado ao modelo. Sua aplicação possibilitou obter a taxa ótima de lotação ao longo do ano e as seqüências mensais de intensidade de pastejo, momento de aplicação e dose de nitrogênio, época e quantidade de suplementação alimentar e peso de venda dos ovinos. Todas as decisões foram consideradas simultaneamente para maximizar a margem bruta da atividade. O resultado da otimização do sistema é apresentado na Tabela 2.

A seqüência cronológica de controle para disponibilidade de forragem e o estado da pastagem e dos animais sugeridos pelo modelo foram consistentes com as recomendações gerais fornecidas aos produtores e com os níveis de desempenho. A técnica permite estabelecer metas estratégicas para o controle do manejo da pastagem e dos animais no planejamento da atividade. Embora [Barioni et al. \(2002\)](#) tenham empregado a técnica para sistemas de produção exclusivamente de pecuária, os mesmos princípios se aplicam à otimização de sistemas de integração entre a cultura de grão e a pecuária.

Tabela 2. Otimização do manejo da pastagem, adubação, suplementação e venda de animais por modelo dinâmico e algoritmo genético.

Mês	Nitrogênio aplicado (kg N/ha)	Suplemento fornecido (kg MS)	Peso de venda (kg)	Disponibilidade diária de forragem (kg MS/uo /dia)	Disponibilidade em relação ao potencial de ingestão	Massa pós- pastejo (kg MS /ha)	Massa média de forragem (kg MS/ha)
Março	0.0	0	-	2.67	2.15	1042	1461
Abril	12.5	0	-	2.17	2.00	994	1433
Mai	0.0	0	-	1.56	1.10	1130	1579
Junho	0.0	0	-	3.11	2.75	1155	1470
Julho	0.0	0	-	2.27	2.30	887	1204
Agosto	50.0	0	-	1.60	1.25	914	1291
Setembro	0.0	0	-	2.78	2.00	1303	1753
Outubro	0.0	0	35	3.53	2.00	1712	2127
Novembro	0.0	0	35	5.00	3.50	1881	2259
Dezembro	0.0	0	37	3.46	3.00	1664	2167
Janeiro	0.0	0	33	2.28	1.55	1488	1986
Fevereiro	0.0	0	-	3.41	2.75	1334	1708

Fonte: [Barioni et al. \(1999\)](#).

Modelagem de sistemas em pesquisa agropecuária

O grande potencial da modelagem matemática na pesquisa agropecuária, no apoio à pesquisa e à tomada de decisões, em sistemas agrícolas, depende, para sua realização, do conhecimento dos fatores que o compõe.

A modelagem assume relações mecanicistas entre os componentes e os processos do sistema, admitindo que fenômenos observados no sistema são causados por processos em níveis hierarquizados de organização. Por eles pode-se demonstrar, dadas as relações conhecidas em determinado nível de agregação, os fenômenos que emergem no comportamento do sistema. Os modelos têm papel complementar à experimentação analítica, reconstruindo o sistema com base no conhecimento de seus componentes e processos básicos.

A evolução da pesquisa experimental tradicional para a compreensão e quantificação dos processos biofísicos no sistema de produção é, portanto, condição necessária para o avanço da modelagem matemática.

A busca do conhecimento leva cientistas a determinar causas e efeitos dos fenômenos. Para tanto, é necessário o estudo de processos desenvolvidos em níveis mais baixos de organização. Isso com os problemas reduzidos a experimentos, nos quais diversos processos e respostas sejam isolados ([WRIGHT, 1973](#)). A pesquisa experimental, adota abordagem reducionista na qual subsistemas, componentes e processos que compõem o sistema são estudados, separadamente, com grande eficiência analítica ([Figura 4](#)).

