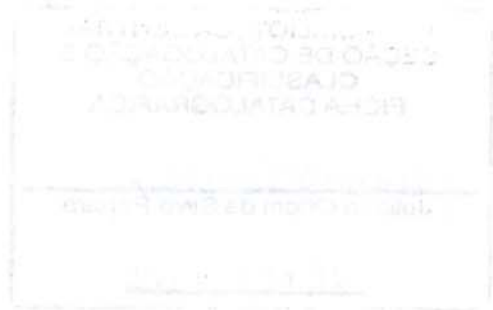


FRANSCINE KELLI QUINHONES BONATTI

DESENVOLVIMENTO DE MODELO DINÂMICO DE SIMULAÇÃO PARA
SISTEMAS DE RECRIA E TERMINAÇÃO DE BOVINOS EM PASTO

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia, para
obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2009



**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

B699d
2009

Bonatti, Francine Kelli Quinhones, 1982-

Desenvolvimento de modelo dinâmico de simulação para
sistemas de recria e terminação de bovinos em pasto /

Francine Kelli Quinhones Bonatti. – Viçosa, MG, 2009.

xiii, 60f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: José Carlos Pereira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 56-60.

1. Bovino de corte. 2. Programação dinâmica. 3. Bovino
de corte - Criação - Métodos de simulação. 4. Pastejo.

I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

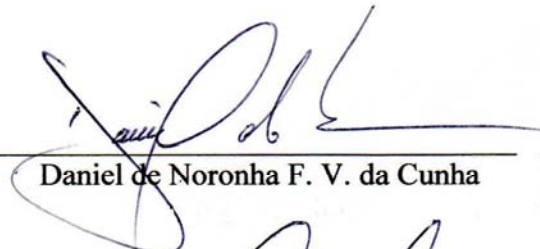
CDD 22.ed. 636.213


FRANSCINE KELLI QUINHONES BONATTI

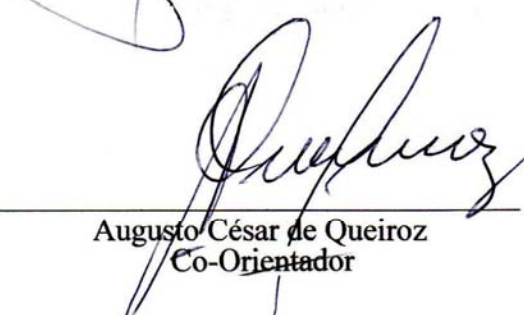
DESENVOLVIMENTO DE MODELO DINÂMICO DE SIMULAÇÃO PARA
SISTEMAS DE RECRIA E TERMINAÇÃO DE BOVINOS EM PASTO

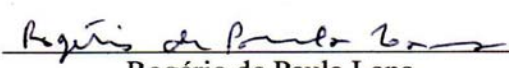
Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Zootecnia, para obtenção do
título de *Magister Scientiae*.


APROVADA: 16 de fevereiro de 2009


Daniel de Noronha F. V. da Cunha


Ricardo Augusto Mendonça Vieira
Co-Orientador


Augusto César de Queiroz
Co-Orientador


Rogério de Paula Lana


Prof. José Carlos Pereira
Orientador

Dedico...

Ao meu Amado Filho, Eduardo, que fez meu sonho Materno se tornar realidade, que ainda não nasceu, mas foi a Força necessária para o fim desta caminhada...

Aos meus Queridos Pais, Cleci e Zilmar, pelo incentivo de Coragem para seguir em frente, e por sempre dizerem que Eu Sou Capaz...

Ao meu Querido Irmão, Felipe, pelas Confidências e Desabafos...

Ao meu Eterno Namorado e Esposo, Gustavo, pelo Amor, Carinho e Palavras que por muitas vezes secaram minhas lágrimas de Angústia, e fizeram eu ver a Vida de uma força diferente...

*Faça questão de ser alegre e otimista.
Nada na terra pode destruir a felicidade do homem.
Se lhe chegarem dores, receba-as com calma e não se deixe atingir por elas.
Não coloque sua felicidade no que lhe vem de fora.
Construa sua felicidade dentro de você mesmo, fazendo consistir sua ventura no progresso constante da vida e na sabedoria do coração!!*

AGRADECIMENTOS

Ao nosso Grandioso Pai, “Deus”, pelas maravilhas da vida, e por sempre se fazer presente na minha vida, e na vida de minha Família.

A Santa Rita de Cássia e Nossa Senhora Aparecida, por segurar inúmeras vezes em minhas mãos.

Aos meus amados pais, Cleci e Zilmar, pelo carinho, apoio, incentivo, compreensão e acima de tudo pelo respeito às minhas atitudes e decisões. Com eles tenho certeza que enfrento qualquer batalha, pois me ensinaram o essencial da vida, que é o respeito e o amor, pessoas que são o meu espelho, o meu alicerce, a minha Vida.

Ao meu querido Irmão, Felipe, principalmente por ser meu fiel e confidente Amigo, e que apesar das travessuras, sempre soube usar as palavras certas para me ajudar.

Ao meu bebezinho Eduardo, que somente conheço por sombras de ultrassom, que esta comigo a 33 semanas, e é um Anjo Guerreiro, que quando eu estava em dias de cansaço e tristeza, deu sinais de que estava aqui para alegrar minha vida, e tenho certeza de que é por ele que finalizo mais uma etapa, e que me sinto forte e disposta a iniciar outra.

Ao meu grande Amor, Gustavo, que sempre esteve ao meu lado, sendo amigo, companheiro, conselheiro e um eterno namorado, e que tornou meus dias mais alegres e cheios de amor.

Aos meus queridos tios, Sérgio e Claudete, pelo carinho, preocupação, conselhos e opiniões, que me foram de grande valia tanto para a vida profissional como pessoal.

Aos meus adoráveis avôs Lurdes e Waltoir, pelo imenso amor e delicadeza dedicada a mim.

Ao professor José Carlos Pereira, pelas demoradas conversas, das quais escutei palavras e conselhos que levarei para vida toda, e que delas usarei o essencial para me tornar uma pessoa melhor. A ele agradeço também a amizade, pois nestes anos de convívio não tive somente um orientador, mas um Grande Amigo, um Pai, que soube me entender, me escutar nas horas em que mais precisava, e me estender a mão

oferecendo-me ajuda, e deixando claro, que sempre estaria ao meu lado, e que jamais perderia a confiança em mim.

Ao grande amigo Daniel de Noronha F. V. Cunha, pela amizade e imensa ajuda para a conclusão deste trabalho, e por ser uma pessoa paciente e entender as minhas dificuldades, pelo exemplo de conduta e profissionalismo.

Aos inúmeros amigos, mas em especial a Claudilene, pelos anos de convivência, amizade, e alegrias. A Larissa, pela alegria contagiante e histórias extravagantes. Ao Cássio, pela gentileza e neurose. Ao Wender e ao Guilherme, pela amizade e torcida. A Marilú, Jardel e Nicolý, pelo exemplo de força e determinação. Aos amigos que estão longe, mas sempre ficaram na torcida, Marinaldo e Marcone. E a grande amiga de graduação Gabriela, que apesar de não estarmos próximas, sempre me transmitiu apoio.

A todos os estagiários, Diogo, Gustavo, Leandro, Camila e Rodrigo, pela ajuda e compreensão do mau-humor em algumas horas.

A todos os funcionários e professores do Departamento de Zootecnia que me acompanharam e me ajudaram nesta longa caminhada.

A Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Zootecnia e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, por me receberem e tornarem o meu sonho em realidade.

Ao CNPq pela viabilização deste trabalho.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte dos destes dois anos, tornando possível a realização de um Sonho.

Muito obrigada!

BIOGRAFIA

Franscine Kelli Quinhones Bonatti, filha de Cleci Salete Quinhones Bonatti e Zilmar Bonatti, nasceu em Realeza, estado do Paraná, em 01 de outubro de 1982.

Em março de 2000, ingressou na Escola Agrotécnica Federal de Dois Vizinhos – UNED-DV onde obteve o título de Técnico em Agropecuária com habilitação em Zootecnia, em 10 de setembro de 2001.

Em setembro de 2001, foi aprovada na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, onde iniciou o curso de Graduação em Zootecnia, obtendo o título de Zootecnista, em 18 de agosto de 2006.

Em Março de 2007, foi aprovada no processo de seleção do curso de Pós-Graduação – Mestrado em Zootecnia – na Universidade Federal de Viçosa: UFV, concentrando seus estudos na área de Nutrição e Produção de Ruminantes, defendendo dissertação em 16 de fevereiro de 2009.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	xii
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 A visão sistêmica e o paradigma analítico.....	3
2.2 Simulação computacional como ferramenta para pesquisa em sistemas agrícolas	5
2.3 Classificação de modelos matemáticos utilizados na pesquisa de sistemas agrícolas.....	6
2.4 <i>Softwares</i> utilizados para simulação computacional de sistemas agrícolas.....	8
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
3.1 Módulo animal.....	13
3.1.1 Ingestão da matéria seca da forragem.....	13
3.1.2 Exigência de energia de manutenção.....	14
3.1.3 Variação de peso em função da energia.....	16
3.1.4 Exigência de proteína para manutenção.....	19
3.1.5 Variação de peso em função da proteína.....	20
3.1.6 Variação de peso corporal.....	22
3.2 Módulo Vegetal.....	23
3.2.1 Crescimento e disponibilidade de forragem.....	23
3.2.2 Digestibilidade e proteína bruta do pasto.....	26
3.2.3 Energia metabolizável e metabolizabilidade da forragem ingerida.	30

3.3 Avaliação da sensibilidade do modelo.....	30
3.4 Comparação entre os valores observados na realidade e gerados pelo modelo.....	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1 Testes de sensibilidade.....	33
4.1.1 Respostas a variação das condições de precipitação pluviométrica e temperatura do ar.....	33
4.1.2 Respostas a variação da taxa de lotação.....	36
4.1.3 Respostas a variação do fornecimento de suplemento.....	47
4.2 Comparação entre os valores observados na realidade e gerados pelo modelo.....	52
5 CONCLUSÕES.....	55
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Inter-relações entre os módulos do modelo de simulação.....	12
Figura 2 - Diagrama de fluxos da ingestão potencial de matéria seca de forragem.....	13
Figura 3 - Diagrama de fluxos da ingestão corrigida de matéria seca de forragem.....	13
Figura 4 - Diagramas de fluxos dos fatores de correção da ingestão de matéria seca de forragem, pela digestibilidade e disponibilidade de forragem.....	14
Figura 5 - Diagrama de fluxos da exigência de energia líquida de manutenção e atividades.....	15
Figura 6 - Diagrama de fluxos da exigência de energia líquida para atividades.....	15
Figura 7 - Diagramas de fluxos das exigências de energia metabolizável de manutenção e atividades.....	16
Figura 8 - Diagrama de fluxos do ganho de peso corporal em função da energia disponível.....	16
Figura 9 - Diagramas de fluxos da energia líquida e metabolizável disponíveis para ganho de peso.....	17
Figura 10 - Diagramas de fluxos da energia líquida e metabolizável disponíveis para ganho de peso.....	17
Figura 11 - Diagrama de fluxos do déficit de energia metabolizável.....	18
Figura 12 - Diagramas de fluxos da perda de peso corporal em função do déficit de energia.....	18
Figura 13 - Diagrama de fluxos das exigências de proteína metabolizável e bruta de manutenção.....	19
Figura 14 - Diagrama de fluxos da proteína bruta disponível para ganho de peso.....	20
Figura 15 - Diagrama de fluxos da concentração de proteína bruta no ganho de peso de corpo vazio e da exigência de proteína metabolizável para ganho de peso de corpo vazio.....	20

Figura 16 - Diagramas de fluxos das exigências de proteína metabolizável e bruta por quilo de ganho de peso e do ganho de peso corporal em função da disponibilidade de proteína.....	21
Figura 17 - Diagrama de fluxos da perda de peso corporal em função do déficit de proteína.....	22
Figura 18 - Diagrama de fluxos da variação de peso corporal dos animais.....	22
Figura 19 - Diagrama de fluxos da disponibilidade de forragem por hectare.....	24
Figura 20 - Diagrama de fluxos do crescimento corrigido de forragem por hectare.....	25
Figura 21 - Diagramas de fluxos dos fatores de correção do crescimento potencial de forragem por hectare.....	25
Figura 22 - Diagrama de fluxos da digestibilidade da forragem oferecida.....	27
Figura 23 - Diagrama de fluxos da proteína bruta da forragem oferecida.....	27
Figura 24 - Diagramas de fluxos da digestibilidade da forragem ingerida e da proteína bruta da forragem ingerida.....	28
Figura 25 - Diagrama de fluxos do grau de seleção exercido pelos animais, em função dos fatores de correção da seletividade pela disponibilidade e digestibilidade da forragem.....	28
Figura 26 - Diagrama de fluxos do fator de correção da seletividade em função da digestibilidade de forragem.....	29
Figura 27 - Diagrama de fluxos do fator de correção da seletividade em função da disponibilidade de forragem.....	29
Figura 28 - Diagramas de fluxos da energia metabolizável e da metabolizabilidade da forragem ingerida.....	30
Figura 29 - Condição de temperatura média mensal do ar ao longo do ano, nos municípios de Valença-RJ e Arapiraca-AL.....	33
Figura 30 - Condição de precipitação pluviométrica mensal ao longo do ano, nos municípios de Valença-RJ e Arapiraca-AL.....	34
Figura 31 - Resposta do crescimento diário de forragem a variação das condições de precipitação pluviométrica e temperatura do ar dos municípios de Valença - RJ e Arapiraca - AL.....	35
Figura 32 - Resposta da disponibilidade de forragem a variação das condições de precipitação pluviométrica e temperatura do ar dos municípios de Valença - RJ e Arapiraca - AL.....	35

Figura 33 - Resposta da disponibilidade de forragem (kg de MS/ha) a variação do número de animais por hectare.....	36
Figura 34 - Resposta da disponibilidade média de forragem a variação da taxa de lotação em animais por hectare.....	37
Figura 35 – Resposta da porcentagem de proteína bruta da forragem oferecida à variação da taxa de lotação, em animais por hectare.....	37
Figura 36 – Resposta da porcentagem de proteína bruta da forragem ingerida à variação da taxa de lotação, em animais por hectare.....	38
Figura 37 - Resposta da porcentagem média de proteína bruta da forragem oferecida e ingerida à variação da taxa de lotação, em animais por hectare.....	38
Figura 38 - Resposta da diferença da porcentagem média de proteína bruta da forragem oferecida e ingerida à variação da taxa de lotação, em animais por hectare.....	39
Figura 39 - Resposta da digestibilidade da forragem oferecida à variação da taxa de lotação, em animais por hectare.....	40
Figura 40 - Resposta da digestibilidade da forragem ingerida à variação da taxa de lotação, em animais por hectare.....	40
Figura 41 - Resposta da digestibilidade média da forragem oferecida e ingerida à variação da taxa de lotação, em animais por hectare.....	41
Figura 42 - Resposta da diferença da digestibilidade média da forragem oferecida e ingerida à variação da taxa de lotação, em animais por hectare.....	41
Figura 43 - Resposta da ingestão média diária de matéria seca de forragem por animal a variação da taxa de lotação em animais por hectare.....	42
Figura 44 - Resposta do ganho de peso dos animais a variação da taxa de lotação em número de animais por hectare.....	43
Figura 45 - Resposta do ganho de peso médio dos animais a variação da taxa de lotação em número de animais por hectare.....	44
Figura 46 - Resposta do ganho de peso médio diário por hectare a variação da taxa de lotação em número de animais por hectare.....	45
Figura 47 - Resposta do peso corporal dos animais a variação da taxa de lotação em número de animais por hectare.....	46
Figura 48 - Resposta do consumo médio diário de matéria seca de suplemento a variação do fornecimento de suplemento.....	47

Figura 49 - Resposta do consumo de MS do suplemento a variação do fornecimento de suplemento.....	47
Figura 50 - Resposta do consumo total médio diário de matéria seca a variação do fornecimento de suplemento.....	49
Figura 51 - Resposta do ganho de peso médio diário por hectare a variação do fornecimento de suplemento.....	49
Figura 52 - Resposta do ganho de peso médio diário por hectare a variação do fornecimento de suplemento.....	50
Figura 53 - Resposta do peso corporal dos animais a variação do fornecimento de suplemento.....	51
Figura 54 – Dados observados e preditos pelo modelo de simulação.....	54

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Relação das variáveis e constantes utilizadas no modelo de simulação.....	10
Tabela 2 - Dados de entrada para o modelo de simulação e ganhos de peso observados e preditos durante a transição seca - água	52
Tabela 3 - Dados de entrada para o modelo de simulação e ganho de peso observado e predito durante a época das águas.....	53
Tabela 4 - Dados de entrada para o modelo de simulação e ganho de peso observado e predito durante a transição água – seca.....	53

RESUMO

BONATTI, Francine Kelli Quinhones, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2009. **Desenvolvimento de modelo dinâmico de simulação para sistemas de recria e terminação de bovinos em pasto.** Orientador: José Carlos Pereira. Co-Orientadores: Augusto César de Queiroz e Ricardo Augusto M. Vieira

Objetivou-se desenvolver e avaliar um modelo de simulação computacional para sistemas de recria e terminação de bovinos em pasto, a partir da implementação do modelo de simulação em uma linguagem de programação de múltiplo propósito. Para a elaboração do modelo de simulação foram utilizadas equações descritas na literatura científica. As equações serão reunidas e implementadas com a utilização do *software* específico para simulação de sistemas dinâmicos, STELLA 8.0®. O intervalo de tempo adotado na simulação para atualização do valor das variáveis foi de um dia e algumas variáveis receberam tratamento estocástico. Após o desenvolvimento do modelo de simulação foram realizados testes de sensibilidade para avaliar respostas biológicas a modificações em algumas variáveis como taxa de lotação, fornecimento de suplemento por animal/dia e crescimento potencial de forragem, visando avaliar se os resultados produzidos estão de acordo com o que seria esperado. A validação do modelo de simulação foi realizada com a utilização de informações obtidas na literatura, onde foi medido o grau de associação linear entre os valores gerados pelo modelo e os observados, utilizando-se o procedimento Proc Corr do SAS. No que se refere às variações das condições de precipitação pluviométrica e temperatura do ar, da taxa de lotação e do nível de suplementação, o modelo de simulação produziu respostas que estão de acordo com o que seria esperado, porém, embora havendo associação linear entre os dados gerados pelo modelo e os observados na realidade, o coeficiente de correlação é considerado baixo.

