

## O USO DE SIMULAÇÃO NA ANÁLISE DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO<sup>1/</sup>

Sonia Coelho de Alvarenga<sup>2/</sup>  
Evonir Batista de Oliveira<sup>2/</sup>

### 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o conceito de análise de sistemas vem-se difundindo entre os pesquisadores de todas as áreas de conhecimento.

Inicialmente, a análise de sistemas era vista como um arcabouço para o estudo de sistemas complexos, que envolvem várias disciplinas. Essa função é muito importante, pois a maioria dos sistemas não pode ser analisada nos limites de uma única disciplina. O estudo de partes isoladas não é adequado para a compreensão do sistema como um todo, dada a inter-relação de suas partes.

Segundo DENT e ANDERSON (4), um sistema implica um complexo de fatores inter-relacionados, o que significa que há interação entre esses fatores e que se deve erguer uma fronteira conceptual à volta do complexo como um limite à sua autonomia organizacional.

A maioria dos sistemas depende do tempo e é influenciada por elementos incontroláveis, de modo que sua tendência futura não pode ser prevista com certeza.

Tais características tornam difíceis o estudo e a compreensão de sistemas; contudo, o uso de métodos de simulação permite uma visão melhor do problema.

A simulação está se tornando uma ferramenta muito usada na indústria, mas, até o presente, tem sido pouco empregada na análise de sistemas de produção agrícola.

A simulação e as técnicas matemáticas convencionais são duas aproximações gerais ao estudo e uso de modelos.

Ao usar técnicas matemáticas convencionais para solucionar um modelo, o objetivo é determinar, dedutivamente e com generalidade, a maneira pela qual, implicitamente, ele relaciona variáveis endógenas às condições iniciais, aos parâmetros e à evolução das variáveis exógenas.

As técnicas de simulação podem também ser usadas para solucionar um mo-

<sup>1/</sup> Aceito para publicação em 1.º-04-1987.

<sup>2/</sup> Departamento de Economia Rural da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

dele, mas a solução de um modelo de simulação é altamente específica. Ao aplicar o modelo, as condições iniciais, os parâmetros e as variáveis exógenas são completamente especificados, e a solução é um conjunto único que representa a evolução temporal das variáveis endógenas.

Diversas vantagens de modelos de simulação têm sido citadas na literatura econômica. A vantagem mais óbvia é que os modelos de simulação podem ser muito mais complexos e realísticos que os modelos que devem ser solucionados por técnicas matemáticas convencionais (2). Outra é que eles permitem a construção de teorias que levem em consideração os aspectos qualitativos da tomada de decisão.

A maioria dos problemas agrícolas e econômicos é temporal e dinâmica, no sentido de que estão em constante mudança e evolução. As mudanças que ocorrem no tempo presente afetam a forma pela qual o sistema se desenvolverá no futuro.

As finanças de uma fazenda são dinâmicas nesse sentido, e a probabilidade futura é afetada pelos investimentos presentes, pelo clima ou pela incidência de doenças.

Esse exemplo demonstra a verdadeira natureza «temporal» dos sistemas agrícolas, com sua tendência continuamente afetada pelos desenvolvidos anteriores e pelo ambiente que os contém.

Contudo, mesmo em sistema simples, a introdução do elemento tempo torna qualquer investigação extremamente difícil e a inter-relação entre os diferentes fatores muito complicada.

A maioria das técnicas de planejamento da empresa, como a programação linear, desconsidera a época dos eventos e pressupõe que as decisões estão sendo tomadas em um ambiente que não está mudando. Em certas situações, essa pressuposição é justificada, mas, muito freqüentemente, o aspecto mais interessante da tendência de um sistema é precisamente sua dependência do fator tempo, a maneira pela qual seu crescimento e desenvolvimento são afetados por mudanças em sua estrutura de ambiente.

Na investigação de sistemas, os modelos podem preencher uma diversidade de funções; porém, pode-se distinguir claramente entre aplicações descritivas e aplicações normativas. Quando se procura um fim descritivo, o modelo atua como um marco para a identificação dos componentes do sistema e suas relações e para a determinação das formas funcionais satisfatórias dessas relações. Os sistemas podem ser tão complexos que a compreensão total da sua estrutura e a sua operação ultrapassam a capacidade de um só investigador. Nessas circunstâncias, a construção de um modelo fornece o meio para reduzir o sistema a proporções manejáveis. Por outro lado, a necessidade de tomar decisões sobre a existência e importância relativa dos seus componentes e suas relações contribui para a compilação das informações existentes sobre o sistema e para a sua avaliação.

Além disso, é um meio de concentrar a atenção nos aspectos do sistema cuja compreensão está limitada pela falta de conhecimentos. O modelo pode também servir como uma ajuda experimental na investigação de hipótese sobre as relações do sistema.

O uso descritivo do modelo nada mais é que uma ferramenta de análise, cujo objetivo é obter uma melhor compreensão do sistema.

Os modelos são usados normativamente com o intuito de resolver problemas. O problema pode ser a dedução de regras de decisão que servirão de auxílio para tomar uma decisão ótima ou pode estar relacionado tanto com o controle do sistema como com seu desenho. Portanto, um modelo normativo requer uma função-

objetivo, para avaliar diferentes regras de decisão. Para a maioria dos problemas de tomada de decisão, a função-objetivo estará vinculada aos benefícios ou utilidades.

Os modelos descritivos não procuram primordialmente solucionar problemas e, portanto, não incluem necessariamente uma função-objetivo. Apesar disso, na simulação, os modelos descritivos são empregados para estudar os problemas de tomada de decisão. O modelo limita-se a descrever a tendência do sistema de acordo com um conjunto de pressuposições dadas, porém, por meio da experimentação com o modelo, é possível chegar a soluções aproximadas dos problemas.

Dada a natureza da agricultura e sua dependência biológica e meteorológica, a modelação utilizada pelos economistas agrícolas tende a ser tipo simbólico-matemática, e os modelos de construção adequada e relevante geralmente têm sido da variedade dinâmica e estocástica (3).

Modelos de simulação para o presente e, parece, para o futuro são os tipos mais adequados e provavelmente potencialmente mais úteis nessa importante categoria.

Os limites da compreensão humana, necessariamente, impedem a completa especificação de todo o mecanismo de um sistema. Em qualquer estudo, esses limites serão influenciados, à parte os objetivos gerais, pelas limitações estacionais, conceptuais e educacionais do pesquisador envolvido, bem como pelas limitações impostas pelo tempo disponível, recursos, material de referência e ajuda externa.