A pesquisa experimental pode ser utilizada na síntese de sistemas em que o conhecimento de componentes e processos pode ser usado para o desenvolvimento de hipóteses sobre mudanças em variáveis que resultam em sistemas mais eficientes ([WRIGHT, 1973](#)). Tais mudanças podem ser impostas ao sistema real e seus efeitos quantificados. Entretanto, esse é um trabalho de tentativa e erro na identificação de sistemas otimizados, além de ser intensivo em termos de tempo e trabalho. Assim, a experimentação tradicional tem se mostrado incomparável no papel analítico da pesquisa em sistemas, mas é ineficiente na tarefa de integrar a informação gerada no planejamento de sistemas de produção com alta eficiência biológica e econômica ([Figura 5](#)).

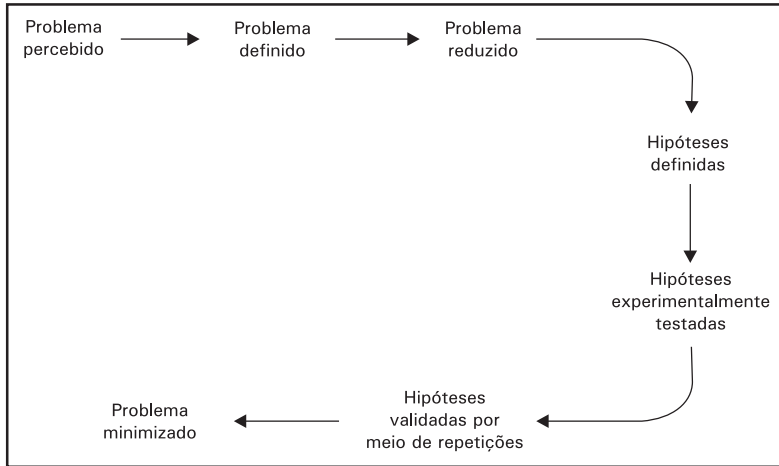


Figura 4. Fluxo de resolução de um problema com abordagem reducionista.

Fonte: Adaptado de [Janssen e Goldsworthy \(1996\)](#).

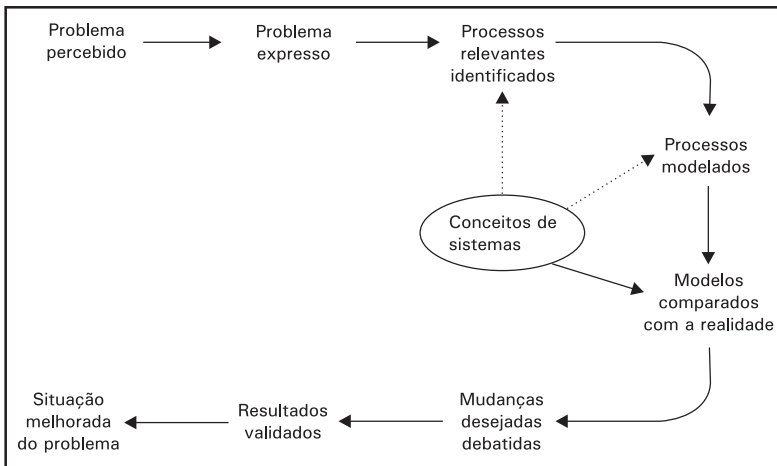


Figura 5. Fluxo de resolução de problemas com abordagens sistêmicas na pesquisa científicas e tecnológicas.

Fonte: Adaptado de [Janssen e Goldsworthy \(1996\)](#).

A experimentação é útil para aferir a validade de um modelo da simulação de processos biofísicos. Essa abordagem visa verificar a adequação de modelos matemáticos à prática diária de manejo da fazenda pela comparação entre simulação e realidade. Ainda que o objetivo desses esforços seja o de construir

modelos suficientemente acurados, discordâncias entre seus resultados e um sistema por ele representado, podem ser de grande valor. Isso porque a inexatidão de um modelo pode salientar pontos nos quais o conhecimento é limitado, identificando novas prioridades de pesquisa.