ABSTRACT

BONATTI, Francine Kelli Quinhones, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February of 2009. **Development @a dynamic model of simulation for rearing and finishing systems of bovines on pasture** .Adviser: Jose Carlos Pereira. Co-Advisers: Augusto César de Queiroz and Ricardo Augusto M.Vieira.

The objective of this work was to develop and to evaluate a model of computer simulation for systems of rearing and finishing of bovines on pasture from the implementation of the model of simulation into a program language of multiple purposes. To elaborate the model of simulation, equations described in the scientific literature were used. The equations will be gathered and implemented by using the specific software for simulation of dynamic systems, STELLA 8.0®. The interval of time adopted in the simulation for updating the values of the variables was 1 day, and some variables received stochastic treatment. After the development of the model of simulation, sensitive tests were carried out to evaluate biological responses to changes in some variables, for example, stocking rate, supply of supplement per animal/day and potential growth of the forage aiming at evaluating if the produced results are in agreement to what was expected. Validation of the model of simulation was done by using information obtained from the literature, where the degree of linear association among the values generated by the model and by the observed values was measured by using the procedure Proc Corr from SAS. The model of simulation produced responses to the variations on rainfall and air temperature, to the stocking rate and to the level of supplementation, which are in agreement to what was expected, however, despite of the linear association among the data generated by the model and to the ones observed in reality, the coefficient of correlation is considered to be low.

1 - INTRODUÇÃO

Da mesma forma que um modelo matemático pode ser definido como uma equação ou um conjunto de equações que representam o comportamento de um sistema (Thornley e France, 2007), um modelo de simulação computacional pode ser compreendido como um algoritmo ou um conjunto de algoritmos em linguagem de programação, cuja finalidade é a representação simplificada de um sistema.

Modelos de simulação de sistemas de produção são importantes ferramentas, tanto para o gerenciamento de propriedades, já que podem auxiliar os administradores e técnicos extensionistas nas tomadas de decisão, quanto para pesquisa, pois podem ser usados para auxiliar a identificação de áreas prioritárias para investigação científica, onde ocorrem lacunas de conhecimento. Além disso, modelos de simulação podem ser utilizados como ferramentas de ensino, acelerando o processo de aprendizado e aquisição de experiência por parte dos estudantes.

As tecnologias da informação, dentro das quais se enquadra a simulação computacional, vêm exercendo grande impacto sobre a ciência, pois permitem que esta tenha maior caráter aplicado e gerador de riquezas (Barbosa, 1986; Gavira, 2003). Esse impacto se deve, em parte, à rápida evolução tecnológica dos recursos de *hardware* e *software*, aliada à elevada disponibilidade desses no mercado. Porém, outro fator que tem contribuído para o aumento do uso da simulação computacional é a conscientização de que, devido a complexas interações, quando componentes de sistemas operam em conjunto muitas vezes se comportam de forma diferente daquela observada quando são estudados isoladamente.

Isso se relaciona com a complementação necessária do paradigma analítico, que está baseado não somente na divisão do objeto de estudo para compreensão do funcionamento isolado das estruturas mais simples - o que é feito na maioria das pesquisas na área de Zootecnia - mas também na reunião posterior de cada conhecimento adquirido, para que seja possível fazer generalizações, cientificamente baseadas, sobre o funcionamento do todo.

Uma das formas de construção dessas generalizações consiste no desenvolvimento de pesquisas que avaliem as influências do uso de técnicas e tecnologias nos sistemas de produção. Entretanto, pesquisas dessa natureza são altamente demandantes de recursos físicos e financeiros, o que segundo Brockington

(1995), faz com que, em geral, não haja possibilidade de repetição no espaço, mas apenas no tempo.

Com as inovações geradas pelo surgimento das tecnologias de informação, a cada dia o homem dispõe de maior quantidade de dados que podem ser facilmente armazenados. Para que esta crescente quantidade de dados possa ser aproveitada, maximizando a geração de informações, são necessárias ferramentas que permitam agrupá-los de forma lógica.

Devido à heterogeneidade e a complexidade dos sistemas de produção de bovinos no Brasil, são necessárias inúmeras variáveis, deste modo, devido à necessidade de se otimizar os sistemas de produção, as formas de controle tiveram um acelerado desenvolvimento nos últimos anos, advindo daí a necessidade da criação e manutenção de bancos de dados nas propriedades que permitam calcular diversos índices técnicos. Assim, a simulação computacional aplicada a pesquisas sobre sistemas de produção se apresenta como alternativa promissora, pois além de ser pouco exigente em recursos físicos e financeiros, possibilita o estudo, em curto período de tempo, de combinações de uso de diversas técnicas e tecnologias, nas mais variadas condições de ambiente.

Contudo, no sentido promover a utilização da simulação computacional na bovinocultura de corte, este trabalho teve como objetivo, desenvolver e avaliar um modelo de simulação computacional para sistemas de recria e terminação de bovinos em pasto.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - A visão sistêmica e o paradigma analítico

O termo sistema tem sido definido por diversos autores. Para Patten (1971), em um sistema existe um conjunto de objetos unidos por alguma forma de interação ou interdependência de tal maneira a formar o inteiro ou o todo. Spedding (1975) define sistema como um conjunto de componentes que interagem, de forma que se comportam como um todo. Já para Barioni et al (2002b), em definição mais prática, um sistema é uma estrutura autônoma com amplitude definida por seus limites, processos e componentes, que são determinados pela inclusão de todas as interações significativas. Beretta (1999) o define como um conjunto de componentes ligados entre si para realizar funções ou objetivos comuns. Para Banks (2000) um sistema é um grupo de objetos que são reunidos em alguma interação ou interdependência regular, a fim de alcançar algum propósito.

Em todas estas definições observa-se a presença da idéia de fragmentação da unidade em componentes que interagem. A idéia de fragmentação, que teve sua origem moderna no paradigma analítico proposto por René Descartes, continua sendo largamente utilizada em muitas áreas da ciência. Este paradigma consiste basicamente na divisão do objeto de estudo em partes, isolando as relações de causa e efeito que determinam a funcionalidade de cada parte isolada para, em um estágio posterior, reuni-las somando seus efeitos, na tentativa de reproduzir o comportamento do todo. Neste contexto, embora esteja implícito o reconhecimento da complexidade dos sistemas, assume-se a fragmentação da realidade como possibilidade de simplificação e entendimento do comportamento do objeto de estudo.

Para a aplicação bem sucedida do conceito ou paradigma analítico, na compreensão do funcionamento de sistemas, é necessária à inexistência, ou existência insignificante, de interações entre os fragmentos, o que permite que seus efeitos isolados sejam reunidos por meio de um processo simples de soma algébrica, onde a equação que descreve o funcionamento do todo possui a mesma estrutura das equações que descrevem o funcionamento de cada parte (Brockington, 1995). Entretanto, segundo o autor, nas últimas décadas ficou evidenciado que em muitos sistemas existem interações relativamente fortes entre as partes componentes, o que implica que suas descrições, em termos matemáticos, normalmente consistiriam de um conjunto de

equações simultâneas não lineares e que, sendo assim, não se poderia simplesmente adicionar as partes para recriar o todo. Na mesma linha de raciocínio Barioni et al. (2002b) aborda um dos principais fundamentos da teoria de sistemas, afirmando que a reação de um componente isolado a um dado estímulo é distinta daquela apresentada quando este compõe um sistema, uma vez que as interações entre os componentes do sistema são os determinantes primários do seu comportamento.

De fato muitos autores têm criticado a utilização exclusiva do método analítico como ferramenta para compreensão do funcionamento de sistemas, justificando a insuficiência deste método na grande influência que as interações entre os componentes exercem sobre o comportamento do sistema (Dent e Blackie, 1979), (Barioni, 2002b) e (Brockington, 1995). Segundo Brockington (1995) o processo de recriação da unidade, que pode ser chamado na investigação científica de fase de síntese, requer um paradigma diferente ou adicional, já que o paradigma analítico por si só é insuficiente para enfrentar tais situações. Entretanto, como próprio paradigma analítico descrito por Descartes prevê, em um estágio posterior ao da análise, a reunião do conhecimento isolado sobre as partes, o processo de síntese seria parte intrínseca desse paradigma, não havendo, portanto a necessidade de um paradigma adicional.

O pensamento sistêmico foi criado para se contrapor à forma analítica de compreender os problemas. Apesar de sua origem ser considerada como anterior à filosofia socrática, o pensamento sistêmico emergiu na primeira metade do século XX com aplicações pioneiras nas ciências biológicas (Gavira, 2003). Segundo o autor, o pensamento sistêmico torna-se mais importante à medida que o mundo se torna mais complexo e interdependente, pois a capacidade de analisar os sistemas e seus efeitos causais se constitui num fator crítico para o aprendizado.

Enquanto na visão analítica ou mecanicista os sistemas são compreendidos como coleções de objetos, na visão sistêmica as propriedades essenciais dos sistemas, que não estão em nenhuma das partes, mas sim nas propriedades do todo, resultam das interações entre as partes. Outra diferença fundamental entre as duas linhas de pensamento está na forma de construção do conhecimento. Enquanto na visão analítica a compreensão de sistemas é realizada mediante separação e estudo de seus componentes, na visão sistêmica os sistemas são mais facilmente compreendidos com a avaliação dos efeitos de mudanças no contexto ou ambiente em que o sistema se insere. Sendo assim, enquanto a visão analítica é reducionista, a sistêmica é expansionista.

Apesar dos argumentos sobre o grande potencial do pensamento sistêmico, da modelagem matemática e da simulação computacional na pesquisa agropecuária é necessário reconhecer que o resultado dos esforços nesta área depende, em última instância, da evolução da pesquisa analítica tradicional (Barioni, 2002b) e dos conhecimentos detalhados gerados pelo método analítico. Caso a importância desses conhecimentos seja relevada ou subestimada, corre-se o risco de construir modelos de simulação imprecisos e que podem gerar conclusões equivocadas. Ao mesmo tempo é inegável que quando o objetivo é estudar a influência de um componente sobre as respostas de um sistema como um todo, torna-se necessário avaliar também as interações presentes, o que requer a utilização de ferramentas apropriadas para o processo de síntese do conhecimento.

2.2 - Simulação computacional como ferramenta para pesquisas em sistemas agrícolas

A simulação computacional é um método empregado para estudar o desempenho de um sistema por meio da formulação de um modelo matemático, o qual deve reproduzir, da maneira mais fiel possível, o comportamento do sistema real. Manipulando o modelo e analisando os resultados, pode-se concluir como diversos fatores afetam o desempenho do sistema (Ehrlich, 1985).

A simulação é um processo de experimentação com a utilização de um modelo detalhado de um sistema real, para determinar como este responderá a mudanças em sua estrutura, ambiente ou condições de contorno (Harrel et al., 2002).

Por meio da simulação não é possível obter, de imediato, resultados que levem à otimização de um objetivo desejado. Entretanto, é possível simular, por meio do modelo, uma série de experimentos em diferentes condições e, posteriormente, escolher a condição cujos resultados sejam mais adequados (Ehrlich, 1985).

Sistemas de produção montados em estações experimentais, apesar de serem ferramentas valiosas para síntese de resultados de pesquisa, exigem quantidade elevada de recursos financeiros para implantação e manutenção. Devido estes altos custos, em geral, não há possibilidade de repetição no espaço, restando apenas à alternativa de repetição do experimento no tempo. Para Brockington (1995) a utilização de sistemas de produção, em estações experimentais, é mais apropriada no fim de um processo de

desenvolvimento de pesquisas, imediatamente antes ao estágio final, em fazendas comerciais.

Assim, para os estágios iniciais de desenvolvimento de pesquisas há necessidade de uma ferramenta que permita testar o impacto que a introdução da nova tecnologia ou técnica pesquisada teria no contexto do sistema de produção. Modelos matemáticos para simulação computacional são particularmente úteis nestas situações, pois permitem avaliar diversas combinações de componentes do sistema, a um custo certamente inferior ao que seria necessário em sistemas físicos.

Modelos matemáticos para simulação podem ser vistos, também, como complemento essencial para o número limitado de versões físicas de sistemas de produção que poderiam ser implementadas e avaliadas, quer seja em centros de pesquisa ou em fazendas comerciais (Brockington, 1995).

2.3 - Classificação de modelos matemáticos utilizados na pesquisa de sistemas

Enquanto sistemas são caracterizados pela complexidade das interações entre componentes, modelos se constituem por representações mentais simplificadas da realidade, objetivando apresentar as principais características relevantes para compreensão de seu comportamento e para solução de problemas.

Existe grande variedade de tipos de modelos matemáticos que são utilizados para representar sistemas agrícolas. Com a finalidade de facilitar o estudo foram criadas classificações, cuja função é agrupar os modelos que apresentem características comuns. As principais classificações são baseadas:

a) na complexidade dos modelos

De acordo com a complexidade, os modelos podem ser classificados em empíricos ou mecanicistas. Segundo Brockington (1995) enquanto modelos empíricos apenas relacionam variações entre as entradas e saídas, geralmente tomando a forma de equações de regressão, modelos mecanicistas são baseados na compreensão dos mecanismos internos dos sistemas. De acordo com Barioni et al. (2002a) nos modelos matemáticos mecanicistas as relações são, em geral, representadas por equações baseadas em conceitos teóricos, dados experimentais analisados estatisticamente, parâmetros estipulados por experiência de especialistas ou pela calibração de parâmetros com a utilização de dados do sistema que está sendo representado.

b) na utilização ou não de variáveis aleatórias

Considerando-se um mesmo conjunto de dados de entrada, modelos que utilizam uma ou mais variáveis aleatórias podem produzir como saída, diversos resultados dentro de uma distribuição de densidade de probabilidade. Modelos que possuem esta característica são denominados estocásticos e podem ser construídos em ambiente computacional, com a utilização de funções ou algoritmos geradores de números aleatórios. Algoritmos com esta finalidade podem ser criados com o uso de linguagens de programação para uso geral, entretanto, muitos *softwares* específicos para simulação possuem funções internas com este recurso.

Embora hoje em dia exista grande disponibilidade de recursos de *hardware* e facilidade para utilização de *softwares* específicos para simulação, segundo Barioni et al. (2002a), a maioria dos modelos ainda desconsidera a variabilidade característica dos dados na obtenção dos resultados. Modelos que produzem apenas um valor de saída para cada conjunto de dados de entrada são chamados determinísticos.

c) na forma como as variáveis se relacionam com o tempo

Nesta classificação, os modelos podem ser discriminados como estáticos ou dinâmicos. Modelos estáticos não levam em consideração a influência do tempo sobre o comportamento das variáveis e, sendo assim, os resultados gerados são iguais para qualquer ponto na escala temporal. Nestes tipos de modelos assume-se que os estados transitórios não influenciam os resultados e, portanto, o conhecimento do estado do sistema em determinado ponto no tempo é suficiente para determinar suas respostas em qualquer outro ponto (Barioni et al., 2002a). Atualmente, os modelos mais utilizados para cálculo de exigências nutricionais, como AFRC (1993), NRC (2001) e CNCPS 5.0, se enquadram nesta categoria.

Modelos dinâmicos são utilizados quando o estado do sistema é significativamente influenciado por variações temporais. O estado de um sistema pode ser definido como uma coleção de variáveis, denominadas variáveis de estado, necessárias para descrevê-lo em determinado momento (Law e Kelton, 2000). Em um sistema agropecuário, número de animais de certa categoria, peso corporal de determinado animal ou de um grupo de animais, quantidade de forragem disponível por área e renda bruta mensal, podem ser exemplos de variáveis de estado.

A maior parte dos sistemas agrícolas possui caráter dinâmico. Segundo Barioni et al. (2002a), na modelagem de sistemas agrícolas, a utilização de equações

diferenciais para representação e solução de sistemas dinâmicos tem se tornado padrão. Em termos matemáticos, uma equação diferencial pode ser representada da seguinte forma:

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = f(x, t);$$

onde x assume o valor de uma variável de estado e t é o tempo.

Se a equação diferencial é simples há possibilidade de resolvê-la por meio de métodos analíticos clássicos, porém, para resolução da maior parte dos problemas em sistemas agrícolas é necessário a utilização de muitas equações diferenciais simultâneas, em geral não lineares, o que torna a resolução bastante difícil ou mesmo impossível. Nestes casos, a solução numérica aproximada com o emprego de ferramentas computacionais seria o melhor recurso a ser utilizado (Brockington, 1995). De fato, como a resolução numérica consiste na integração das equações para cada variável de estado do sistema e, em geral, modelos matemáticos que representam sistemas agrícolas contêm muitas variáveis de estado, o número de cálculos que são necessários para sua resolução exige a utilização de recursos computacionais.

2.4 - Softwares utilizados para simulação computacional de sistemas agrícolas

Existem muitos softwares que podem ser utilizados para simulação computacional de sistemas agrícolas. Podemos dividi-los em três grupos:

- a) *Softwares* de múltiplo propósito;
- b) *Softwares* específicos para simulação, que utilizam apenas códigos para construção dos modelos;
- c) *Softwares* específicos para simulação, que utilizam além de códigos, diagramas de fluxo para a construção dos modelos.

No grupo de softwares de múltiplo propósito enquadram-se os compiladores para linguagens de programação como Fortran, Basic, Pascal, C, C++, Java e C#. Para a utilização destas ferramentas, além de conhecimento inerente à área de modelagem, o pesquisador deve possuir certa experiência em lógica de programação e boas noções da sintaxe da linguagem que pretende utilizar. As vantagens da utilização destas ferramentas são maior controle sobre os cálculos que a máquina realiza e maior flexibilidade na construção dos modelos. Outra vantagem da utilização destas

linguagens é a possibilidade de se trabalhar com pacotes gráficos orientados a eventos ou objetos, como Visual Basic®, Delphi®, Visual Fortran® e Visual C++®, em que podem ser desenvolvidos sistemas de apoio à decisão, com interfaces bastante amigáveis, que seriam facilmente utilizados por outras pessoas ou mesmo comercializados.

No grupo de *softwares* específicos para simulação, que utilizam apenas códigos para construção dos modelos encontram-se alguns como GAMS®, R®, Lingo® e Lindo®. Estes *softwares* são bastante flexíveis e embora não permitam a criação de sistemas de apoio à decisão com interfaces amigáveis, possuem um grande número de funções internas que reduzem o tempo e o trabalho gastos com a digitação.