Quando é estruturado imperfeitamente — e em algum nível de detalhe isso se aplica a todos os modelos — um modelo deve tornar-se probabilístico para assegurar a precisão do entendimento.

Os modelos de simulação, que são os mais flexíveis e menos limitados dos modelos simbólicos, podem incluir estocasticidade e podem tornar-se mais adequados que qualquer outro tipo. Ao desenhar um modelo, o problema deve ser claramente formulado, e definidos os seus objetivos. Como não há um marco formal para os problemas de simulação, o problema original deve ser especificado com certo grau de detalhe, para que o modelo possa preencher sua finalidade.

A fim de expressar um sistema como um conjunto de relações matemáticas, é necessário definir, completamente, a maneira como suas partes individuais interagem.

A seleção inicial de componentes e suas relações deve vincular-se com a especificação do problema, e uma forma de fazer isto é empregar modelos diagramáticos. O ponto de partida desse processo, segundo WRIGHT (12), é um modelo simples de insumos e produtos que pode ser ampliado através da identificação sucessiva de:

- i) subsistemas maiores;
- ii) componentes relevantes e relação dentro de cada subsistema;
- iii) conexões entre os subsistemas;
- iv) variáveis ambientes importantes;
- v) pontos de controle.

O modelo diagramático resultante fornece as bases para que se identifiquem o tipo e a forma do dado necessário.

O problema principal em conduzir a análise do sistema é a definição dos limites do modelo, isto é, ter confiança em que todos os fatores importantes foram incluídos e que a tendência do modelo será uma representação adequada da realidade. Uma falha em identificar um fator significante pode mudar radicalmente o modo como o modelo se «comporta» através do tempo e invalidar os resultados.

Assegurado que o modelo representa o fenômeno que se quer estudar, pode-se proceder à sua experimentação formal.

Em resumo, a simulação de sistema oferece um meio de estudar problemas de decisão de sistemas agrícolas, em relação à complexidade e incerteza da vida real. Para WRIGHT (12), a «simulação é ainda uma técnica relativamente nova em relação ao estudo de sistema agrícolas e com alguns problemas metodológicos ainda não resolvidos».

A simulação, porém, tem sido empregada na análise de sistemas, pois é uma ferramenta flexível, que pode ser aplicada a grande variedade de problemas para investigar sua tendência através do tempo.

O presente trabalho visa avaliar o uso de simulação na análise de sistemas de produção de pecuária de corte.

## 2. METODOLOGIA

Para avaliar sistemas de produção de pecuária bovina, construiu-se um modelo de simulação, baseado no de POWERS (8) e REEVES *et alii* (9).

Uma propriedade dedicada à pecuária de corte tem um rebanho constituído de vacas e touros para reprodução, novilhas, novilhos e bezerros para: (a) produzir carne, mediante o abate de animais, e (b) produzir animais, para reposição e, ou, venda.

Os touros e as vacas são os elementos produtivos no rebanho e geram os bezerros e bezerras. Os bezerros são: (a) vendidos após o desmame, (b) conservados, engordados e vendidos para acabamento ou (c) conservados, engordados e vendidos para abate. As bezerras permanecem para a reposição de vacas descartadas em razão da idade, redução da fertilidade, doença, etc. Quando novilhas, podem ser descartadas por má qualidade ou por não serem necessárias para a reposição do plantel de reprodução.

O modelo desenvolvido para representar uma propriedade dedicada à pecuária bovina compreende três fases distintas: um estado inicial, um estado de transição e um estado final.

O estado inicial deverá refletir a situação presente dos pecuaristas das regiões compreendidas pelo estudo.

Conceptualmente:

$V(I, J, K, L, t = 0)$

representando o estado inicial,

em que

$I$  = tamanho e composição do rebanho;

$J$  = recursos físicos disponíveis na propriedade, como pastos, estradas, benfeitorias, etc.;

$K$  = níveis dos coeficientes técnicos:

- taxa de natalidade; taxa de mortalidade; taxa de descarte de animais; proporção de novilhas, nos vários grupos de idade, aptas a entrar no rebanho de reprodução; capacidade de suporte da pastagem;

$L$  = preços de fatores e de produtos;

$t$  = tempo, em anos.

O período de transição corresponde à mudança entre os estados inicial e final. A duração do período de transição é de  $T$  anos e  $\boxed{M}$  é um conjunto de regras de transformação, de um período a outro.

Assim, o desenvolvimento total da propriedade pode ser representado por

$$V(I, J, K, L, t = 0) \rightarrow \boxed{M} \rightarrow V(I, J, K, L, t = t + 1)$$

Essa equação descreve, de modo genérico, a mudança global que se opera em um rebanho ao longo do tempo, dadas certas condições iniciais.

O elemento I — tamanho e composição do rebanho — é a parte principal do modelo ao qual se aplica a simulação. Os demais elementos — J, K, L — são os meios utilizados para induzir mudanças no rebanho.

Duas mudanças básicas podem ser introduzidas no processo de desenvolvimento de uma propriedade:

a) aumento dos recursos físicos da propriedade e, assim, da sua capacidade de suporte e

b) melhoria dos coeficientes técnicos.

O aumento dos recursos físicos possibilita o aumento do tamanho do rebanho, e a melhoria dos coeficientes técnicos induz mudanças na composição do rebanho (Figura 1).

O modelo de simulação — que corresponde ao elemento I da equação de transformação da propriedade — no presente trabalho, foi desenvolvido para uma propriedade especializada em cria. A atividade de cria compreende a manutenção do plantel de reprodução e a criação de bezerros até o momento da desmama.

O processo básico de mudança em um rebanho é simulado mediante equações específicas.

#### a) Equação para Vacas e Touros

O aumento anual no rebanho de reprodução durante o período de desenvolvimento depende: (i) do seu tamanho inicial; (ii) do número máximo de animais permitido nesta categoria, em cada ano; (iii) da política de compra de animais; e (iv) do valor anual dos coeficientes técnicos (idade em que as novilhas produzidas na fazenda entram no rebanho de reprodução, taxas de descarte, capacidade de suporte, etc.).

O rebanho máximo é o número de animais que exaure a capacidade de suporte das pastagens no ano considerado e é compatível com a composição relativa do sistema.