Nesse contexto, seria de se esperar significativa sinergia entre a pesquisa analítica tradicional e a modelagem matemática. Entretanto, a integração entre modelagem e pesquisa experimental ainda tem deixado a desejar. Embora a pesquisa experimental gere dados para a construção de modelos matemáticos, estes são, raras vezes, prontamente utilizados. A experimentação desvinculada de projetos de modelagem matemática raramente é estabelecida em condições nas quais os de controle da variabilidade não modifica o ambiente. Essa é a tendência de uso na quantificação dos processos monitorados em relação ao sistema de modo mais amplo. Experimentos isolados de programas de modelagem dificilmente possuem descrição quantitativa acurada de todos os fatores necessários para a construção ou avaliação de um modelo. Isso ocorre por que o enfoque da experimentação é o de demonstrar o fenômeno ou determinar os fatores que o influenciam. Dessa forma, experimentos concentram-se em um número relativamente pequeno de hipóteses que são testadas por meio do diagnóstico de diferenças entre tratamentos ou de tendências observadas entre níveis de determinado fator.

Conceitualmente, o ideal seria que a modelagem fosse uma das primeiras atividades no desenvolvimento de programas de pesquisa, de forma a nortear a realização de ensaios e experimentos ([JANSSEN; GOLDSWORTHY, 1996](#)).

Experimentos com potencial para gerar parâmetros ou validar modelos devem ser elaborados por equipes envolvidas em ações de desenvolvimento e de aperfeiçoamento de modelos. A formação de grupos de pesquisa em sistemas deve envolver pesquisadores com sólido treinamento científico e modeladores capazes de transformar os conceitos científicos em um modelo implementado e passível de execução por todos os membros do grupo.

Deve-se ressaltar que a modelagem exige grande aplicação no desenvolvimento de análise e documentação do sistema, implementação de programas computacionais e testes com grande esforço de grupos de pesquisa ([JANSSEN; GOLDSWORTHY, 1996](#)).

Considerações Finais

A crescente informatização que chega ao meio rural tem criado grandes oportunidades para armazenar e veicular informação e conhecimento que podem auxiliar na tomada de decisões.

Uma das técnicas mais usadas na pesquisa de sistemas e com maior interface na experimentação tradicional é a modelagem matemática. Essa técnica pode contribuir para o desenvolvimento de instrumentos com propriedades emergentes da modelagem, uso e ampliação da abrangência espaço-temporal de resultados de pesquisa, bem como apoiar a tomada de decisão em unidades de produção, microbacias e regiões, constituindo efetivo meio para transferência de tecnologia agropecuária.

O desenvolvimento de modelos para a integração entre agricultura e pecuária é ainda incipiente. Para que esforços de pesquisa com visão sistêmica resultem em soluções versáteis e confiáveis, faz-se necessário estreita colaboração entre especialistas das diferentes áreas de conhecimento, tanto em produção agropecuária quanto em matemática aplicada e computação científica.

Referências Bibliográficas

ANDERSON, J. R.; DILLON, J. L.; HARDAKER, R. **Agricultural decision analysis**. Ames: Iowa State University Press, 1977.

BARIONI, L. G.; DAKE, C. K. G.; PARKER, W. J. Optimizing rotational grazing in sheep management systems. **Environment International**, Oxford, v. 25, p. 819-825, 1999.

BARIONI, L. G.; VELOSO, R. F.; MARTHA JÚNIOR, G. B. Modelos de tomada de decisão para produtores de ovinos e bovinos de corte. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO ANIMAL: Modelos para a tomada de decisões na produção de bovinos e ovinos. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2002. p. 5-58.

BLACKIE, M. J.; DENT, J. B. **Information systems for agriculture**. London: Applied Science Publishers, 1979. 176 p.

BYWATER, A. C. Exploitation of the systems approach in technical design of agricultural enterprises. In: JONES, J. G. W.; STREET, P. R. (Ed.). **Systems**

theory applied to agriculture and food chain. London: Elsevier Applied Sciences, 1990. p. 61-88.

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 Brasil Region.** 1980. 189 p. Thesis (Masters) - University of Canterbury, Cristchurch.