Stella, *IThink*®, Powersim® e Vensim®, são exemplos de softwares específicos para simulação, que utilizam além de códigos, diagramas de fluxo para a construção dos modelos. A principal vantagem da utilização destes aplicativos é a velocidade com que o pesquisador pode criar os modelos, utilizando apenas a *interface* gráfica e digitando uma quantidade muito pequena de códigos. De fato, a partir da criação dos diagramas de fluxo, na *interface* gráfica, estes programas são capazes de construir grande parte das equações diferenciais e realizar as integrações numéricas necessárias, em geral, permitindo que o usuário escolha o método de integração mais adequado. Além disso, estes softwares possuem uma série de funções internas, rotineiramente utilizadas em simulações de sistemas, que poupam tempo de digitação e trabalho para elaboração de algoritmos.

A grande desvantagem da utilização destes programas, como explica Brockington (1995) é a falta de flexibilidade que apresentam, pois se o pesquisador precisar efetuar uma operação não prevista pelos seus idealizadores terá que recorrer a um recurso artificial e desajeitado para implementá-la. Outra desvantagem, como comentam Harrel et al. (2002), é a maior necessidade de recursos de processamento e de memória, por serem softwares que fazem uso de grande quantidade de recursos gráficos.

Entretanto, a tendência é que com o passar do tempo, estas ferramentas computacionais especializadas para a simulação de sistemas dinâmicos tornem-se cada vez mais sofisticadas e especializadas para cada tipo de sistema a ser simulado, diminuindo as limitações inerentes à falta de flexibilidade. Além disso, com o avanço tecnológico relativo aos recursos de *hardware*, capacidade de processamento e de memória não deverão ser limitadores para a utilização destes *softwares*.

A construção de modelos matemáticos a partir da criação dos diagramas de fluxo representa um avanço tecnológico considerável e constitui ferramenta que reduz significativamente o tempo e o trabalho para a construção dos algoritmos em linguagem de programação.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

A relação de variáveis e constantes utilizadas no modelo, juntamente com os seus respectivos significados encontra-se na Tabela 1. Para a elaboração do modelo de simulação foram utilizadas equações descritas nas seguintes publicações: ARC (1980), ARC (1984), NRC (1984), CSIRO (1990), AFRC (1993), Brito et al. (1998), NRC (2000) e CSIRO (2007). As equações foram reunidas e implementadas com a utilização do *software* específico para simulação de sistemas dinâmicos, STELLA 8.0®, em microcomputador com processador Pentium® IV 3000 MHz, 80 GBytes de HD e 1024 MBytes de memória RAM.

Tabela 1 - Relação das variáveis e constantes utilizadas no modelo de simulação

Variável ou constante	unidade	significado
<i>CcorFor</i>	kg de MS/ha/dia	crescimento corrigido de forragem
<i>CEGPC</i>	Mcal/kg	concentração de energia no ganho de peso corporal
<i>CEGPCVZ</i>	Mcal/kg	concentração de energia no ganho de peso de corpo vazio
<i>CEPPC</i>	Mcal/kg	concentração de energia na perda de peso corporal
<i>CEPPCVZ</i>	Mcal/kg	concentração de energia na perda de peso de corpo vazio
<i>CPBGPC</i>	g/kg	concentração de proteína bruta no ganho de peso corporal
<i>CPBGPCVZ</i>	g/kg	concentração de proteína bruta por kg de ganho de peso de corpo vazio
<i>CPBGPPC</i>	g/kg	concentração de proteína bruta na perda de peso corporal
<i>CpotFor</i>	kg de MS/ha/dia	crescimento potencial de forragem
<i>DesapFor</i>	kg de MS/ha/dia	desaparecimento de forragem
<i>DfctEL</i>	Mcal/animal/dia	déficit de EL
<i>DfctEM</i>	Mcal/animal/dia	déficit de EM
<i>DigForIng</i>	$0 < DigForIng \leq 1,0$	digestibilidade da forragem ingerida
<i>DigForOfer</i>	$0 < DigForOfer \leq 1,0$	digestibilidade da forragem oferecida
<i>DigMOForIng</i>	$0 < DigMOForIng \leq 1,0$	digestibilidade da matéria orgânica da forragem ingerida
<i>DigPB</i>	$0 < DigPB \leq 1,0$	digestibilidade da proteína bruta ingerida
<i>DpForHa</i>	kg de matéria seca/ha	disponibilidade de forragem por hectare

<i>dt</i>	dia	intervalo de tempo adotado no modelo de simulação para atualização do valor das variáveis
<i>EB</i>	Mcal	energia bruta
<i>EBFor</i>	Mcal/kg de MS	concentração de energia bruta da forragem
<i>EL</i>	Mcal	energia líquida
<i>EM</i>	Mcal	energia metabolizável
<i>ELdispGP</i>	Mcal/animal/dia	energia líquida disponível para ganho de peso
<i>EMdispGP</i>	Mcal/animal/dia	energia metabolizável disponível para ganho de peso
<i>EMForIng</i>	Mcal/kg de MS	concentração de energia metabolizável da forragem ingerida
<i>ExiELa</i>	Mcal/animal/dia	exigência de energia líquida para atividades
<i>ExiELm</i>	Mcal/animal/dia	exigência de energia líquida de manutenção
<i>ExiEMma</i>	Mcal/animal/dia	exigência de energia metabolizável de manutenção + atividades
<i>ExiPBGPC</i>	g/kg	exigência de proteína bruta por kg de ganho de peso de corporal
<i>ExiPBGPCVZ</i>	g/kg	exigência de proteína bruta por kg de ganho de peso de corpo vazio
<i>ExiPBm</i>	g/animal/dia	exigência de proteína bruta de manutenção
<i>ExiPMGPCVZ</i>	g/kg	exigência de proteína metabolizável por kg de ganho de peso de corpo vazio
<i>ExiPmm</i>	g/animal/dia	exigência de proteína metabolizável de manutenção
<i>FCCFDp</i>	$0 < FCCFDp \leq 1,0$	fator de correção do crescimento de forragem em função da disponibilidade de pasto por hectare
<i>FCCFPcp</i>	$0 < FCCFPcp \leq 1,0$	fator de correção do crescimento de forragem em função da precipitação pluviométrica
<i>FCCFTemp</i>	$0 < FCCFTemp \leq 1,0$	fator de correção do crescimento de forragem em função da temperatura do ar
<i>FCIMSDgFor</i>	$0 < FCIMSDgFor \leq 1,0$	fator de correção da ingestão de matéria seca da forragem em função da digestibilidade da forragem
<i>FCIMSDpFor</i>	$0 < FCIMSDpFor \leq 1,0$	fator de correção da ingestão de matéria seca da forragem em função da disponibilidade de forragem
<i>FCSelDg</i>	$0 < FCSelDg \leq 1,0$	fator de correção do grau de seleção exercido pelos animais no consumo do pasto em função da digestibilidade da forragem
<i>FCSelDp</i>	$0 < FCSelDp \leq 1,0$	fator de correção do grau de seleção exercido pelos animais no consumo do pasto em função da disponibilidade de forragem por animal
<i>ICMSFor</i>	kg/animal/dia	ingestão corrigida de matéria seca de forragem
<i>IEMtot</i>	Mcal/animal/dia	ingestão total de energia metabolizável
<i>IMSForHa</i>	kg/ha/dia	ingestão de matéria seca de forragem por hectare
<i>IMStot</i>	kg/animal/dia	ingestão total de matéria seca
<i>IPBtot</i>	g/animal/dia	ingestão total de proteína bruta
<i>IPMSFor</i>	kg/animal/dia	ingestão potencial de matéria seca de forragem
<i>kf</i>	$0 < kf \leq 1,0$	eficiência de utilização da EMg
<i>km</i>	$0 < km \leq 1,0$	eficiência de utilização da EMm
<i>GPC</i>	kg/animal/dia	ganho de peso corporal
<i>GPCE</i>	kg/animal/dia	ganho de peso corporal em função da energia
<i>GPCP</i>	kg/animal/dia	ganho de peso corporal em função da proteína
<i>GS</i>	$0 < GS \leq 1,0$	grau de seleção
<i>PBdispGP</i>	g/animal/dia	proteína bruta disponível para ganho de peso
<i>PBForIng</i>	% da MS	proteína bruta da forragem ingerida
<i>PBForOfer</i>	% da MS	proteína bruta da forragem oferecida
<i>PC</i>	kg/animal	peso corporal
<i>PCJRef</i>	kg/animal	peso corporal referencial dos animais em jejum
<i>PcpMensal</i>	mm/mês	precipitação pluviométrica mensal
<i>PCVZ</i>	kg/animal	peso de corpo vazio

<i>PDesc</i>	g/animal/dia	proteína de descamações cutâneas
<i>PerdPast</i>	kg de MS/ha/dia	perdas de forragem em função do pastejo
<i>PFM</i>	g/animal/dia	proteína fecal metabólica
<i>PPC</i>	kg/animal/dia	perda de peso corporal
<i>PPCE</i>	kg/animal/dia	perda de peso corporal em função da energia
<i>PPCP</i>	kg/animal/dia	perda de peso corporal em função da proteína
<i>PU</i>	$0 < PU \leq 1,0$	porcentagem de utilização da forragem disponível para consumo por pastejo
<i>PUE</i>	g/animal/dia	proteína urinária endógena
<i>qmForIng</i>	$0 < qmForIng \leq 1,0$	metabolizabilidade da forragem ingerida
<i>qmRação</i>	$0 < qmRação \leq 1,0$	metabolizabilidade da ração
<i>TEMPar</i>	°C	temperatura do ar
<i>TEMPsolo</i>	°C	temperatura do solo
<i>t</i>	dia	tempo atual da simulação
<i>TxLot</i>	animais/ha	taxa de lotação

O intervalo de tempo adotado na simulação para atualização do valor das variáveis foi de um dia. As variáveis *PcpMensal*, *TEMPar* e *ICMSFor* receberam tratamento estocástico e os valores das medidas de dispersão foram obtidos na literatura.

O modelo foi subdividido em quatro módulos inter-relacionados, como demonstrado na Figura 1.

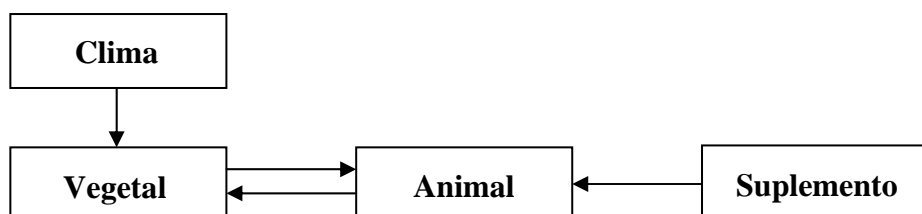


Figura 1 – Inter-relações entre os módulos do modelo de simulação.

Por meio da precipitação pluviométrica e da temperatura do ar, o módulo *Clima* influencia o crescimento de forragem no módulo de *Vegetal*. Os módulos *Vegetal* e *Suplemento* exercem influência sobre o desempenho dos animais, no módulo *Animal*. O módulo *Animal*, por sua vez, influencia o crescimento das forrageiras por meio do controle da disponibilidade de forragem por hectare.

3.1 – Módulo Animal

3.1.1 - Ingestão de matéria seca da forragem

A ingestão de matéria seca de forragem por animal foi estimada de acordo com o proposto por Brito et al. (1998). Nesta abordagem, a ingestão potencial de matéria seca de forragem pode ser entendida como a ingestão máxima obtida quando não há limitação pela disponibilidade e digestibilidade do pasto. A ingestão potencial de matéria seca de forragem é estimada em função do peso corporal dos animais, como demonstrado na Figura 2.

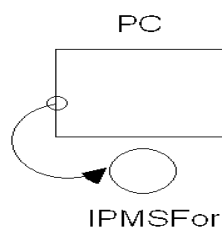


Figura 2 – Diagrama de fluxos da ingestão potencial de matéria seca de forragem.

A ingestão potencial de matéria seca de forragem em função do peso corporal é matematicamente representada na Equação 1.

$$IPMSFor_{(t)} = ((2,05965 + (230,4529 \cdot (1,0 / PC_{(t)}))) / 100) \cdot PC_{(t)} \quad (1)$$

A ingestão potencial de matéria seca de forragem foi corrigida por fatores multiplicativos que foram calculados em função da disponibilidade de pasto por animal e da digestibilidade da forragem, como demonstrado na Figura 3 e na Equação 2.

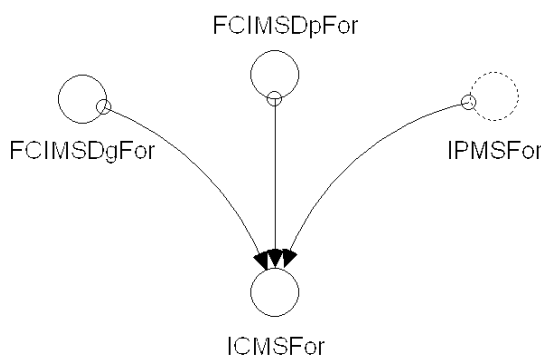


Figura 3 – Diagrama de fluxos da ingestão corrigida de matéria seca de forragem.

$$ICMSFor_{(t)} = IPMSFor_{(t)} \cdot FCIMSDgFor_{(t)} \cdot FCIMSDpFor_{(t)} \quad (2)$$

Na Figura 4 estão representados os fatores de correção da ingestão potencial de matéria seca de forragem pela disponibilidade e pela digestibilidade de forragem.

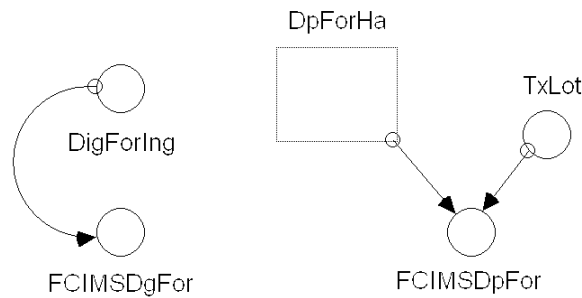


Figura 4 – Diagramas de fluxos dos fatores de correção da ingestão de matéria seca de forragem, pela digestibilidade e disponibilidade de forragem.

O fator de correção da ingestão de matéria seca de forragem por digestibilidade do pasto assume valor 1,0 quando a digestibilidade do pasto é maior ou igual a 0,7 e decresce linearmente com a redução do valor dessa variável. A relação entre a digestibilidade da forragem ingerida e o fator de correção da ingestão de matéria seca em função da digestibilidade da forragem é demonstrada na Equação 3.

$$FCIMSDgFor_{(t)} = 2,233 \cdot DigForIng_{(t)} - 0,5633 \quad (3)$$

O fator de correção da ingestão de matéria seca de forragem por disponibilidade de forragem assume valor próximo de 1,0 quando a disponibilidade por animal, calculada como a relação entre a disponibilidade de forragem por hectare e a taxa de lotação, é maior que 4.000 kg de matéria seca. Acima deste valor assume-se que a disponibilidade de forragem não limita o consumo de matéria seca de forragem. Já, abaixo de 4.000 kg de matéria seca por animal, o valor desse fator de correção decresce exponencialmente, como demonstrado na Equação 4.

$$FCIMSDpFor_{(t)} = 1,0 - \exp(-0,001664 \cdot (DpForHa_{(t)} / TxLot_{(t)})) \quad (4)$$

3.1.2 - Exigência de energia de manutenção

Para cálculo das exigências de energia líquida de manutenção foi utilizada a equação recomendada no CSIRO (2007). A equação escolhida (Equação 5) leva em consideração a idade (em dias) e o grupo genético dos animais. Para animais zebuínos,

mestiços e taurinos, a variável $GGene$ assume os valores 1,0, 1,1 e 1,2, respectivamente. O diagrama de fluxos que representa a relação das variáveis usadas para cálculo da estimativa da energia líquida de manutenção encontra-se na Figura 5.

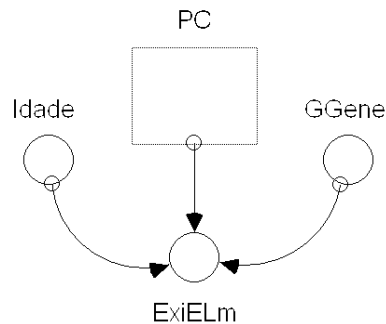


Figura 5 – Diagrama de fluxos da exigência de energia líquida de manutenção e atividades.

$$ExiELm_{(t)} = (GGene \cdot (0,28 \cdot PC^{0,75}_{(t)} \cdot \exp(-0,03 \cdot Idade_{(t)}))) / 4,184 \quad (5)$$

Para cálculo da estimativa das exigências de energia líquida para atividades foi utilizada a equação descrita no CSIRO (2007). A equação leva em consideração o peso corporal dos animais, a digestibilidade da forragem oferecida e ingerida, a disponibilidade de forragem por hectare e a ingestão de matéria seca de forragem (Figura 6 e Equação 6).

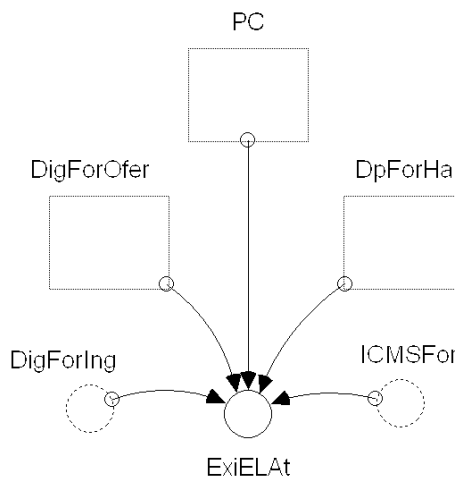


Figura 6 – Diagrama de fluxos da exigência de energia líquida para atividades.

$$ExiELAt_{(t)} = (((0,006 \cdot ICMSFor_{(t)} \cdot (0,9 - DigForOfer_{(t)})) + (0,05 / (((DpForHa_{(t)} \cdot DigForIng_{(t)} / 1000)) + 3))) \cdot PC_{(t)} / 4,184) \quad (6)$$

As exigências de energia metabolizável para manutenção mais atividades foram calculadas levando-se em consideração a eficiência de utilização da energia

metabolizável, como descrito no AFRC (1993) e demonstrado na Figura 7 e Equações 7, 8, 9 e 10.