Para ser consistente com a simulação anual, a projeção do rebanho «máximo» refere-se ao número de animais em cada categoria, no fim do ano, líquido de extrações. É importante notar que a comparação do inventário de animais, no fim do ano, com o rebanho máximo, determinado com base na capacidade de suporte para o ano considerado, pode levar a um excesso de carga nas pastagens durante o período e ao exagero da habilidade produtiva do rebanho para dado conjunto de coeficientes técnicos e capacidade de suporte. A equação (1) indica as quatro operações que afetam o tamanho do rebanho de reprodução. Duas são extrações (morte e descarte) e duas são adições (transferências internas e compras).

$$\text{Vacas} = \text{Vacas}_{(t+1)} - \text{Descartes}_{(t)} + \text{Transferência}_{(t+1)} \quad \text{Novilhas} = \text{Novilhas}_{(t+1)} - \text{Mortes}_{(t+1)} + \text{Compras}_{(t+1)} \quad (1)$$

Para facilitar a programação, (t) é o período anterior e (t+1) é o período atual. Há somente três processos para touros (morte, descarte e compras), como

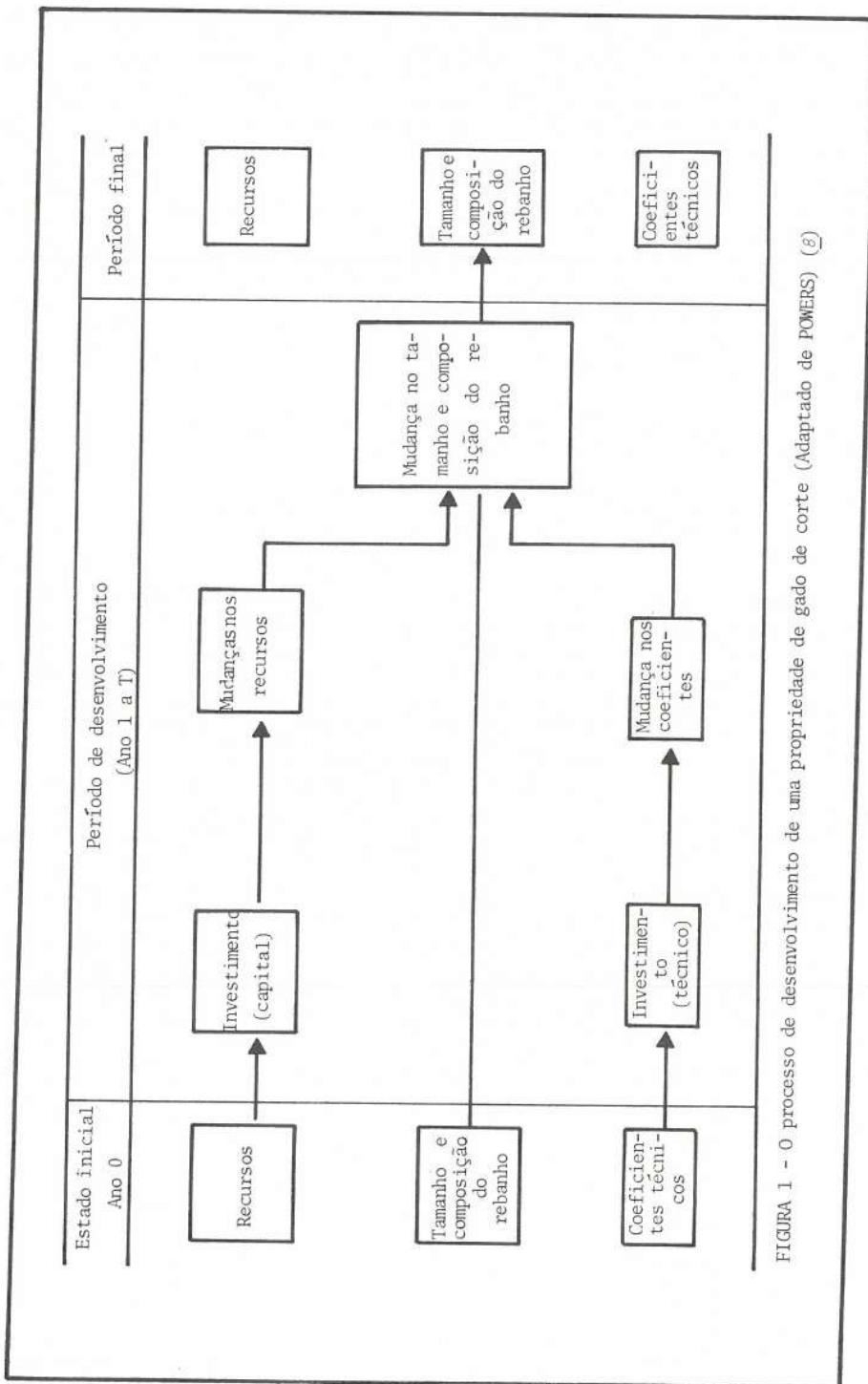


FIGURA 1 - O processo de desenvolvimento de uma propriedade de gado de corte (Adaptado de POWERS) (3)

mostra a equação (2), porque o modelo pressupõe que os reprodutores sejam comprados:

$$\text{Touros} = \text{Touros} - \text{Vendas} - \text{Mortes} + \text{Compras} \quad (2)$$

$$(t+1) \quad (t) \quad (t+1) \quad (t+1) \quad (t+1)$$

b) *Equação para Bezerros e Bezerros*

O rebanho produz machos e fêmeas, cujo nascimento se concentra no princípio do período, de forma que, no início do período seguinte, passam à categoria de novilhos e novilhas com um ano de idade.

A equação (3) mostra as operações com bezerros. Para separar por sexo, é feita uma ponderação pela proporção respectiva, que, neste estudo, foi considerada como 0,50:

$$\text{Bezerros} = \text{Vacas} \times \text{Taxa Natalidade} - \text{Mortes} + \text{Compras} \quad (3)$$

$$(t+1) \quad (t) \quad (t+1) \quad (t+1) \quad (t+1)$$

c) *Equações para Novilhos e Novilhas*

A equação (4) considera novilhas como um único grupo, contudo o modelo divide as novilhas em três grupos de idade: (a) novilhas de 1-2 anos, (b) novilhas de 2-3 anos e (c) novilhas acima de 3 anos. Há duas possíveis transferências de novilhas em cada grupo de idade: (a) transferência para o grupo de idade imediatamente superior ou (b) transferência para o rebanho de reprodução.

$$\text{Novilhas} = \text{Novilhas} - \text{Vendas} - \% \text{ transferidas} - \text{Mortes} + \text{Compras} \quad (4)$$

$$(t+1) \quad (t) \quad (t+1) \quad (t+1) \quad (t+1) \quad (t+1)$$

Na Figura 2 descreve-se a evolução das fêmeas desmamadas no ano (t), pressupondo-se que as novilhas excedentes (caso haja) sejam vendidas no fim do período correspondente.