CHECKLAND, P. **Systems thinking, systems practice.** Chinchester: John Wiley & Sons, 1989. 330 p.

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

DOYLE, C. J. Application of systems theory to farm planning and control: modeling resource allocation. In: JONES, J. G. W.; STREET, P. R. (Ed.). **Systems theory applied to agriculture and food chain.** London: Elsevier Applied Sciences, 1990 p. 89-112.

FARRELL, R. A.; PEARSON, C. J.; CAMPBELL, L. C. Relational databases for the design and construction of maintainable decision support systems in agriculture. **Agricultural Systems**, Barking, v. 38, p. 411-423, 1992.

JANSSEN, W.; GOLDSWORTHY, P. Multidisciplinary Research for Natural Resource management: conceptual and practical implications. **Agricultural Systems**, Barking, v. 51, p. 259-279, 1996.

KAY, R. D. **Farm management: planning control and implementation.** New York: McGraw-Hill, 1986.

MACEDO, M. C. M. Sistemas de produção animal em pasto nas savanas tropicais da América: limitações à sustentabilidade. In: REUNIÓN LATINOAMERICANA DE PRODUCCIÓN ANIMAL, 16; CONGRESO URUGUAYO DE PRODUCCIÓN ANIMAL, 3., Montevideo, 2000. **Anales...** Montevideo: Alpa, 2000. CD-ROM.

ROTHEMBERG, J. The nature of modelling. In: WIDMAN, L. E.; LOPARO, K. O.; NIELSEN, N. R. (Ed.). **Artificial intelligence, simulation and modelling.** New York: John Wiley and Sons, 1989. p. 75-92.

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

SPEDDING, C. R. W. **An introduction to agricultural systems.** London: Elsevier Applied Science, 1988.

THORNLEY, J. H. M.; FRANCE, J. Role of modeling in animal production research and extension work. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON MODELLING RUMINANT DIGESTION AND METABOLISM, 2., 1984, Davis. **Proceedings...** Davis: University of California, 1984. p. 4-9.

TURBAN, E. **Decision support systems**: managerial perspectives. New York: Macmillan Publishing Company, 1988.

TURBAN, E. **Decision support and expert systems**. New Jersey: Prentice Hall, 1995.

VILELA, L.; BARCELLOS, A. O. **Intensificação da atividade pecuária leiteira em decorrência da integração agricultura-pecuária**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 1999. 22 p. (EMBRAPA Cerrados. Documentos, n. 6).

VILELA, L.; BARCELLOS, A. O.; SOUSA, D. M. G. **Benefícios da integração lavoura-pecuária**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2002. 21 p. (EMBRAPA Cerrados. Documentos, 42).

VILELA, L.; MIRANDA, J. C. C.; SHARMA, R. D.; AYARZA, M. A. **Integração lavoura-pecuária**: atividades desenvolvidas pela EMBRAPA Cerrados. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 1999. 31 p. (EMBRAPA Cerrados. Documentos, 9).

WRIGHT, A. A system research approach to agricultural research and the study of grazing systems. In: AGRICULTURAL SYSTEMS RESEARCH CONFERENCE, 1973, Palmerston North. **Proceedings...** Palmerton North: Massey University, 1973. p. 5-11.

Mathematical Models for Research and Management of Integrated Crop-beef Production

Abstract – *Annual crops have been frequently used for the establishment and renewing of pastures in the Brazilian Cerrado. However it was only recently that cropping and cattle production have been treated as integrated systems' components. In this context, this publication shows how system concepts and its implementation through mathematical modeling can be used in the management of integrated crop-livestock production systems. Further, it is concluded that the increasing access to computers is creating great opportunities to store and spread out information to better support decision-making. It is concluded, however, that the development of computer models for integrated systems is still incipient and that closer collaboration among researchers of different areas of expertise, mathematicians and software developers is necessary for accelerating and improving the quality decision-support tools for farmers.*

Index terms: cattle, pastures, annual crops, decision support.