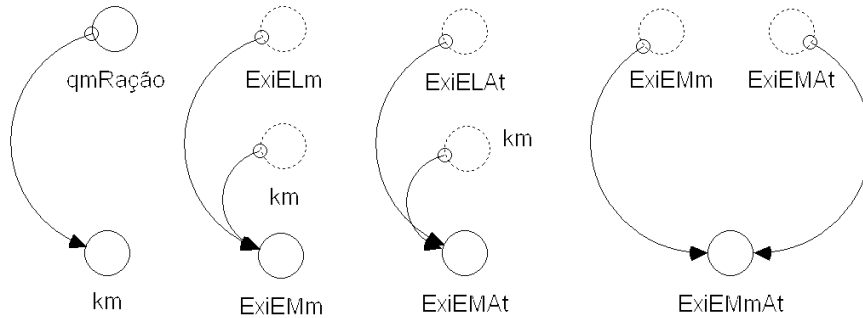


Figura 7 – Diagramas de fluxos das exigências de energia metabolizável de manutenção e atividades.

$$km_{(t)} = 0,35 \cdot qmRação_{(t)} + 0,503 \quad (7)$$

$$ExiEMm_{(t)} = ExiELm_{(t)} / km_{(t)} \quad (8)$$

$$ExiEMAt_{(t)} = ExiELAt_{(t)} / km_{(t)} \quad (9)$$

$$ExiEMmAt_{(t)} = ExiEMm_{(t)} + ExiEMAt_{(t)} \quad (10)$$

3.1.3 - Variação de peso em função da energia

O ganho de peso em função da energia foi estimado a partir da energia metabolizável disponível para ganho de peso, que foi calculada pela diferença entre a ingestão total de energia metabolizável e as exigências de energia metabolizável para manutenção mais atividades, como demonstrado na Figura 8 e na Equação 11, que está associada à estrutura de decisão abaixo.

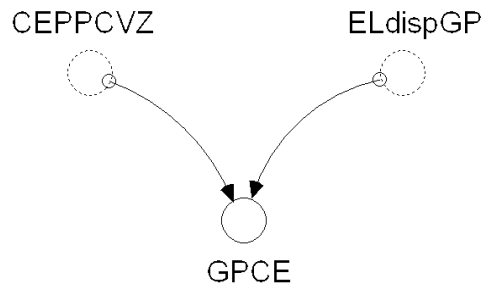


Figura 8 – Diagrama de fluxos do ganho de peso corporal em função da energia disponível.

Se $IEMTot_{(t)} > ExiEMma_{(t)}$ então

$$EMdispGP_{(t)} = IEMTot_{(t)} - ExiEMma_{(t)} \text{ ou} \quad (11)$$

$$EMdispGP_{(t)} = 0$$

A partir do valor de eficiência de utilização de energia metabolizável para crescimento, calculado como descrito no AFRC (1993), a energia metabolizável disponível para ganho de peso foi convertida em energia líquida disponível para ganho de peso, como demonstrado diagramaticamente na Figura 9 e matematicamente nas Equações 12, 13 e 14.

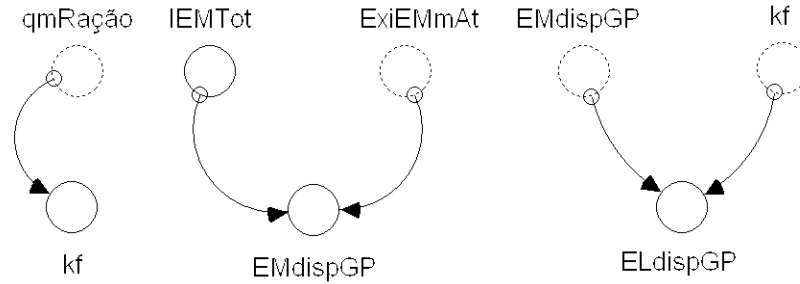


Figura 9 – Diagramas de fluxos da energia líquida e metabolizável disponíveis para ganho de peso.

$$kf_{(t)} = 0,78 \cdot qmRa\tilde{c}\tilde{a}o_{(t)} + 0,006 \quad (12)$$

$$EMdispGP_{(t)} = (IEMTot_{(t)} - ExiEMmAt_{(t)}) \quad (13)$$

$$ELdispGP_{(t)} = EMdispGP_{(t)} \cdot kf_{(t)} \quad (14)$$

A concentração de energia no ganho de peso de corpo vazio foi estimada de acordo com o descrito no CSIRO (1990). O ganho de peso por energia foi estimado por meio da relação entre a energia líquida disponível para ganho de peso e a concentração energética do ganho de peso corporal, assumindo-se o valor de 0,92, como fator de conversão entre o ganho de peso de corpo vazio e ganho de peso corporal (Figura 10 e Equações 14, 15, 16 e 17).

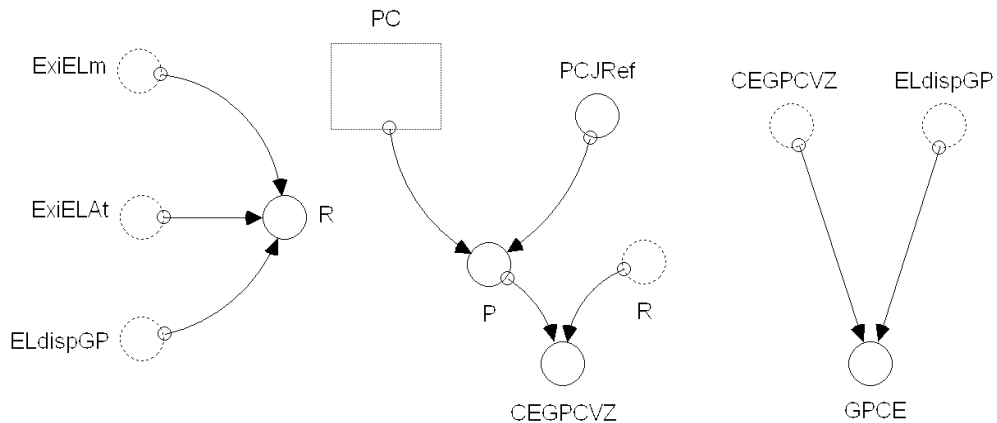


Figura 10 – Diagramas de fluxos da energia líquida e metabolizável disponíveis para ganho de peso.

$$R_{(t)} = 2 \cdot ((ELdispGP_{(t)} / (ExiELm_{(t)} + ExiELAt_{(t)})) - 1) \quad (14)$$

$$P_{(t)} = PC_{(t)} / PCJRef_{(t)} \quad (15)$$

$$CEGPCVZ_{(t)} = ((6,7 + R_{(t)}) + (20,3 - R_{(t)}) / (1 + \exp(-6 \cdot (P_{(t)} - 0,4)))) / 4,184 \quad (16)$$

$$GPCE_{(t)} = ELdispGP_{(t)} / (CEGPCVZ_{(t)} \cdot 0,92) \quad (17)$$

De acordo com o ARC (1980), CSIRO (1990) e CSIRO (2007) as concentrações energéticas do ganho de peso e da perda de peso são semelhantes. Assim sendo, foi assumido que $CEPPCVZ_{(t)} = CEGPCVZ_{(t)}$. A perda de peso corporal por energia foi estimada a partir do déficit de energia metabolizável, calculado por meio da Equação 18, associada à Figura 11 e à estrutura de decisão abaixo.

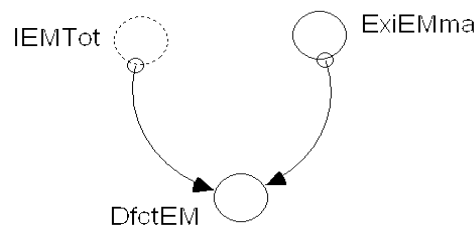


Figura 11 – Diagrama de fluxos do déficit de energia metabolizável.

Se $IEMTot_{(t)} < ExiEMma_{(t)}$ então

$$DfctEM_{(t)} = ExiEMma_{(t)} - IEMTot_{(t)} \text{ ou} \quad (18)$$

$$DfctEM_{(t)} = 0$$

A perda de peso corporal em função do déficit de energia foi calculada pela relação entre o déficit de energia líquida e a concentração de energia por kg de tecido mobilizado, assumindo-se 0,92 como o valor da relação entre a perda de peso de corpo vazio e a perda de peso corporal. Foi considerado que as reservas corporais de energia são utilizadas com 80% de eficiência para suprir as exigências de manutenção, o que está de acordo com o proposto no CSIRO (1990) e no CSIRO (2007) (Figura 12 e Equações 19, 20 e 21).

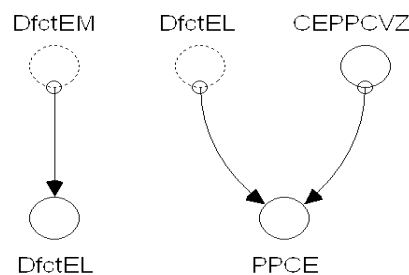


Figura 12 – Diagramas de fluxos da perda de peso corporal em função do déficit de energia.

$$DfctEL_{(t)} = DfctEM_{(t)} \cdot 0,8 \quad (19)$$

$$CEPPC_{(t)} = CEPPCVZ_{(t)} \cdot 0,92 \quad (20)$$

$$PPCE_{(t)} = DfctEL_{(t)} / CEPPC_{(t)} \quad (21)$$

3.1.4 - Exigência de proteína para manutenção

A exigência de proteína metabolizável de manutenção foi calculada de acordo com o descrito no NRC (1984). Nessa abordagem as exigências de proteína metabolizável de manutenção são obtidas pela soma das proteínas perdidas por descamação, da proteína metabólica fecal e da proteína urinária endógena (Figura 13 e Equações 22, 23, 24 e 25). A exigência de proteína metabolizável de manutenção foi convertida em exigência de proteína bruta de manutenção, levando-se em consideração a digestibilidade e o valor biológico da proteína bruta da ração, como descrito no NRC (1984) (Figura 13 e Equação 26).

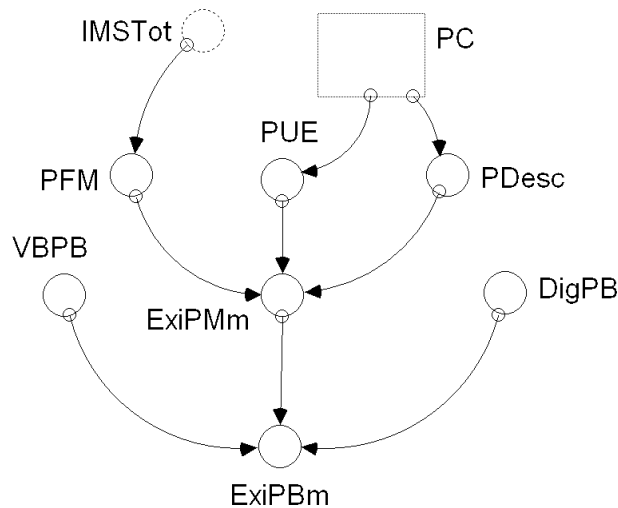


Figura 13 – Diagrama de fluxos das exigências de proteína metabolizável e bruta de manutenção.

$$ExiPMm_{(t)} = PDesc_{(t)} + PFM_{(t)} + PUE_{(t)} \quad (22)$$

$$PDesc_{(t)} = PC^{0,6}_{(t)} \cdot 0,20 \quad (23)$$

$$PFM_{(t)} = IMSTot_{(t)} \cdot 33,4 \quad (24)$$

$$PUE_{(t)} = PC^{0,5}_{(t)} \cdot 2,75 \quad (25)$$

$$ExiPBm_{(t)} = ExiPMm_{(t)} / (VBPB \cdot DigPB) \quad (26)$$

3.1.5 - Variação de peso em função da proteína

O ganho de peso em função da proteína foi estimado a partir da proteína bruta disponível para ganho de peso, calculada pela diferença entre a ingestão total de proteína bruta e a exigência de proteína bruta para manutenção, como pode ser observado na Figura 14 e na Equação 27, que está associada à estrutura de decisão abaixo.

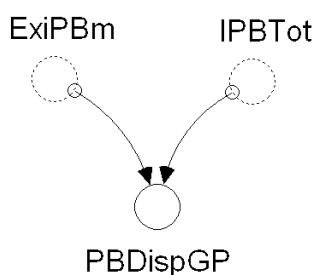


Figura 14 – Diagrama de fluxos da proteína bruta disponível para ganho de peso.

Se $IPBTot_{(t)} > ExiPBm_{(t)}$ então

$$PBDispGP_{(t)} = IPBTot_{(t)} - ExiPBm_{(t)} \text{ ou} \quad (27)$$

$$PBDispGP_{(t)} = 0$$

A concentração de proteína bruta no ganho de peso de corpo vazio foi estimada em função da concentração de energia no ganho de peso de corpo vazio, de acordo com o descrito no NRC (1984) (Figura 15 e Equação 28). A exigência de proteína metabolizável para ganho de peso de corpo vazio foi calculada a partir da concentração de proteína no ganho de peso de corpo vazio, considerando-se a eficiência como função do peso de corpo vazio, como descrito no NRC (2000) e representado na Figura 15 e Equações 29 e 30, associadas à estrutura de decisão abaixo.

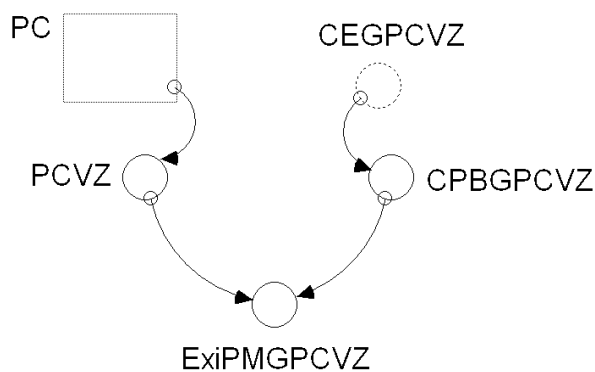


Figura 15 – Diagrama de fluxos da concentração de proteína bruta no ganho de peso de corpo vazio e da exigência de proteína metabolizável para ganho de peso de corpo vazio.

$$CPBGPCVZ_{(t)} = 268 - 29,4 \cdot CEGPCVZ_{(t)} \quad (28)$$

Se $PCVZ_{(t)} > 300$ então

$$ExiPMGPCVZ_{(t)} = CPBGPCVZ_{(t)} / 0,492 \text{ ou} \quad (29)$$

$$ExiPMGPCVZ_{(t)} = CPBGPCVZ_{(t)} / ((83,4 - 0,114 \cdot PCVZ_{(t)}) / 100) \quad (30)$$

A exigência de proteína bruta para ganho de peso de corpo vazio foi calculada de acordo com o descrito no NRC (1984) e o ganho de peso corporal por proteína foi calculado a partir da relação entre a proteína bruta disponível para ganho de peso e a exigência de proteína bruta para ganho de peso. (Figura 16 e Equações 31, 32 e 33).

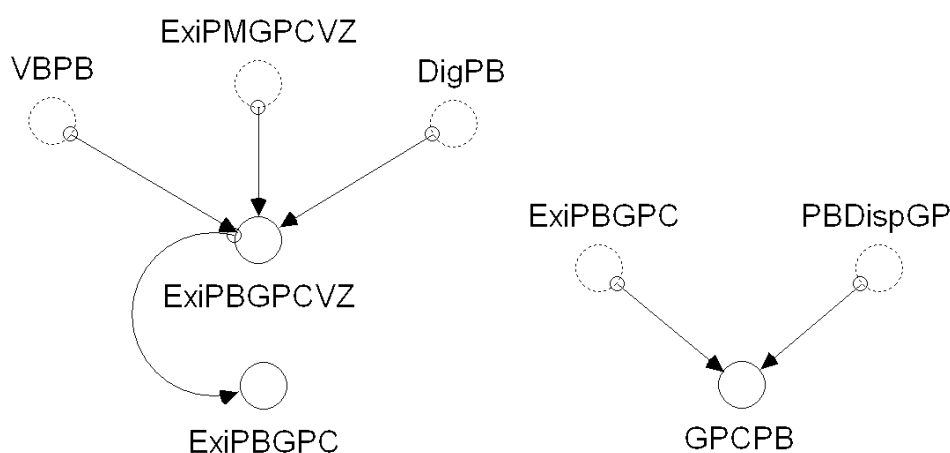


Figura 16 – Diagramas de fluxos das exigências de proteína metabolizável e bruta por quilo de ganho de peso e do ganho de peso corporal em função da disponibilidade de proteína.

$$ExiPBGPCVZ_{(t)} = ExiPMGPCVZ_{(t)} / (VBPB \cdot DigPB) \quad (31)$$

$$ExiPBGPC_{(t)} = ExiPBGPCVZ_{(t)} \cdot 0,92 \quad (32)$$

$$GPCPB_{(t)} = PBDispGP_{(t)} / ExiPBGPC_{(t)} \quad (33)$$

A perda de peso corporal por deficiência de proteína bruta foi calculada a partir do déficit de proteína bruta e da concentração de proteína bruta nos tecidos mobilizados, assumindo-se que $CPBPPCVZ_{(t)} = CPBGPCVZ_{(t)}$. Foi considerado que a proteína bruta dos tecidos mobilizados é utilizada com 85% de eficiência para suprir as exigências de proteína bruta de manutenção, como sugerido no ARC (1984) (Figura 17 e Equações 34, 35 e 36).

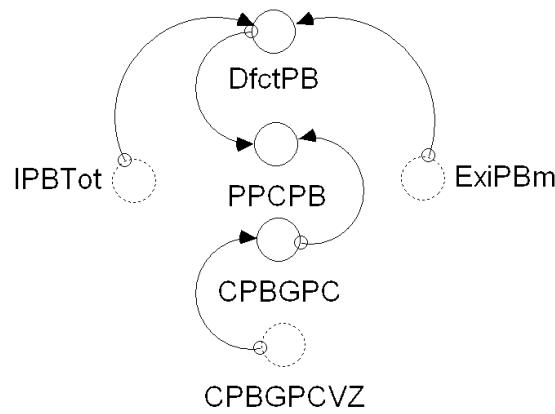


Figura 17 – Diagrama de fluxos da perda de peso corporal em função do déficit de proteína.