Regras mais simples (5) são aplicadas aos novilhos, pois servem somente a uma finalidade: venda. Como não se permite transferência para rebanho de reprodução, a única transferência interna é de uma categoria de idade para outra.

$$\text{Novilhos} = \text{Novilhos} - \text{Vendas} - \text{Mortes} + \text{Compras} \quad (5)$$

$$(t+1) \quad (t) \quad (t+1) \quad (t+1) \quad (t+1)$$

Os novilhos foram divididos em quatro grupos de idade: (a) 1-2 anos, (b) 2-3 anos, (c) 3-4 anos e (d) acima de 4 anos. Embora tenha sido aplicado à atividade de cria, o modelo pode ser utilizado, no presente caso, para simular outras fases da pecuária, daí se considerar a existência de machos com mais de 1 ano.

d) *Medida de Eficiência Econômica*

*Taxa Interna de Retorno*

A taxa interna de retorno vai medir a rentabilidade do capital empregado na

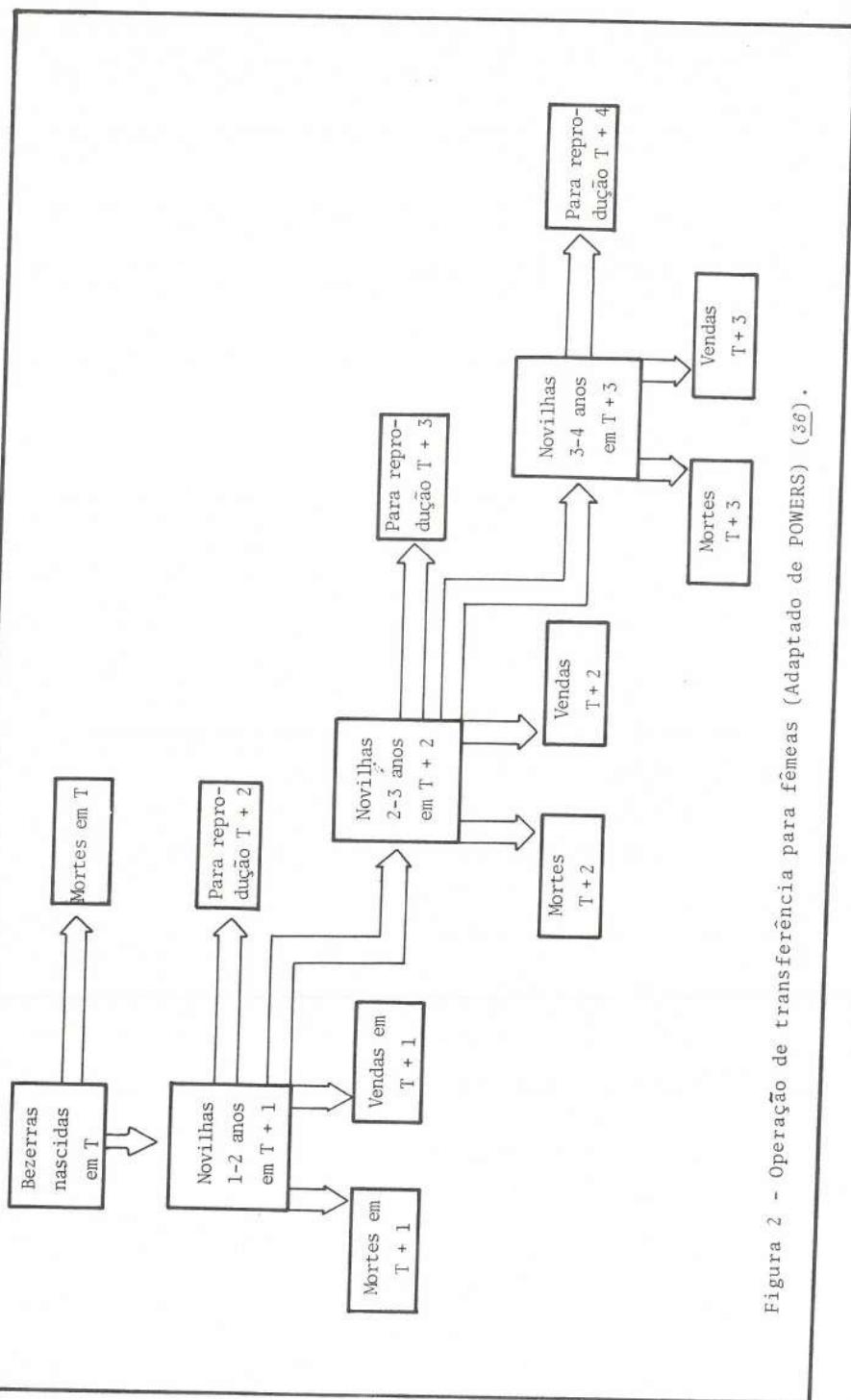


Figura 2 - Operação de transferência para fêmeas (Adaptado de POWERS) (36).

atividade de pecuária. É a taxa de desconto que torna o valor presente da receita igual ao valor presente das despesas, isto é:

$$\sum_{t=1}^n \frac{\text{TRENB}(t)}{(1 + \rho)^{t-1}} = \sum_{t=1}^n \frac{\text{SGTOT}(t)}{(1 + \rho)^{t-1}}$$

em que

$\text{TRENB}(t)$  = receita bruta no ano  $t$ ;

$\text{SGTOT}(t)$  = despesa no ano  $t$ ;

$n$  = número de anos considerados;

$\rho$  = taxa interna de retorno.

A taxa interna de retorno (TIR) é uma medida de eficiência considerada adequada à mensuração da rentabilidade de uma atividade, quando o tempo é uma variável importante no processo.

#### *Análise de Sensibilidade*

Para a análise de sensibilidade, os parâmetros selecionados foram: taxa de natalidade, taxa de mortalidade de animais jovens (0-1 ano) e taxa de mortalidade de animais adultos (mais de 1 ano). Esses são fatores biológicos aos quais se associa alto grau de risco.