Se $IPBTot_{(t)} < ExiPBm_{(t)}$ então

$$DfctPB_{(t)} = ExiPBm_{(t)} - IPBTot_{(t)} \text{ ou} \quad (34)$$

$$DfctPB_{(t)} = 0$$

$$PPCPB_{(t)} = DfctPB_{(t)} / (CPBGPC_{(t)} \cdot 0,85) \quad (35)$$

$$CPBGPC_{(t)} = CPBGPCVZ_{(t)} \cdot 0,92 \quad (36)$$

3.1.6 – Variação de peso corporal

O ganho de peso corporal foi calculado como o menor valor entre o ganho de peso corporal em função da energia e o ganho de peso corporal em função da proteína, como demonstrado na estrutura de decisão abaixo e na Figura 18.

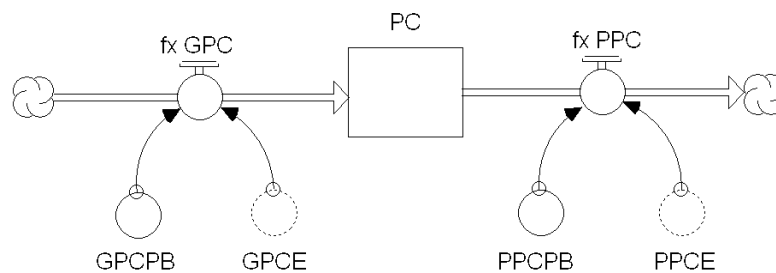


Figura 18 – Diagrama de fluxos da variação de peso corporal dos animais.

Se $GPCPB_{(t)} < GPCE_{(t)}$ então

$$fx_GPC_{(t)} = GPCPB_{(t)} \text{ ou}$$

If $GPCPB_{(t)} > GPCE_{(t)}$ então

$$fx_GPC_{(t)} = GPCE_{(t)} \text{ ou}$$

$$fx_GPC_{(t)} = 0$$

Da mesma forma, a perda de peso corporal foi calculada como o maior valor entre a perda de peso em função do déficit de energia e a perda de peso por déficit de proteína, como demonstrado na estrutura de decisão abaixo e na Figura 18.

Se $PPCPB_{(t)} > PPCE_{(t)}$ então

$fx_PPC_{(t)} = PPCPB_{(t)}$ ou

If $PPCPB_{(t)} < PPCE_{(t)}$ então

$fx_PPC_{(t)} = PPCE_{(t)}$ ou

$fx_PPC_{(t)} = 0$

O peso corporal atual dos animais foi calculado a partir do peso corporal do dia anterior e do ganho ou da perda de peso atual (Figura 18 e Equação 37).

$$PC_{(t)} = PC_{(t-dt)} + (fx_GPC_{(t)} - fx_PPC_{(t)}) \cdot dt \quad (37)$$

3.2- Módulo Vegetal

3.2.1 - Crescimento e disponibilidade de forragem

As equações para cálculo das estimativas de crescimento e disponibilidade de forragem foram obtidas em Brito et al. (1998).

A disponibilidade atual de forragem por hectare foi calculada em função da disponibilidade de forragem do dia anterior e do crescimento corrigido e desaparecimento diário de forragem do dia atual, como demonstrado na Figura 19.

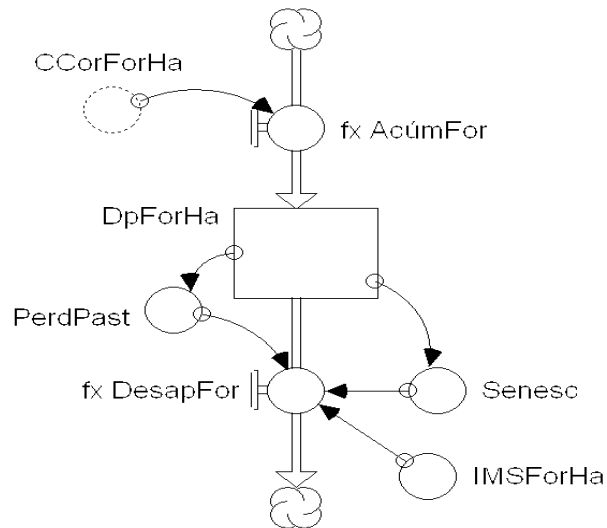


Figura 19 – Diagrama de fluxos da disponibilidade de forragem por hectare.

O diagrama de fluxos da disponibilidade de forragem por hectare pode ser matematicamente representado como:

$$DpForHa_{(t)} = DpForHa_{(t-dt)} + (fx_AcúmFor_{(t)} - fx_DesapFor_{(t)}) \cdot dt \quad (38)$$

$$fx_AcúmFor_{(t)} = CCorForHa_{(t)} \quad (39)$$

O desaparecimento de forragem por hectare foi computado como o somatório da ingestão de matéria seca por hectare, perdas por pisoteio durante o pastejo e perdas por senescência do material vegetal (Figura 19 e Equação 40).

$$fx_DesapFor_{(t)} = PerdPast_{(t)} + Senesc_{(t)} + IMSForHa_{(t)} \quad (40)$$

A quantidade de matéria seca de forragem perdida por senescência e devido ao pisoteio durante o pastejo foi estimada em função da disponibilidade de forragem (Figura 19 e Equações 41 e 42).

$$Senesc_{(t)} = DpForHa_{(t)} \cdot 0,005 \quad (41)$$

$$PerdPast_{(t)} = DpForHa_{(t)} \cdot 0,01 \quad (42)$$

O crescimento corrigido de forragem foi estimado utilizando-se fatores multiplicativos para correção do crescimento potencial, em função da disponibilidade de

forragem, da precipitação mensal média e da temperatura média diária (Figura 20 e Equação 43).

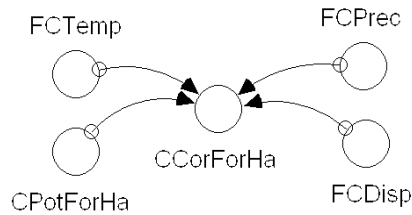


Figura 20 – Diagrama de fluxos do crescimento corrigido de forragem por hectare.

$$CCorForHa_{(t)} = CPotForHa_{(t)} \cdot FCCFDp_{(t)} \cdot FCCFPcp_{(t)} \cdot FCCFTemp_{(t)} \quad (43)$$

Os fatores de correção do crescimento potencial de forragem por hectare, em função da precipitação pluviométrica, da temperatura do solo e da disponibilidade de forragem por hectare, estão representados na Figura 21.

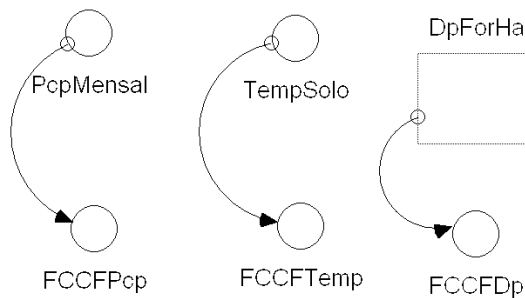


Figura 21 – Diagramas de fluxos dos fatores de correção do crescimento potencial de forragem por hectare.

Foi considerado que quando os valores de disponibilidade de forragem por hectare estiverem situados entre 825 e 4.000 kg de matéria seca, não há limitação do crescimento de forragem em função da disponibilidade de forragem. Neste intervalo o fator de correção do crescimento potencial de forragem em função da disponibilidade assume valor 1,0. Acima e abaixo deste intervalo, foi aplicada a Equação 44. A estrutura de decisão associada à Equação 44 encontra-se abaixo.

Se $(DpForHa_{(t)} > 825$ e $DpForHa_{(t)} < 4.000$) então

$$FCCFDp_{(t)} = 1,0 \text{ ou}$$

$$FCCFDp_{(t)} = 0,531515 + 0,000697 \cdot DpForHa_{(t)} - 0,00000015 \cdot DpForHa_{(t)}^2 \quad (44)$$

A aplicação deste fator de correção foi baseada na pressuposição de que a disponibilidade de forragem por hectare está relacionada com a quantidade de material fotossinteticamente ativo. Desta forma, em condições de alta disponibilidade de forragem há maior sombreamento das folhas. Já em condições de baixa disponibilidade há pouca área foliar para realização de fotossíntese.

O fator de correção do crescimento de forragem em função da precipitação pluviométrica assume valor 1,0 quando a precipitação pluviométrica mensal estiver entre 270 e 310 mm. Acima e abaixo deste intervalo, foi aplicada a Equação 45. A estrutura de decisão associada à Equação 45 encontra-se abaixo.

Se $PcpMensual_{(t)} \geq 270$ e $PcpMensual_{(t)} \leq 310$ então

$FCCFPcp_{(t)} = 1,0$ ou

$$FCCFPcp_{(t)} = 0,002865 + 0,00694 \cdot PcpMensual_{(t)} - 0,000012 \cdot PcpMensual_{(t)}^2 \quad (45)$$

Quando a temperatura do solo situa-se entre 31,0 e 37,0°C o valor do fator de correção do crescimento de forragem em função da temperatura é assumido como 1,0. Acima e abaixo deste intervalo, foi aplicada a Equação 46. A estrutura de decisão associada à Equação 46 encontra-se abaixo.

Se $TempSolo_{(t)} \geq 31,0$ e $TempSolo_{(t)} \leq 37,0$ então

$FCCFTemp_{(t)} = 1,0$ ou

$$FCCFTemp_{(t)} = -0,71734 + 0,101799 \cdot TempSolo_{(t)} - 0,00149766 \cdot TempSolo_{(t)}^2 \quad (46)$$

O valor de temperatura do solo foi estimado a partir da temperatura do ar, como demonstrado na Equação 47.

$$TempSolo_{(t)} = (TempAr_{(t)} + 2,6) / 0,93 \quad (47)$$

3.2.2 - Digestibilidade e proteína bruta do pasto

A digestibilidade atual da forragem oferecida foi estimada a partir da digestibilidade da forragem oferecida no dia anterior e do crescimento de forragem. O valor máximo de digestibilidade foi assumido como 0,70 (Figura 22 e Equações 48, 49 e 50).

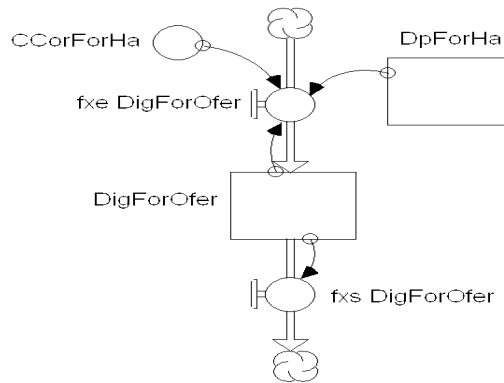


Figura 22 – Diagrama de fluxos da digestibilidade da forragem oferecida.

$$DigForOfer_{(t)} = DigForOfer_{(t-dt)} + (fxe_DigForOfer_{(t)} - fxs_DigForOfer_{(t)}) \cdot dt \quad (48)$$

$$fxe_DigForOfer_{(t)} = ((DpForHa_{(t)} \cdot DigForOfer_{(t)} \cdot 0,998) + CCorForHa_{(t)} \cdot 0,70) / (DpForHa_{(t)} + CCorForHa_{(t)}) \quad (49)$$

$$fxs_DigForOfer_{(t)} = DigForOfer_{(t)} \quad (50)$$

A mesma abordagem foi utilizada para cálculo da estimativa da porcentagem de proteína bruta da forragem oferecida, assumindo-se 12,5% como valor máximo (Figura 23 e Equações 51, 52 e 53).

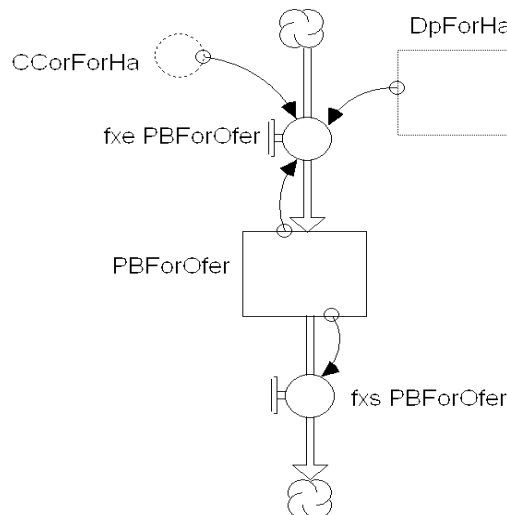


Figura 23 – Diagrama de fluxos da proteína bruta da forragem oferecida.

$$PBForOfer_{(t)} = PBForOfer_{(t-dt)} + (fxe_PBForOfer_{(t)} - fxs_PBForOfer_{(t)}) \cdot dt \quad (51)$$

$$fxe_PBForOfer_{(t)} = ((DpForHa_{(t)} \cdot PBForOfer_{(t)} \cdot 0,993) + CCorForHa_{(t)} \cdot 0,125) / (DpForHa_{(t)} + CCorForHa_{(t)}) \quad (52)$$

$$fxs_PBForOfer_{(t)} = PBForOfer_{(t)} \quad (53)$$

A digestibilidade da forragem ingerida e a proteína bruta da forragem ingerida foram estimadas a partir da digestibilidade da forragem oferecida, da proteína bruta da forragem oferecida, respectivamente, e do grau de seleção exercido pelos animais (Figura 24 e Equações 54 e 55).

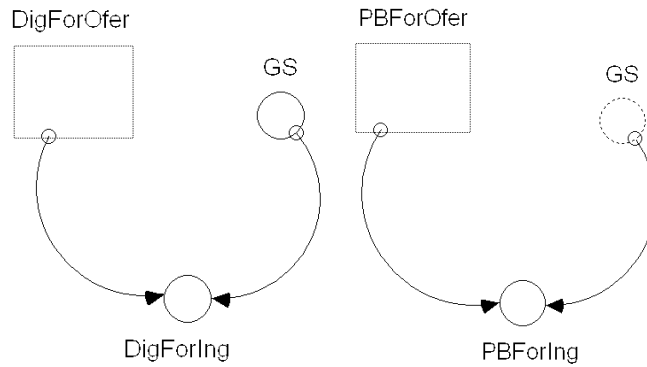


Figura 24 – Diagramas de fluxos da digestibilidade da forragem ingerida e da proteína bruta da forragem ingerida.

$$DigForIng_{(t)} = DigForOfer_{(t)} \cdot GS_{(t)} \quad (54)$$

$$PBForIng_{(t)} = PBForOfer_{(t)} \cdot GS_{(t)} \quad (55)$$

Para estimar o grau de seleção exercido pelos animais foram utilizados fatores de correção cujos valores dependem da digestibilidade da forragem oferecida e da disponibilidade de matéria seca de forragem por hectare, tal como em Brito et al. (1998) (Figura 25 e Equação 56).

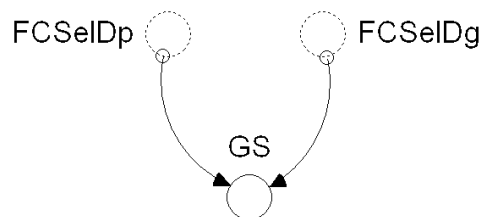


Figura 25 – Diagrama de fluxos do grau de seleção exercido pelos animais, em função dos fatores de correção da seletividade pela disponibilidade e digestibilidade da forragem.

$$GS_{(t)} = 1 + FCSelDg_{(t)} \cdot FCSelDp_{(t)} \quad (56)$$

Foi assumido que quando a digestibilidade da forragem é maior ou igual a 0,70 os animais não exercem atividade de seleção e nessa condição o fator de correção da

seleção por digestibilidade assume valor nulo (Figura 26). Do contrário, foi aplicada a Equação 57, que está associada à estrutura de decisão abaixo.

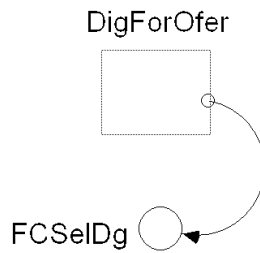


Figura 26 – Diagrama de fluxos do fator de correção da seletividade em função da digestibilidade de forragem.

Se $DigForOfer_{(t)} \geq 0,7$ então

$$FCSelDg_{(t)} = 0 \text{ ou}$$

$$FCSelDg_{(t)} = 0,5833 - 0,8333 \cdot DigForOfer_{(t)} \quad (57)$$

Quando a ingestão de matéria seca de forragem por hectare for maior que 3,0% da disponibilidade de forragem por hectare foi assumido que não há condições de disponibilidade de forragem para que os animais exerçam significativa atividade de seleção, independentemente da digestibilidade da forragem oferecida. Nestas condições, o fator de correção da seletividade por disponibilidade assume valor nulo. Do contrário, esse fator de correção é calculado utilizando-se a Equação 59, que está associada à estrutura de decisão abaixo. A porcentagem de utilização de forragem foi calculada como demonstrado na Equação 58. A relação entre essas variáveis está demonstrada de forma diagramática na Figura 27.

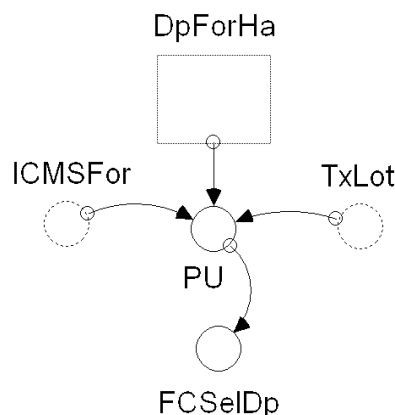


Figura 27 – Diagrama de fluxos do fator de correção da seletividade em função da disponibilidade de forragem.

$$PU_{(t)} = (ICMSFor_{(t)} \cdot TxLot_{(t)}) / DpForHa_{(t)} \quad (58)$$

Se $PU_{(t)} \geq 0,03$ então

$$FCSelDp_{(t)} = 0 \text{ ou}$$

$$FCSelDp_{(t)} = 1,2 - 40 \cdot PU_{(t)} \quad (59)$$

3.2.3 – Energia metabolizável e metabolizabilidade da Forragem Ingerida

A concentração de energia metabolizável da forragem ingerida foi estimada a partir do valor de digestibilidade da forragem ingerida, utilizando-se as equações descritas no MAFF (1984) (Figura 28 e Equações 60 e 61).

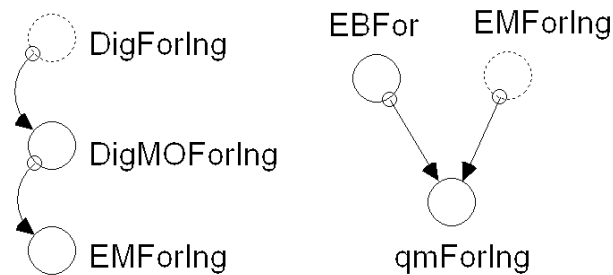


Figura 28 – Diagramas de fluxos da energia metabolizável e da metabolizabilidade da forragem ingerida.

$$DigMOForIng_{(t)} = -4,8 + 0,98 \cdot (DigForIng_{(t)} \cdot 100) \quad (60)$$

$$EMForIng_{(t)} = DigMOForIng_{(t)} \cdot 0,15 \cdot 0,2389 \quad (61)$$

A metabolizabilidade da forragem ingerida foi calculada como descrito no AFRC (1993), assumindo o valor fixo de 4,4933 Mcal de energia bruta por quilo de matéria seca da forragem (Figura 28 e Equação 62).

$$qmForIng_{(t)} = EMForIng_{(t)} / EBFfor \quad (62)$$

3.3 – Avaliações de sensibilidade do modelo

Foram realizados três testes de sensibilidade do modelo de simulação. Em todos os testes de sensibilidade, o tempo simulado foi de 3.650 dias (10 anos) e julho foi o mês inicial, visto ser, em geral, o mês de grande disponibilidade de animais para início da recria. O peso médio inicial dos animais, utilizados para início da recria, foi considerado como 180 kg. O peso de venda dos animais terminados foi considerado como 450 kg. Durante os 3.650 dias simulados, o modelo de simulação foi programado para comprar animais para início da recria, imediatamente após a venda dos animais

terminados. Desta forma, o encerramento de cada ciclo produtivo foi atrelado ao início de um ciclo produtivo, subsequente.

No primeiro teste de sensibilidade foram avaliadas as respostas do crescimento de forragem (kg de MS/ha/dia) e da disponibilidade de forragem (kg de MS/ha) a duas condições de precipitação pluviométrica e temperatura do ar. A primeira das condições de precipitação pluviométrica e temperatura do ar utilizada são típicas da região Sudeste do Brasil, com períodos de seca ocorrendo durante o inverno e épocas chuvosas durante o verão. As informações para simulação dessa condição foram obtidas em Cunha (2004) e correspondem a médias mensais de 10 anos de dados da estação meteorológica da fazenda Santa Mônica da Embrapa – Gado de Leite, localizada no município de Valença – RJ. A outra condição de precipitação pluviométrica e temperatura do ar são típicas da região do Agreste do Nordeste do Brasil, com períodos de seca ocorrendo durante o verão e épocas chuvosas durante o inverno. As informações para simulação dessa condição foram obtidas a partir de informações de 20 anos de coleta de dados na estação meteorológica de Arapiraca, AL.

Na condição climática da região Sudeste a disponibilidade inicial de forragem foi considerada como 2.000 kg de MS/ha, devido ao mês de julho, mês inicial do tempo simulado, ser um mês da época seca do ano. Já, para a condição climática da região Nordeste, a disponibilidade inicial de forragem foi considerada como 3.000 kg de MS/ha, devido ao mês de julho ser um mês da época chuvosa do ano. O crescimento potencial diário de matéria seca de forragem por hectare foi considerado como 80,0 kg, em ambas as condições. A taxa de lotação adotada foi de 1,6 animais por hectare, obtida a partir da utilização de 1.600 animais em 1.000 hectares de pastagens.

No segundo teste de sensibilidade foram avaliadas as respostas da disponibilidade de matéria seca de forragem por hectare, da proteína bruta e digestibilidade da forragem oferecida e ingerida, do consumo de matéria seca de forragem por animal, do ganho de peso diário por animal e por hectare e do peso corporal dos animais, às variações na taxa de lotação. As taxas de lotação utilizadas foram 1,0, 1,2, 1,4, 1,6, 1,8 e 2,0 animais por hectare. Essas taxas de lotação foram obtidas considerando-se totais de 1.000, 1.200, 1.400, 1.600, 1.800 e 2.000 animais, em um total fixado de 1.000 hectares de pastagens. As condições de precipitação pluviométrica e temperatura do ar utilizada para realização desse teste de sensibilidade foram as mesmas do teste de sensibilidade anterior, considerando a região sudeste do Brasil. Não foi considerada a suplementação de energia e proteína.

No terceiro teste de sensibilidade, foram avaliadas as respostas do consumo de matéria seca do suplemento, do ganho de peso diário por animal e do peso corporal, as variações no nível de fornecimento de suplemento. Foram utilizados seis níveis de fornecimento de suplemento. Os níveis de fornecimento de suplemento, na base da matéria natural foram 0,0, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 e 0,5% do peso corporal dos animais. O suplemento foi fornecido apenas de maio a setembro, meses de menor disponibilidade de MS de forragem. A taxa de lotação adotada foi de 2,0 animais por hectare. O teor de matéria seca, de proteína bruta e a concentração de energia metabolizável do suplemento foram, respectivamente, de 88,0%, 30,0% e 3,0 Mcal/kg. As condições de precipitação pluviométrica e temperatura do ar foram as mesmas adotadas no teste de sensibilidade anterior.

3.4 – Comparação entre valores real e gerados pelo modelo

Para avaliar a capacidade do modelo em gerar valores simulados que se aproximem da realidade foi medido o grau de associação linear entre os valores gerados e observados, utilizando-se o procedimento Proc Corr do SAS. Para tal foi calculado o coeficiente de correlação (r).

$$r = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \cdot (y_i - \bar{y})^2}}$$

em que:

x e y são valores observados e preditos, respectivamente.

A variável resposta avaliada foi o ganho de peso médio diário dos animais. Foram usadas 15 informações de ganho de peso diário de bovinos em pasto, durante o período de transição seca – água, época das águas e período de transição água – seca. Os dados de entrada para o modelo e os valores observados foram obtidos em Villela (2004). A significância da correlação foi testada considerando as seguintes hipóteses estatísticas:

$$H_0: p = 0 \quad \text{e} \quad H_1: p \neq 0$$

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Testes de sensibilidade

4.1.1 – Respostas a variação das condições de precipitação pluviométrica e temperatura do ar

Os valores de temperatura do ar e precipitação pluviométrica dos municípios de Valença-RJ e Arapiraca-AL, utilizadas como dados de entrada no modelo de simulação, para a realização dos testes de sensibilidade, estão demonstrados nas Figuras 29 e 30, respectivamente. As temperaturas médias anuais nos municípios de Valença e Arapiraca foram, respectivamente, de 21,9 e 25,6°C. Observa-se que a temperatura média mensal do ar no município de Valença-RJ foi menor que a do município de Arapiraca-AL, em todos os meses do ano. Entretanto, ambas seguiram padrão cíclico semelhante, com maiores temperaturas entre os meses de outubro e março e menores temperaturas entre os meses de abril e setembro.

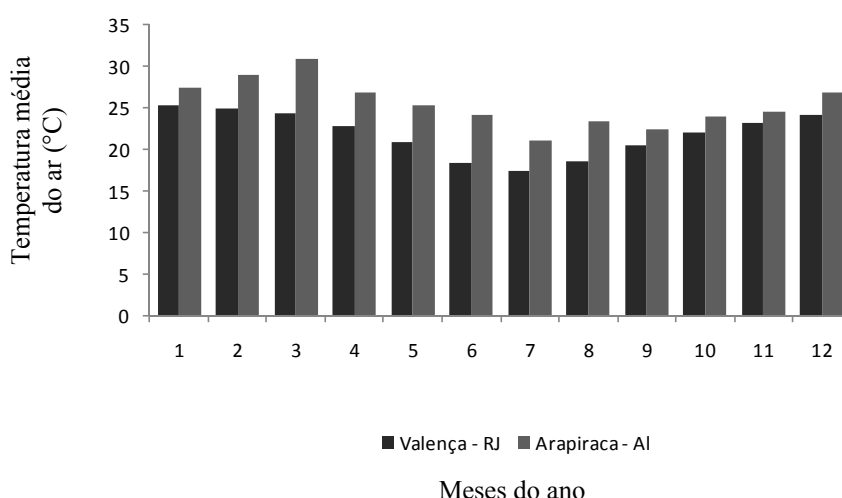


Figura 29 – Condição de temperatura média mensal do ar ao longo do ano, nos municípios de Valença-RJ e Arapiraca-AL.

As precipitações pluviométricas anuais nos municípios de Valença e Arapiraca foram, respectivamente, de 1.275 e 877 mm. Observa-se que o período de maior precipitação pluviométrica no município de Arapiraca corresponde aos meses de inverno, enquanto o período de maior precipitação pluviométrica no município de Valença corresponde aos meses de verão.

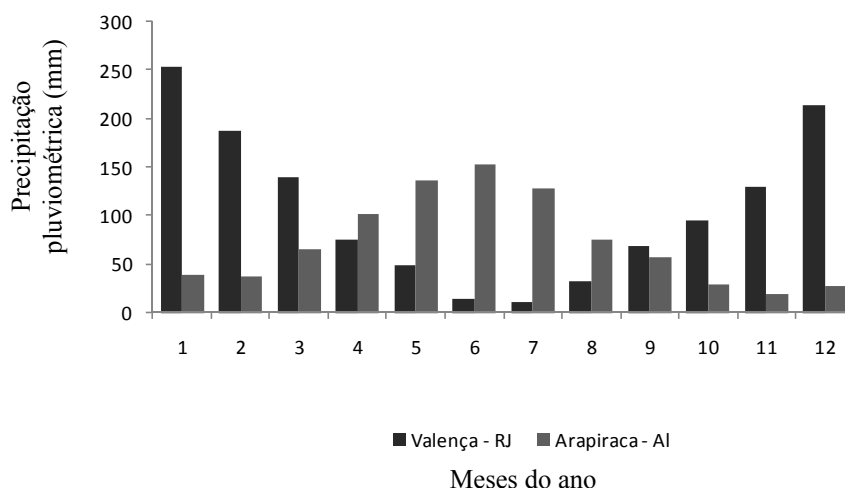


Figura 30 – Condição de precipitação pluviométrica mensal ao longo do ano, nos municípios de Valença-RJ e Arapiraca-AL.

Embora o crescimento de forragem tenha apresentado comportamento cíclico no decorrer do ano, os meses de máximo e mínimo crescimento foram diferentes para os municípios de Valença e Arapiraca (Figura 31). Para ambos, os meses de maior crescimento de forragem coincidiram com os de maior precipitação pluviométrica e os meses de menor crescimento com os de menos precipitação, o que demonstra coerência nos resultados produzidos pelo modelo de simulação. O crescimento diário médio de forragem por hectare, estimado pelo modelo, durante os 10 anos de simulação (Figura 31), foi maior para o município de Valença-RJ em relação ao de Arapiraca-AL (40,51 vs 32,61 kg de MS por hectare).

Pedreira e Mattos (1981) estudaram o crescimento de 25 espécies de gramíneas tropicais no estado de São Paulo e observaram que durante os meses de menor precipitação pluviométrica o crescimento diário foi inferior a 10,0 kg de matéria seca por hectare. Já, nos meses de maior precipitação o crescimento diário chegou a 80 kg de matéria seca por hectare. Essas taxas de crescimento são compatíveis com as geradas pelo modelo de simulação, nas condições de precipitação e temperatura do município de Valença-RJ.

Nos meses de maior precipitação pluviométrica, o crescimento de forragem estimado pelo modelo foi maior para o município de Valença, e nos meses de menor precipitação pluviométrica o modelo estimou maior crescimento de forragem para o município de Arapiraca, o que pode ser explicado pelas baixas temperaturas médias do ar no município Fluminense.

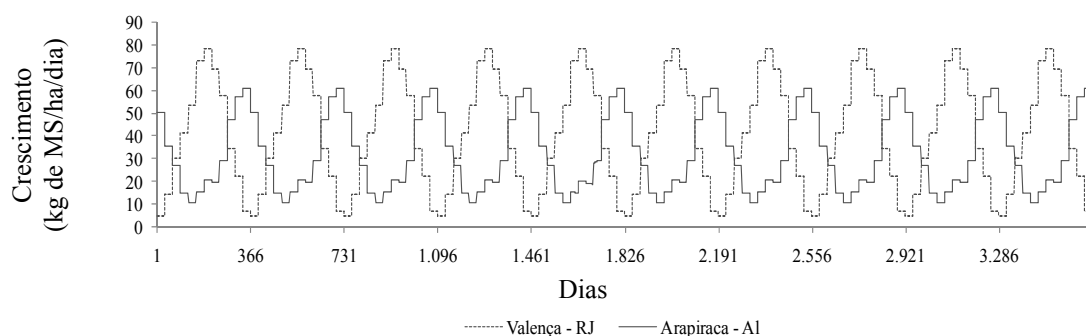


Figura 31 – Resposta do crescimento diário de forragem a variação das condições de precipitação pluviométrica e temperatura do ar dos municípios de Valença - RJ e Arapiraca - AL.

Como resultado do crescimento de forragem a disponibilidade de forragem também apresentou comportamento cíclico ao longo do ano, com maiores valores nos meses de maior precipitação pluviométrica e menores valores nos meses de menor precipitação (Figura 32). Na Figura 32, fica evidente a maior disponibilidade de forragem nos meses de maior precipitação pluviométrica, para o município de Valença, em relação ao de Arapiraca, o que é consequência do maior crescimento de forragem estimado para o município Fluminense, durante os meses de maior precipitação. Já, nos meses de menor precipitação, as curvas não evidenciam diferenças numéricas para disponibilidade de forragem nas duas condições avaliadas. Isso se deve ao maior crescimento de forragem estimado para o município de Arapiraca em relação ao de Valença, nos meses de menor precipitação pluviométrica.

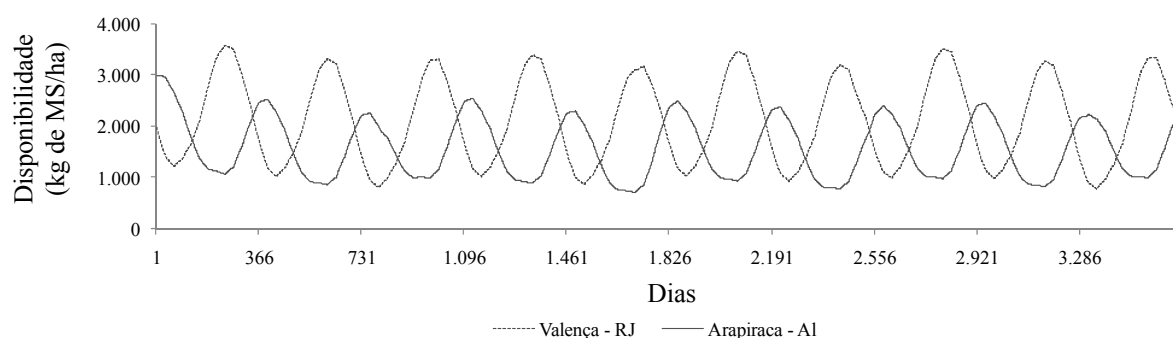


Figura 32 – Resposta da disponibilidade de forragem a variação das condições de precipitação pluviométrica e temperatura do ar dos municípios de Valença - RJ e Arapiraca - AL.

As respostas de crescimento e disponibilidade de forragem à variação na temperatura do ar e precipitação pluviométrica apresentam-se de acordo com o que seria esperado.

4.1.2 – Respostas a variação da taxa de lotação

A variação da disponibilidade de matéria seca de forragem por hectare, considerando as diferentes taxas de lotação, ao longo dos 10 anos de simulação, pode ser observada na Figura 33. Independente da taxa de lotação foi observado um padrão cíclico de disponibilidade de MS de forragem por hectare, com menor disponibilidade de forragem durante o inverno e maior disponibilidade durante o verão, que está diretamente relacionado com as condições de sazonalidade da temperatura do ar e da precipitação pluviométrica. Dessa forma, os resultados simulados são compatíveis com os que seriam esperados para gramíneas de origem tropical, em condição de clima tropical, com invernos secos e verões chuvosos, caso a taxa de lotação esteja sendo mantida constante.

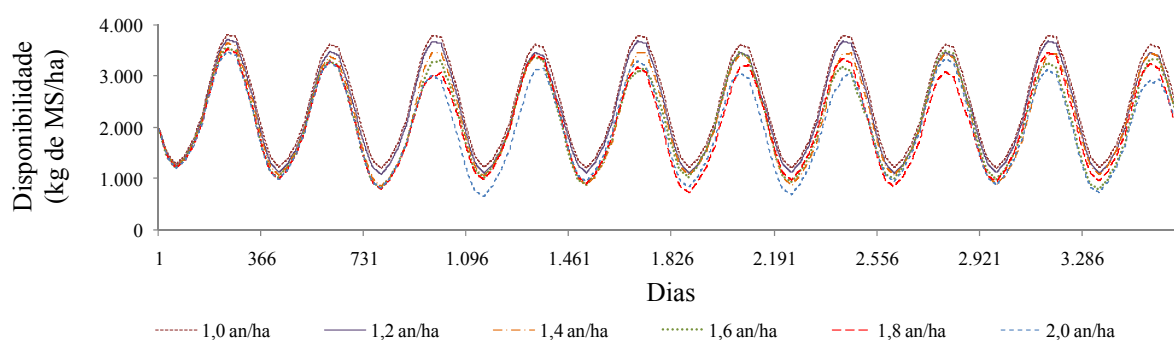


Figura 33 – Resposta da disponibilidade de forragem (kg de MS/ha) a variação do número de animais por hectare.

Observa-se na Figura 34 que as menores disponibilidades médias de forragem estão associadas com as maiores taxas de lotação e vice-versa. Isso ocorre, principalmente, devido ao maior consumo de forragem nas áreas com maior número de animais. Para Barioni et al. (2008), a disponibilidade de forragem é função dos processos dinâmicos de crescimento, senescência, ingestão de forragem e perdas, processos esses que por sua vez, são afetados pela taxa de lotação. Fica evidente, assim como para Barioni et al. (2008), que a taxa de lotação é uma variável controle do modelo de simulação, enquanto que o crescimento de forragem, a senescência, a ingestão, as perdas durante o pastejo e a disponibilidade de forragem são variáveis resposta.