Tais parâmetros têm sido considerados de grande importância por técnicos que estudam o problema da pecuária, visto serem os que, de modo geral, determinam a velocidade da evolução do rebanho, tendo, consequentemente, grande influência na sua taxa de desfrute.

VALDES e FRANKLIN (11) usaram as mesmas taxas para representar fatores de risco biológico, porém especificados como médias geradas por uma distribuição normal com médias e variâncias determinadas para cada tecnologia em estudo, não especificando, contudo, como esses parâmetros dependem de outros fatores técnicos relacionados com pastagem, manejo, etc.

A medida utilizada para medir as variações ocorridas nos sistemas com mudanças nos parâmetros especificados foi a TIR.

#### *Os Dados*

Os dados provêm de levantamentos específicos realizados nas regiões IV, VI e VIII, de Minas Gerais, em julho de 1975 (5, 6, 7). Essas três regiões totalizavam, em 1974, 52,83% do rebanho total, com uma área terrestre correspondente a 50,83% da área do Estado.

As microrregiões contempladas no levantamento foram: a) na região IV: Microrregião 170 (Uberlândia), Microrregião 177 (Pontal do Triângulo Mineiro) e Microrregião 178 (Uberaba); b) na região VI: Microrregião 162 (Montes Claros); e c) na região VIII, Microrregião 174 (Bacia do Suaçuí), Microrregião 175 (Governador Valadares) e Microrregião 185 (Bacia do Manhuaçu).

Essas microrregiões reuniam 70,13, 41,02 e 56,11% dos bovinos das respectivas regiões, selecionadas com base no número de animais, na concentração de bovinos por  $\text{km}^2$  e na importância econômica.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Discutem-se os resultados da aplicação de sistemas selecionados a um modelo

de simulação, considerando-se duas partes distintas: análise dos modelos e análise da sensibilidade dos modelos.

Os sistemas selecionados para o teste têm suas características sumariadas nos Quadros 1 e 2. O sistema 1 utiliza somente pastagem natural, o sistema 2 utiliza pastagem natural e cultivada, e o sistema 3 utiliza somente pastagem cultivada. Em termos gerais, os sistemas diferem muito, no tamanho da propriedade, no tamanho do rebanho e nos índices zootécnicos.

### 3.1. Análise dos Modelos

O objetivo desta análise é estudar, em termos da pecuária bovina de Minas

QUADRO 1 - Descrição dos sistemas utilizados

Itens	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
<b>Uso da terra (ha)</b>			
- Pastagem natural	189,40	96,42	-
- Pastagem cultivada	-	359,08	252,85
- Forrageira	2,40	5,29	4,63
- Outros usos	41,70	39,42	55,50
- Área total	233,50	500,23	312,98
<b>Composição da receita bruta (Cr\$)</b>			
- Venda de animais	18.517	40.461	69.657
- Produção de leite	24.907	45.620	28.356
- Culturas	9.454	34.534	12.518
- Receita da pecuária	43.424	86.081	98.013
Receita total	52.878	120.615	110.431
<b>Composição dos custos (Cr\$)</b>			
- Conservar benfeitorias	6.393	9.763	7.655
- Conservar máquinas e equipamentos	1.035	4.866	2.348
- Recuperação e conservação de pastagens	6.746	9.259	12.018
- Silagens e concentrados	4.034	8.572	4.479
- Mão-de-obra permanente	7.528	14.872	11.128
- Vacinas	950	1.923	1.759
- Impostos	695	779	617
Custo total	27.381	50.035	40.004
<b>Composição do rebanho (Cab.)</b>			
- Reproductores	2	4	4
- Vacas em lactação	27	56	55
- Vacas palhadas	33	58	54
- Fêmeas 3 - 4 anos	9	19	10
- Fêmeas 2 - 3 anos	10	23	17
- Fêmeas 1 - 2 anos	15	27	23
- Fêmeas 0 - 1 ano	14	28	31
- Machos 0 - 1 ano	14	32	32
- Machos 1 - 2 anos	15	18	11
- Machos 2 - 3 anos	1	3	1
- Machos mais de 2 - 3 anos	0	0	0
TOTAL	140	268	238

FONTE: ALVARENGA (1).

QUADRO 2 - Coeficientes técnicos dos sistemas utilizados

Itens	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
- Capacidade de suporte das pastagens (UA/ha)	0,69 1,12	0,72 1,31	0,85 1,48
• Na seca			
• Nas águas			
- Idade média de desmame (m)	10,50	9,19	7,50
- Idade média 1ª. cria (m)	38,58	35,85	37,88
- Substituição de matrizes (%)	13,84	10,82	11,87
- Substituição de reprodutores (%)	19,43	15,57	21,80
- Taxa de natalidade (%)	56,34	56,33	62,20
- Taxa de mortalidade (%)			
• até 1 ano	13,56	7,98	9,59
• 1 - 2 anos	1,48	1,39	2,68
• 2 - 3 anos	0,55	1,43	2,25
• acima de 3 anos	2,66	2,49	3,15
TOTAL	4,74	3,26	3,84

FONTE: ALVARENGA (1).

Gerais, os parâmetros obtidos em sistemas de produção desenvolvidos em análise *ex-post*. Espera-se que essa análise sirva como ponto de partida para a determinação de sistemas de produção e de teste para os parâmetros dos sistemas determinados pela metodologia específica empregada por ALVARENGA (1).

Os parâmetros utilizados nos modelos de simulação foram os determinados nos três sistemas selecionados.

Nesta primeira fase não se considerou risco, nem de preços nem técnicos. Os preços foram considerados constantes, bem como as taxas de natalidade e mortalidade.

Dada a pressuposição básica de retornos constantes à escala, optou-se por utilizar cada sistema tal como encontrado nas regiões consideradas. Assim, para cada sistema, tomou-se a propriedade média da classe como base de trabalho.

Os valores máximos de inventário foram determinados com base na capacidade média de suporte da propriedade, e o programa prevê a venda de animais quando há excesso, calculado de acordo com a capacidade de suporte.

Em termos de simulação em si, como instrumento de avaliação de sistemas ou de adoção de técnicos, o modelo parece adequado para esse fim. Apresenta flexibilidade quanto à possibilidade de variação dos parâmetros ao longo do tempo, bem como permite a adaptação a outras atividades, além da cria.

### 3.2. Desenvolvimento dos Modelos

Os três sistemas, aplicados ao modelo de simulação, apresentaram resultados que levam a crer que ele pode ser utilizado para representar a atividade em estudo.

Ante os parâmetros que condicionam sua evolução, o sistema 1 alcançou o número máximo de animais aos 15 anos, dada a capacidade de suporte das pastagens. O sistema 2 e o sistema 3 não conseguiram alcançar seu máximo (Quadros 3, 4 e 5).

Embora o modelo inclua o tempo como uma variável, a análise é estática, no sentido de que aos *inputs* do sistema não se permitiu variar ao longo dos anos.

Os resultados apresentados, na evolução do modelo, dependem, evidentemente, dos valores dos parâmetros de cada sistema que se queria testar e como tal refletem os resultados da tendência dos sistemas, tudo o mais constante.

É importante observar que, aplicando-se ao modelo os parâmetros estimados para cada sistema, *ceteris paribus*, o rebanho evoluiu, alcançando um nível bem diferente do inicial. Embora os parâmetros não sejam os considerados desejáveis para as condições da pecuária bovina brasileira, ainda assim é possível evoluir naturalmente e ter um volume de negócios maior.

É possível que tal resultado esteja superestimado, se se lembrar que a capacidade de suporte considerada foi a indicada pelos pecuaristas, que pode estar além da verdadeira capacidade das pastagens. Além disso, é válido pressupor que os parâmetros que condicionam a evolução do rebanho (taxas de natalidade, mortalidade e venda) não sejam constantes ao longo do tempo.

### 3.3. Análise de Sensibilidade

Um dos objetivos do trabalho contempla a análise de sensibilidade do modelo a parâmetros selecionados, de forma que se tenham informações sobre os pontos mais importantes da estrutura de um sistema de reprodução de carne, dadas as características do modelo utilizado.

Os parâmetros considerados foram: taxa de natalidade, taxa de mortalidade

QUADRO 3 - Descrição da evolução do rebanho no sistema 1

QUADRO 4 - Descrição de evolução do rebanho no sistema 2

ANOS	DESENVOLVIMENTO DO REBANHO																									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Vacas	114	131	134	136	138	142	147	150	153	157	161	165	168	172	177	181	186	191	196	201	207	213	219	225	230	237
Touros	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	9	9
Bezerros (0-1)	28	29	34	35	35	36	37	38	39	39	40	41	43	43	44	46	47	48	49	50	52	53	55	56	58	59
Novilhas (1-2)	27	27	28	33	34	34	35	36	37	38	38	39	40	42	42	43	45	46	47	48	49	51	52	54	55	57
Novilhas (2-3)	23	20	20	21	25	25	25	26	27	27	27	28	29	30	30	31	33	33	34	35	36	37	38	39	40	
Novilhas (3-4)	19	9	8	8	8	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	12	12	13	13	14	13	14	14	15	15	
Bezerros (0-1)	32	29	34	35	35	36	37	38	39	39	40	41	43	43	44	46	47	48	49	50	52	53	55	56	58	59
Novilhos (1-2)	18	31	28	33	34	34	35	36	37	38	38	39	40	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	
Novilhos (2-3)	3	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
Novilhos (3-4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Novilhos (4+)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total Cabeças	269	288	298	313	322	329	338	345	353	361	367	376	386	396	404	414	424	435	444	453	466	477	490	501	513	525
Total U.A.	196	210	214	222	229	235	241	246	254	258	262	269	275	282	289	295	302	311	318	325	334	343	352	360	368	378

QUADRO 5 - Descrição da evolução do rebanho no sistema 3

DESENVOLVIMENTO DO REBANHO																			
ANOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Vacas	109	109	106	107	109	110	111	112	113	114	115	117	118	119	120	122	124	126	128
Toros	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Bezerros (0-1)	31	30	30	30	30	31	31	31	32	32	32	33	33	33	34	35	35	35	36
Novilhas (1-2)	23	30	29	29	29	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	33	34	34	35
Novilhas (2-3)	17	18	24	23	23	23	23	24	24	24	25	25	25	26	26	26	27	27	28
Novilhas (3-4)	10	6	7	9	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	10	10	10	9	9
Bezerros (0-1)	32	30	30	30	30	31	31	31	32	32	32	33	33	33	34	35	35	36	36
Novilhos (1-2)	11	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Novilhos (2-3)	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Novilhos (3-4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Novilhos (4+)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Cabeças	258	248	251	253	254	255	258	260	263	266	268	270	272	275	277	279	282	286	291
Total U.A.	170	175	177	179	180	181	182	184	187	188	190	192	194	195	197	198	201	204	207

de animais jovens (0-1 ano) e taxa de mortalidade de animais adultos (mais de um ano), utilizando-se a taxa interna de retorno para medir a sensibilidade às variações ocorridas nos sistemas.

### 3.4. *Taxa de Natalidade*

Este é um dos parâmetros considerados mais importantes nos temas de produção bovina.

Foram utilizadas oito taxas de natalidade alternativas, constantes durante todo o período considerado, conservando-se também constantes os demais parâmetros.

De modo geral, as variações percentuais na taxa interna de retorno (TIR) diminuiam à medida que a taxa de natalidade se elevava (Quadro 6), com exceção do sistema 2, que apresentou, primeiro, uma ligeira elevação, para diminuir depois.

À medida que o sistema de produção apresenta menor TIR, sua sensibilidade é maior, isto é, o sistema com maior TIR (Sistema 1) mostrou menor sensibilidade à variação na taxa de natalidade e o sistema de produção com TIR menor (Sistema 3) registrou maior sensibilidade.

Assim, os sistemas que usam tecnologia mais aprimorada (pastagem cultivada) apresentam menor TIR e se mostram mais sensíveis a variações na taxa de natalidade.

Se se atingisse a taxa de natalidade preconizada (75%), a variação da TIR, nos três sistemas, seria de 12,23, 27,65 e 46,14%, respectivamente.

Isso sugere que as pesquisas para melhorar a taxa de natalidade terão maior efeito nos retornos esperados de sistemas de produção com tecnologia mais alta. Os sistemas de produção tradicionais são relativamente insensíveis, e, assim, melhorias moderadas nas práticas de manejo têm possibilidade de adoção nesses sistemas, dada a pequena variação esperada nas TIR.

O efeito do alcance da meta na taxa de natalidade no sistema 3 foi mais acentuado: apresentou a maior taxa de natalidade (62%) e, portanto, já estava mais próximo da meta que os demais.