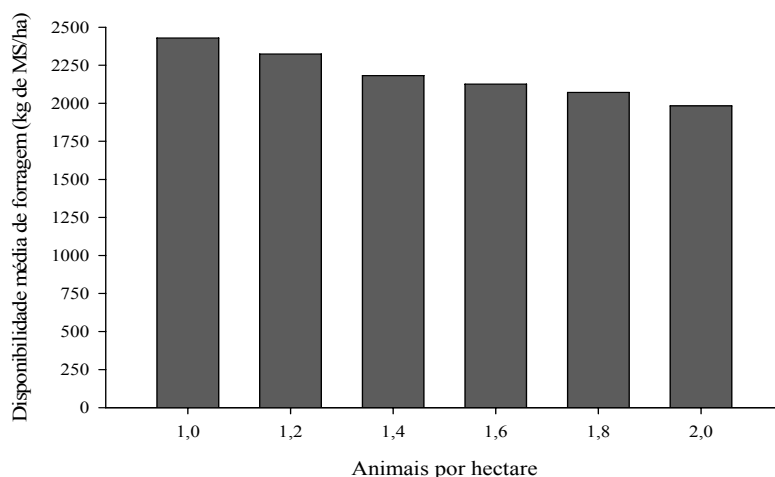


Figura 34 – Resposta da disponibilidade média de forragem a variação da taxa de lotação em animais por hectare.

As variações da porcentagem de proteína bruta na matéria seca da forragem oferecida e ingerida, durante os 10 anos de simulação, estão apresentadas nas Figuras 35 e 36, respectivamente. Segundo Peixoto et al. (2001) o padrão cíclico da porcentagem de proteína bruta na matéria seca da forragem é consequência das menores taxas de crescimento das plantas durante as épocas secas e maiores taxas de crescimento durante as épocas chuvosas, o que condiz com os resultados gerados pelo modelo ao longo de 10 anos, independentemente da taxa de lotação.

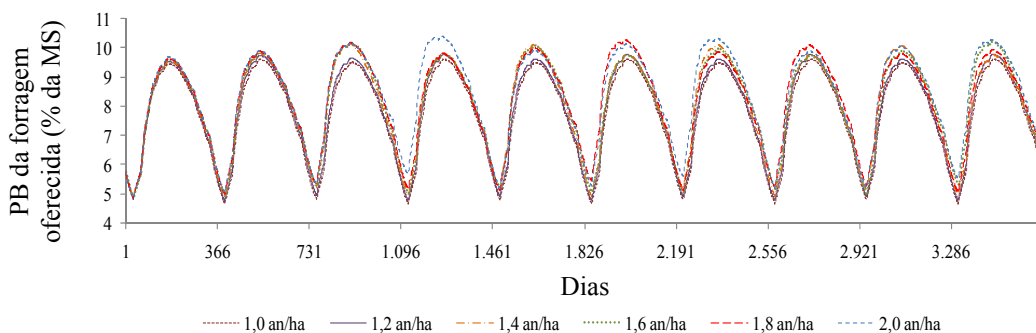


Figura 35 – Resposta da porcentagem de proteína bruta da forragem oferecida à variação da taxa de lotação, em animais por hectare.

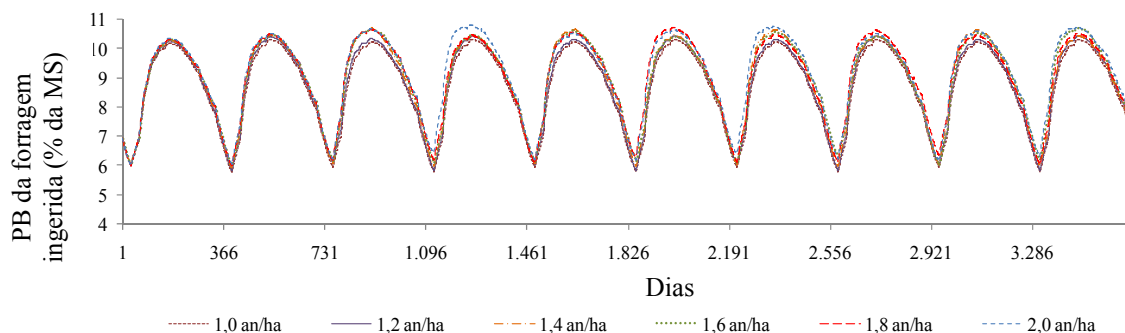


Figura 36 – Resposta da porcentagem de proteína bruta da forragem ingerida à variação da taxa de lotação, em animais por hectare.

Na Figura 37, observa-se que independentemente da taxa de lotação, a forragem ingerida apresentou maior porcentagem média de proteína bruta do que a oferecida, o que se deve a seleção exercida pelos animais, calculada no modelo de simulação como função da disponibilidade de matéria seca de forragem por animal e da digestibilidade da forragem.

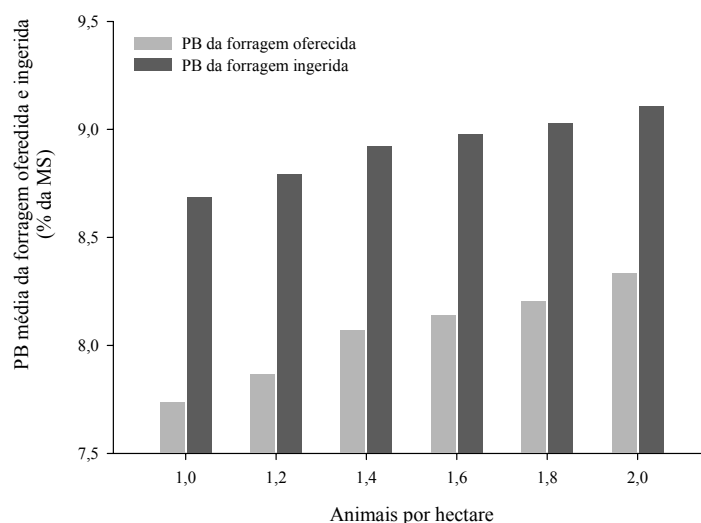


Figura 37 – Resposta da porcentagem média de proteína bruta da forragem oferecida e ingerida à variação da taxa de lotação, em animais por hectare.

Tanto a porcentagem média de proteína bruta da forragem oferecida, como a porcentagem média de proteína bruta da forragem ingerida aumentaram em resposta ao aumento da taxa de lotação (Figura 37). Lupinacci (2002), trabalhando com *Brachiaria brizantha* sob intensidades de pastejo constatou que as maiores intensidades resultaram em maiores percentuais de proteína bruta da forragem. O autor observou que para pastos manejados em lotação contínua nas alturas de 10, 20, 30 e 40 cm, os teores de proteína bruta da forragem foram de 10,65, 8,93, 8,64 e 8,04%, respectivamente. Em geral,

quando o pasto é mantido sob maior taxa de lotação, há menor acúmulo de colmos e de material morto, o que contribui para aumentar o teor de proteína bruta da forrageira.

Entretanto, como consequência da menor disponibilidade de matéria seca de forragem por animal, quanto maior a taxa de lotação, menor a diferença observada entre a porcentagem de proteína bruta da forragem oferecida e da ingerida demonstrando que, de acordo com o modelo de simulação, taxas de lotação mais elevadas resultam em menor seleção de forragem pelos animais (Figura 38). O decréscimo da diferença da porcentagem de proteína bruta da forragem oferecida e ingerida, em resposta ao aumento da taxa de lotação, indica que o modelo de simulação apresentou resultados compatíveis com os que seriam esperados.

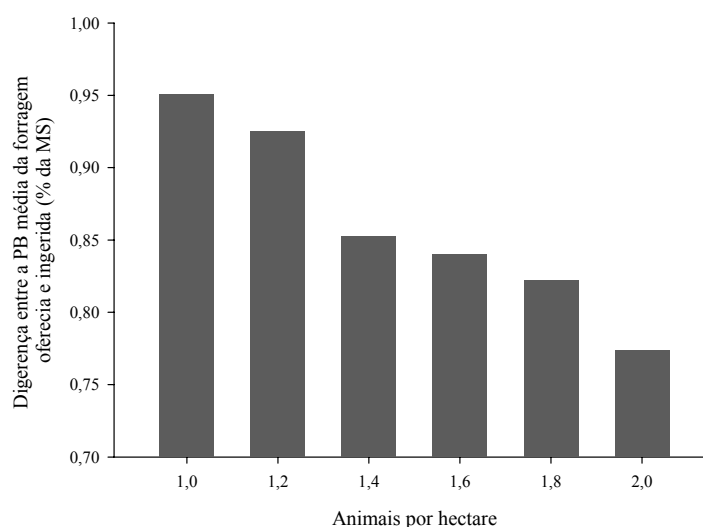


Figura 38 – Resposta da diferença da porcentagem média de proteína bruta da forragem oferecida e ingerida à variação da taxa de lotação, em animais por hectare.

Os resultados de variação da digestibilidade da matéria seca da forragem oferecida e ingerida, nos 10 anos simulados, seguiram a mesma lógica dos resultados de proteína bruta da forragem, com comportamento cíclico dependente das condições de temperatura do ar e precipitação pluviométrica, apresentando valores mais baixos durante as épocas secas e mais elevados durante as épocas chuvosas (Figuras 39 e 40). Moreira (2005), trabalhando com *Brachiaria decumbens* manejada em sistema de lotação contínua, observou variação sazonal da digestibilidade *in vitro* da matéria seca compatível com os resultados estimados pelo modelo de simulação. Os maiores valores de digestibilidade foram obtidos na época das águas, enquanto os menores valores corresponderam à época seca do ano. Os valores variaram de 71,61 a 54,17% no primeiro ano e de 59,42 a 45,12%. O autor não esclareceu o motivo dos valores de digestibilidade do primeiro ano terem sido maiores que os do segundo ano de avaliação.

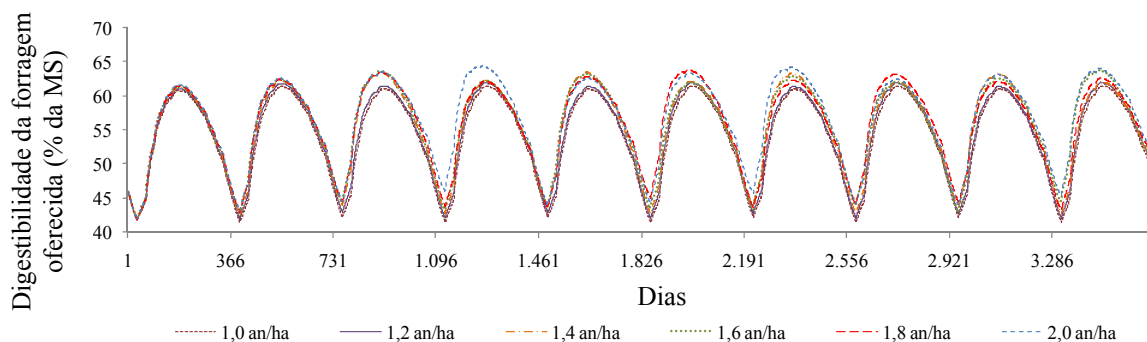


Figura 39 – Resposta da digestibilidade da forragem oferecida à variação da taxa de lotação, em animais por hectare.

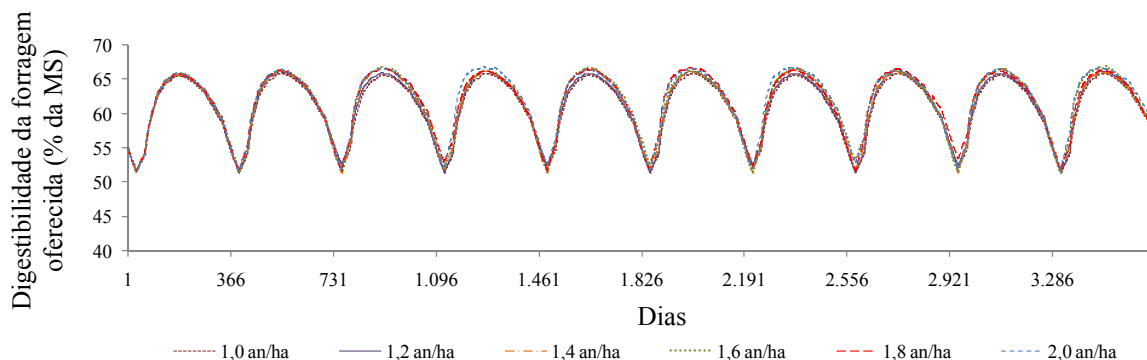


Figura 40 – Resposta da digestibilidade da forragem ingerida à variação da taxa de lotação, em animais por hectare.

A digestibilidade média da forragem oferecida e ingerida aumentou com o aumento da taxa de lotação (Figura 41). Tal como para o teor de proteína bruta, pastos mantidos sob maior taxa de lotação tendem a apresentar menor porcentagem de colmos e material morto e, portanto, maior digestibilidade. A digestibilidade da forragem ingerida foi maior que a da oferecida, independentemente da taxa de lotação. Porém, a diferença entre a digestibilidade da forragem oferecida e ingerida decresceu com o aumento da taxa de lotação (Figura 42), o que é consequência da redução da atividade seletiva dos animais, devido à diminuição da disponibilidade de forragem por animal.

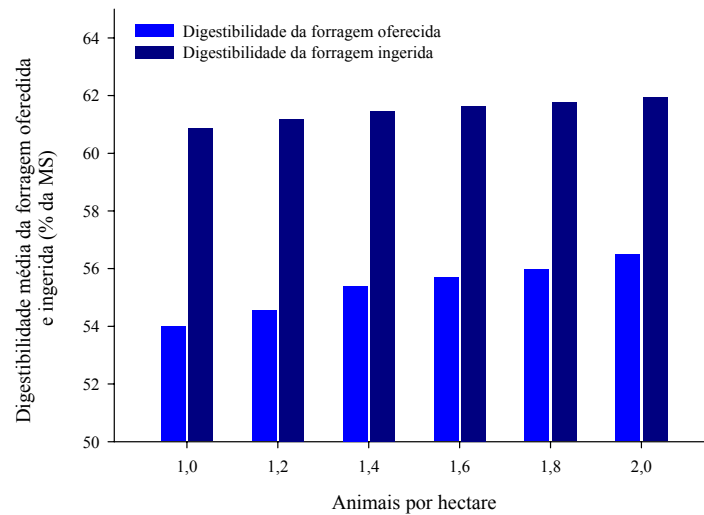


Figura 41 – Resposta da digestibilidade média da forragem oferecida e ingerida à variação da taxa de lotação, em animais por hectare.

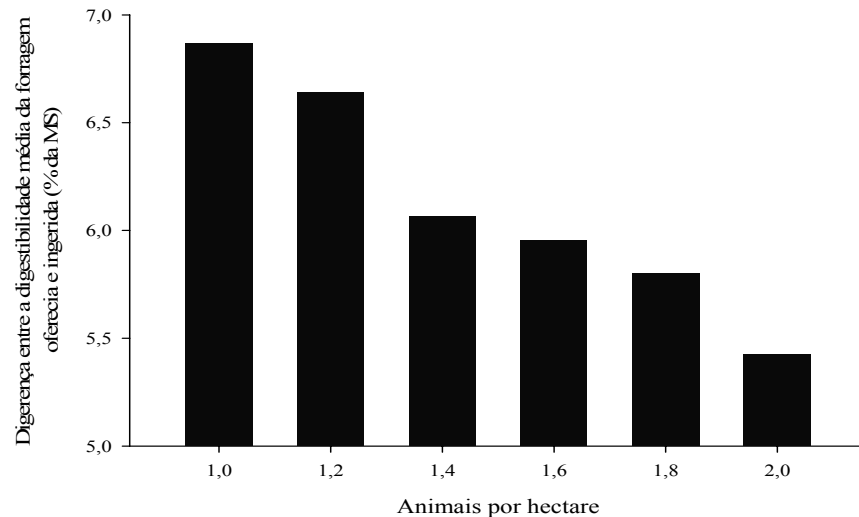


Figura 42 – Resposta da diferença da digestibilidade média da forragem oferecida e ingerida à variação da taxa de lotação, em animais por hectare.

Como consequência da redução da disponibilidade de forragem por animal, a ingestão média diária de matéria seca de forragem por animal diminuiu com o aumento da taxa de lotação (Figura 43). Vários estudos demonstraram que a disponibilidade de forragem e a disponibilidade de folhas no pasto têm efeitos sobre a ingestão de matéria seca de forragem (Almeida et al., 2000; Braga et al., 2006; Braga et al., 2007).

No presente modelo de simulação, as características do pasto que exercem influência sobre a ingestão de matéria seca de forragem são a disponibilidade de matéria seca por animal e a digestibilidade da forragem.

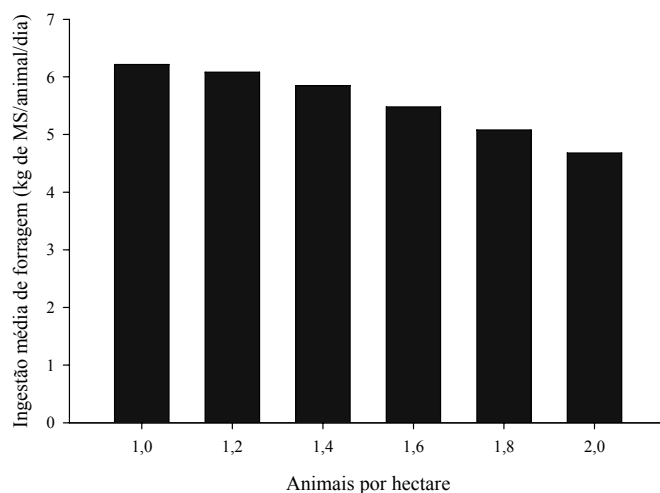


Figura 43 – Resposta da ingestão média diária de matéria seca de forragem por animal a variação da taxa de lotação em animais por hectare.

A variação do ganho de peso diário por animal, ao longo dos 10 anos simulado, para as diferentes taxas de lotação utilizadas, encontra-se na Figura 44. Em todas as taxas de lotação, os animais ganharam peso nas épocas chuvosas e perderam peso nas épocas secas.