Em trabalho semelhante, TORRES *et alii* (10), analisando a sensibilidade do modelo que adotaram a variações na capacidade de suporte do pasto natural (nativo) e do pasto cultivado, assim como variações na taxa de natalidade, encontraram, da mesma forma que no presente caso, que «a produtividade física do sistema apresenta uma baixa sensibilidade a variações na capacidade de suporte e a aumentos na taxa de natalidade, dentro dos limites considerados». Nota-se, porém, pelos resultados por eles encontrados, que as variações eram maiores quando aumentava a proporção de pastagem cultivada, resultado semelhante ao do presente caso.

### 3.5. *Taxa de Mortalidade de Animais Jovens*

A meta do PNDPB é 5%, índice que é bem inferior ao encontrado para os sistemas 1, 2 e 3.

A sensibilidade do modelo a variações na taxa de mortalidade de animais jovens, nos três sistemas, foi insignificante no sistema 1 e pequena nos demais (Quadro 7).

Além de pequenas, as variações na taxa interna de retorno (TIR) não segui-

QUADRO 6 - Teste de sensibilidade dos sistemas selecionados com relação à taxa de natalidade

Índice de natalidade	Sistema 1		Sistema 2		Sistema 3	
	Taxa interna de retorno	Variações* na TIR (%)	Taxa interna de retorno	Variações* na TIR (%)	Taxa interna de retorno	Variações* na TIR (%)
0,38	0,1946297	-	0,0962305	-	-0,0252572	-
0,44	0,2107792	8,298	0,1096668	13,963	-	-
0,50	0,2257690	7,112	0,1252651	14,223	0,0358753	-
0,56	0,2579436**	5,392	0,1397209**	11,540	0,0545654	.52,097
0,62	0,2487726	4,551	0,1535282	9,882	0,0763747**	40,885
0,68	0,2586699	3,978	0,1666946	8,576	0,0962029	25,142
0,74	0,2670450	3,238	0,1783495	6,992	0,1123466	16,781
0,80	0,2760820	3,384	0,1888981	5,915	0,1266462	12,194

$$* \text{ Variações na TIR} = \frac{\text{TIR}(t+1) - \text{TIR}(t)}{\text{TIR}(t)} \times 100.$$

\*\* Média do sistema.

QUADRO 7 - Teste de sensibilidade dos sistemas selecionados com relação à taxa de mortalidade de animais jovens

Indice de mortalida- de ani- mais 0-1	Sistema 1			Sistema 2			Sistema 3		
	Taxa interna de retorno	Variações* na TIR (%)	Taxa interna de retorno	Variações* na TIR (%)	Taxa interna de retorno	Variações* na TIR (%)	Taxa interna de retorno	Variações* na TIR (%)	Taxa interna de retorno
0,17	0,2341175	-	0,1264696	-	0,0579863	-	-	-	-
0,16	0,2351704	0,450	0,1279450	1,167	0,0586548	1,153	-	-	-
0,15	0,2359762	0,343	0,1298075	1,456	0,0619335	5,590	-	-	-
0,14	0,2379436**	0,834	0,1311684	1,048	0,0676479	9,227	-	-	-
0,13	0,2392092	0,532	0,1330595	1,442	0,0684004	1,112	-	-	-
0,12	0,2404032	0,499	0,1330595	0,573	0,0723839	5,824	-	-	-
0,11	0,2409000	0,207	0,1358224	0,889	0,0746155	3,083	-	-	-
0,10	0,2425852	0,700	0,1350117	1,569	0,0768747**	3,028	-	-	-
0,09	0,2440748	0,614	0,1371307	0,832	0,0802975	4,452	-	-	-
0,08	0,2446680	0,245	0,1382713**	1,048	0,0827951	3,110	-	-	-
0,07	0,2461491	0,605	0,1397209*	0,749	0,0851946	2,898	-	-	-
0,06	0,2473574	0,491	0,1407681	0,340	0,0882196	3,551	-	-	-
0,05	0,2483158	0,387	0,1433811	1,145	0,08933598	1,328	-	-	-

$$* \text{Variações na TIR} = \frac{\text{TIR}(t+1) - \text{TIR}(t)}{\text{TIR}(t)} \cdot 100.$$

\*\* Média do sistema.

ram um padrão definido, aumentando e diminuindo de forma errática nos três sistemas.

Se a meta fosse atingida, partindo das médias conhecidas, os sistemas 1, 2 e 3 apresentariam uma melhoria na TIR de 4,36, 2,63 e 16,28%, respectivamente.

Embora possa ser verdadeiro que a baixa influência de variações na TIR seja decorrente da atividade em estudo (CRIA), deve-se notar que, em termos de análise total, a tendência foi a mesma do caso da taxa de natalidade, isto é, o sistema de produção mais «tradicional» (Sistema 1) reagiu menos que o sistema mais «moderno» (Sistema 3).

Quando se compararam os sistemas, na média, com a meta preconizada (5%), surge uma diferença com relação à análise anterior. O sistema 2 apresentou a menor variação, talvez pelo fato de ser o de menor taxa média de mortalidade de animais jovens (8%).

Aparentemente, somente modificações de baixo custo seriam economicamente válidas para esse índice.

### 3.6. *Taxa de Mortalidade de Animais Adultos*

Todo animal acima de 1 ano foi computado como adulto em termos de taxa de mortalidade.

No presente caso, como já foi dito, a variação na taxa de mortalidade não obedeceu ao percentual utilizado (10%) para as outras duas taxas consideradas. Em lugar de um percentual fixo sobre a média, dada a pequena magnitude desta, optou-se por variações constantes de 0,01 (Quadro 8).

As variações na TIR foram erráticas, nos três sistemas, embora no sistema 3 isso fosse menos evidente. De modo geral, porém, à medida que aumentou a taxa de mortalidade, a variação na TIR foi cada vez maior, exceto no sistema 1, onde isso não ocorreu.

Como nos casos anteriores, o sistema de mais «alta tecnologia» (Sistema 3) apresentou uma sensibilidade maior que a dos demais.

Deve-se notar que as taxas de mortalidade dos sistemas pesquisados foram inferiores às preconizadas pelo PNDPB (5,25%) para crias de 1 a 3 anos.

Os resultados dos testes de sensibilidade foram consistentes com relação aos sistemas 1 e 3. O sistema 3 foi mais sensível às variações na taxa de natalidade e na taxa de mortalidade que o sistema 1, mais tradicional. O sistema 2, que pode ser considerado tecnologicamente situado entre os outros dois, no caso da taxa de mortalidade de animais jovens não se «comportou»mediamente.

## 4. CONCLUSÕES

Duas tendências podem ser definidas pelos resultados anteriores:

- o trabalho de pesquisa e difusão de tecnologia, com os sistemas tradicionais, deve ser dirigido para a melhoria de algumas técnicas que sejam de baixo custo, por terem maior possibilidade de adoção, visto que os efeitos de variações nos parâmetros sobre os resultados da atividade são relativamente pequenos. Práticas de manejo compatíveis com a estrutura do sistema podem ser desenvolvidas e terão maior sucesso na adoção.
- efeitos mais expressivos podem ser obtidos quando se trabalha com siste-

QUADRO 8 - Teste de sensibilidade dos sistemas selecionados com relação à taxa de mortalidade de animais adultos

Indice de mortalida- de de ani- mais adultos	Sistema 1		Sistema 2		Sistema 3	
	Taxa interna de retorno	Variações* na TIR (%)	Taxa interna de retorno	Variações* na TIR (%)	Taxa interna de retorno	Variações* na TIR (%)
0,06	0,1812973	-	0,0829973	-	0,0330610	-
0,05	0,1889744	4,235	0,0992985	19,641	0,0522043	58,205
0,04	0,2047729	8,360	0,1133833	14,184	0,0637722	21,925*
0,03	0,2260160	10,374	0,1238203	9,205	0,0768747**	20,055
0,02	0,2379436**	5,277	0,1397209**	12,842	0,0892487	16,096
0,01	0,2449255	2,934	0,1547756	10,775	0,1045809	17,179
0,00	0,2574215	5,102	0,1669054	7,837	0,1160977	11,012

$$* \text{ Variações na TIR} = \frac{\text{TIR}_{(t+1)} - \text{TIR}_{(t)}}{\text{TIR}_{(t)}} \cdot 100.$$

\*\* Média do sistema.

mas de tecnologia «mais alta» e, principalmente, com fatores que afetam a capacidade de suporte das pastagens, a taxa de natalidade e a taxa de mortalidade de animais adultos. Entretanto, o uso de tecnologia mais avançada não se mostrou econômico nas condições estudadas.

- a simulação mostrou ser um método eficiente para avaliar a tendência de sistemas de produção agrícola, principalmente quando se quer medir o impacto de fatores de risco.

## 5. RESUMO

O presente estudo constitui uma avaliação da técnica de simulação, aplicada à análise de sistemas de produção de bovinocultura de corte no Estado de Minas Gerais.

Os dados foram obtidos por entrevistas diretas com agricultores componentes de uma amostra de pecuaristas de três regiões do Estado.

Os parâmetros selecionados foram taxa de natalidade e taxa de mortalidade, esta para animais com idade inferior e superior a um ano de idade.

Os resultados indicaram que a simulação é altamente eficiente para avaliar a tendência de diferentes sistemas de produção, principalmente quando são introduzidas condições de risco. Indicaram também que as práticas de baixo custo têm maior probabilidade de serem adotadas, uma vez que seus efeitos sobre os parâmetros são de pouca expressão. Por outro lado, maior impacto pode ser esperado de sistemas caracterizados por alta tecnologia. Entretanto, tais sistemas não foram os mais economicamente eficientes.

## 6. SUMMARY

### (USE OF SIMULATION IN PRODUCTION SYSTEMS ANALYSIS)

This study is an evaluation of the simulation technique applied to the analysis of production systems for beef cattle in the State of Minas Gerais.

The parameters selected were birth rate and death rate for animals with less than a year of age and more than a year.

The results indicated that simulation techniques are highly efficient for evaluating the performance of different production systems, particularly when risk conditions are taken into consideration. They also indicated that low cost practices have a higher probability of being adopted since their effects on the parameters are relatively slight. On the other hand, higher impact can be expected from systems defined by high technology; however, these systems were not economically efficient.

## 7. LITERATURA CITADA

1. ALVARENGA, S.C. *Análise comparativa de sistemas de produção de carne bovina em Minas Gerais*. Viçosa, U.F.V., Imprensa Universitária, 1978. 190 p. (Tese D.S.).
2. ANDERSON, F.M. *Modelling beef production systems*. [s.n.t.], 19 p. (Mimeoografado).

3. ANDERSON, J.R. Simulations: methodology and application in agricultural economies. *New South Wales Review of Marketing and Agricultural Economics*, 42(1):3-55. 1974.
4. DENT, J.B. & ANDERSON, J.R. *Systems analysis in agricultural management*. Sidney, John Wiley, 1971. 394 p.
5. FAJARDO, C.M. *Sistemas de produção da pecuária de corte do Triângulo Mineiro*. Viçosa, U.F.V., Imprensa Universitária, 1976. 191 p. (Tese M.S.).
6. PEREIRA, R.R. *Sistemas de produção em pecuária de corte na Zona do Rio Doce, Estado de Minas Gerais*. Viçosa, U.F.V., Imprensa Universitária, 1976. 127 p. (Tese M.S.).
7. PIRES, J.A.A. *Análise técnico-económica da produção de bovinos de corte na Microrregião de Montes Claros, Minas Gerais*. Viçosa, U.F.V., Imprensa Universitária, 1976. 78 p. (Tese M.S.).
8. POWERS, T. A. *HerdSim simulation model*. Washington, Inter-American Development Bank, 1975. [s.p.].
9. REEVES, G.W.; SEVAKS, E.K. & ABEL, D.E. *A computer model simulating extensive beef cattle production systems*. Camberra, Bureau of Agricultural Economics, 1974. 80 p.
10. TORRES, F.; BOELCKE, C. & CEZAR, I.M. *Aplicación del enfoque de sistemas a la programación de la investigación: producción de carne con bovinos en el cerrado del Brasil Central*. Mato Grosso, EMBRAPA, CNPGC, 1977. 38 p. mimeografiado.
11. VALDES, A. & FRANKLIN, D.L. *Credit and price policies and the adoption of technology: an ex-ante analysis for cattle ranches in the Eastern plains of Colombia*. Cali, Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1975. 31 p.
12. WRIGHT, A. Farming systems, models and simulation. In: J.B. Dent e J.B. Anderson (eds.) *Systems analysis in agricultural management*. Sidney, Wiley, 1971. p. 17-34.