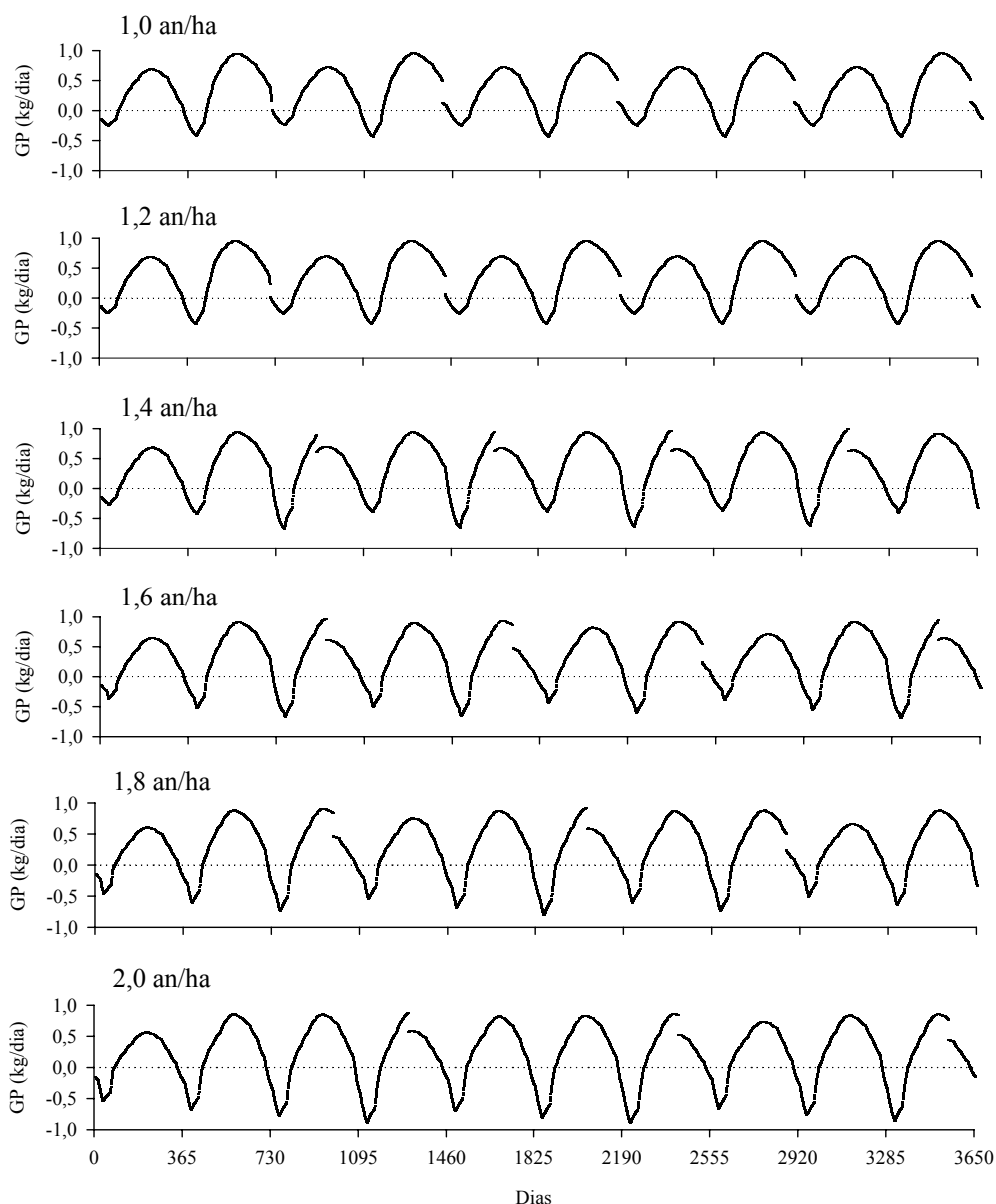


Figura 44 – Resposta do ganho de peso dos animais a variação da taxa de lotação em número de animais por hectare.

As descontinuidades nas linhas dos gráficos da Figura 44 representam os momentos em que os animais atingiram o peso estipulado para venda. Nesses momentos o modelo de simulação foi programado para substituir os animais existentes, ao final da fase de engorda, com 450 kg de peso corporal, por novos animais, em início da fase de recria, com 180 kg de peso corporal médio.

As perdas de peso mais acentuadas, ocorridas durante os meses de menor precipitação pluviométrica, corresponderam às taxas de lotação mais altas. Entretanto, o modelo de simulação foi pouco sensível no que se refere ao ganho de peso dos animais na época de maior precipitação pluviométrica, em resposta a variação da taxa de

lotação. Isso pode ter ocorrido devido à maior disponibilidade de forragem na época chuvosa, que provavelmente não foi limitante para o ganho de peso mesmo nas taxas de lotação mais elevadas. É possível que em taxas de lotação mais altas do que as utilizadas, o modelo de simulação produza, para a época chuvosa, respostas com redução no ganho de peso dos animais.

O ganho de peso médio diário por animal diminuiu com o aumento da taxa de lotação (Figura 45), porém, o ganho de peso médio diário por hectare apresentou comportamento tipicamente quadrático, com maiores valores para taxas de lotação de 1,6 e 1,8 animais por hectare (Figura 46). O desempenho animal, segundo Barioni et al. (2008), possui acentuada resposta a taxa de lotação. Há tempos essa relação vem sendo estudada e diversos modelos de resposta do desempenho animal a taxa de lotação tem sido propostos (Peterson et al., 1965; Conniffe et al., 1970; Jones e Sandland, 1974; Mott e Moore, 1985). Os modelos mais agregados de Jones e Sandland (1974) e de Mott e Moore (1985) também apresentaram resposta quadrática do ganho de peso corporal por hectare à variação da taxa de lotação.

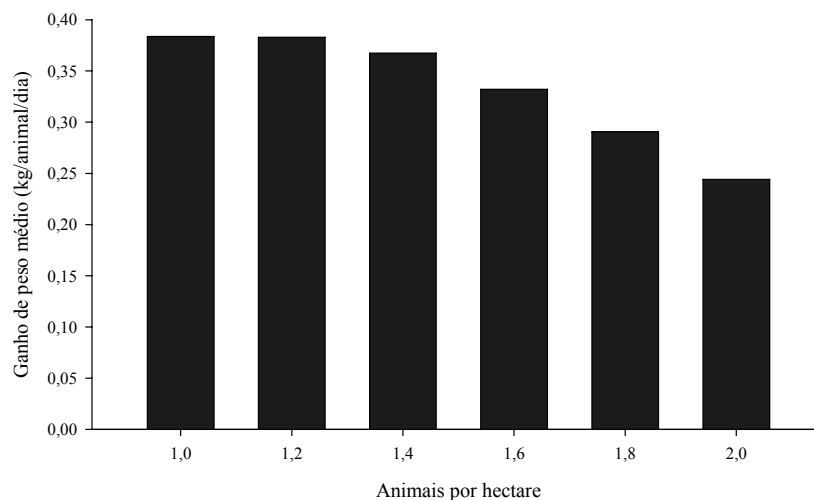


Figura 45 – Resposta do ganho de peso médio dos animais a variação da taxa de lotação em número de animais por hectare.

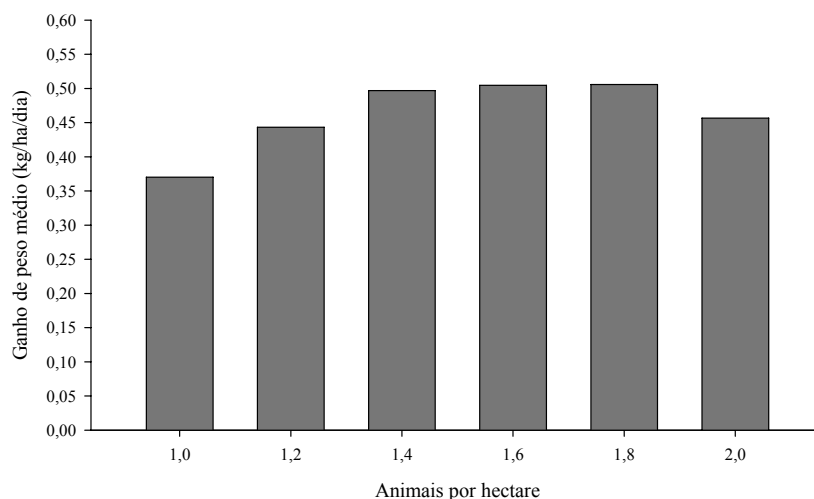


Figura 46 – Resposta do ganho de peso médio diário por hectare a variação da taxa de lotação em número de animais por hectare.

A variação do peso corporal dos animais, ao longo dos 10 anos de tempo simulado, para as diferentes taxas de lotação utilizadas, encontra-se na Figura 47. Nas taxas de lotação de 1,0 e 1,2 animais por hectare foi possível completar cinco ciclos de produção. Para as taxas de lotação de 1,4 e 1,6 animais por hectare foram completados quatro ciclos de produção e para as taxas de lotação de 1,8 e 2,0, foram completados apenas três ciclos de produção durante os 10 anos de tempo simulado.

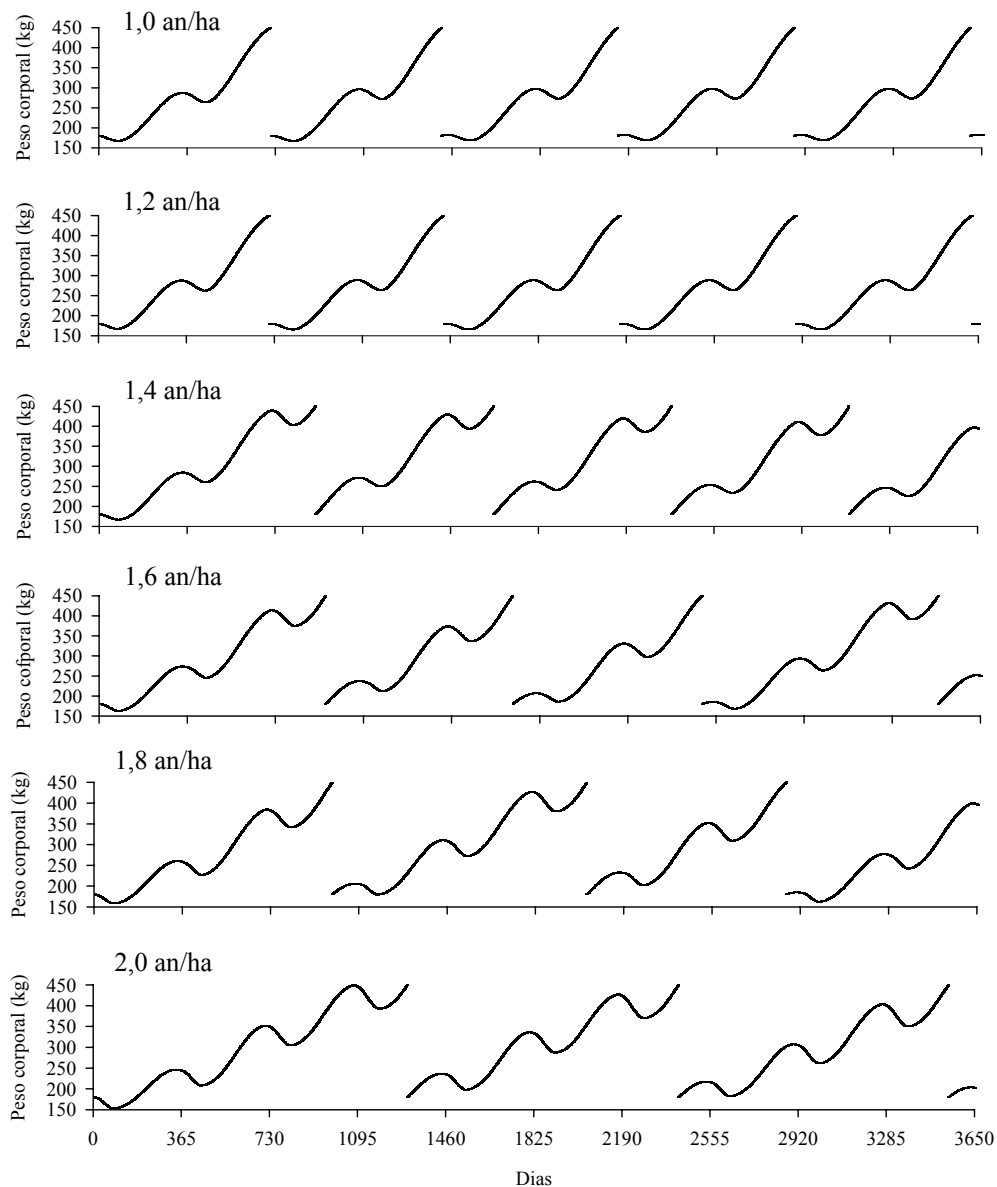


Figura 47 – Resposta do peso corporal dos animais a variação da taxa de lotação em número de animais por hectare.

Os dados indicam que o modelo de simulação apresentou resultados coerentes em relação ao que seria esperado como resposta ao aumento da taxa de lotação, o que demonstra seu funcionamento adequado. As estimativas de desempenho dos animais obtidas pelo presente modelo de simulação levam em consideração diversas interações dinâmicas entre variáveis climáticas e biológicas. Segundo Barioni et al. (2008), a adequada quantificação da taxa de lotação ótima é possível apenas por meio da utilização de modelos de simulação.

4.1.3 – Respostas a variação do fornecimento de suplemento

O consumo médio diário de matéria seca de suplemento aumentou com aumento do fornecimento de suplemento (Figura 48).

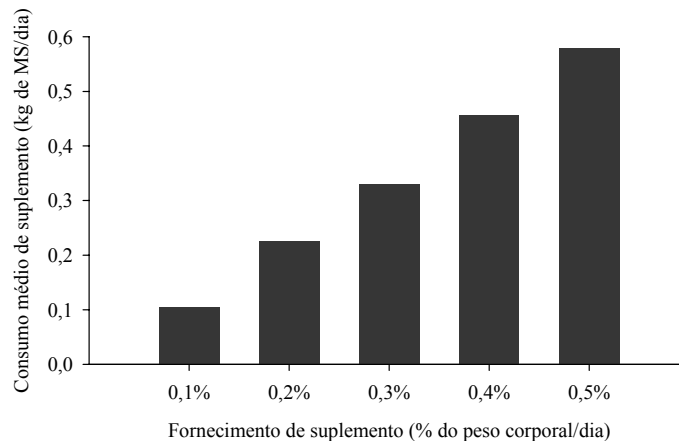


Figura 48 – Resposta do consumo médio diário de matéria seca de suplemento a variação do fornecimento de suplemento.

Os valores apresentados na Figura 48 representam médias diárias de consumo de suplemento, durante os 10 anos de simulação. Como o fornecimento de suplemento se limitou aos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro, os valores médios foram negativamente influenciados pelos valores nulos de fornecimento de suplemento dos meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril.

O consumo diário de matéria seca de suplemento durante os 10 anos de simulação está apresentado na Figura 49.

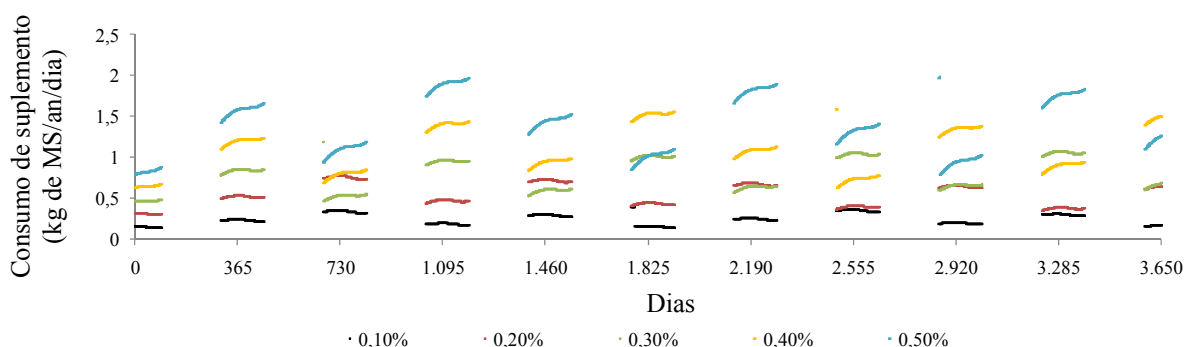


Figura 49 – Resposta do consumo de MS do suplemento a variação do fornecimento de suplemento.

Embora, em geral, o consumo diário de matéria seca do suplemento tenha sido maior nos maiores níveis de fornecimento, em alguns momentos menores níveis de fornecimento de suplemento resultaram em maior consumo de matéria seca de suplemento. Como os níveis de fornecimento de suplemento foram estabelecidos em função do peso corporal, isso se deveu a diferenças de peso corporal dos animais, que são consequência não somente das diferenças de ganho de peso corporal, mas também do comportamento dinâmico dos ciclos de produção. Por exemplo, próximo a 1.825 dias de simulação, o consumo de matéria seca de suplemento para o nível de suplementação de 0,40% foi maior que para o nível de suplementação de 0,50%. Isso foi possível, pois, nesse momento, como pode ser observado na Figura 53, os animais submetidos ao nível de suplementação de 0,50% estavam em início de ciclo de produção, com peso corporal próximo a 180 kg, enquanto os animais submetidos ao nível de suplementação de 0,40% estavam em final de ciclo de produção, com peso corporal próximo a 450 kg.

As respostas do consumo total médio diário de matéria seca a variação do fornecimento de suplemento encontram-se na Figura 50. O aumento observado no consumo total médio diário de matéria seca, em resposta ao aumento do nível de suplementação é resultado apenas do acréscimo da matéria seca consumida sob a forma de suplemento, visto que o presente modelo de simulação desconsidera quaisquer efeitos aditivos ou substitutivos do suplemento sob a ingestão de forragem. Essa pode ser considerada uma das falhas do modelo de simulação e, conseqüentemente, um dos itens a ser melhorado.

A resposta da ingestão de matéria seca de forragem ao fornecimento de suplementos é bastante complexa e é certamente influenciada por um grande número de variáveis do sistema. Segundo Correia (2006), as variações na ingestão de forragem em função do fornecimento de suplementos são determinadas pelo tipo de suplemento, época de fornecimento, valor nutritivo da forragem disponível e nível de fornecimento do suplemento. Além disso, a disponibilidade de forragem é outro fator determinante para as variações na ingestão de forragem em função do fornecimento de suplementos, como demonstrado por Bargo et al. (2003). Isso dificulta bastante a modelagem da resposta dessa variável e, devido a sua importância no que se refere ao desempenho biológico e econômico dos sistemas, maior atenção deveria ser dada a pesquisas sobre a quantificação dessa resposta.

Na realização desse teste de sensibilidade, assumiu-se que o fornecimento de matéria natural do suplemento até 0,5% do peso corporal dos animais não influencia a ingestão de matéria seca de forragem, como relatado por Garcia-Yépez et al. (1997).

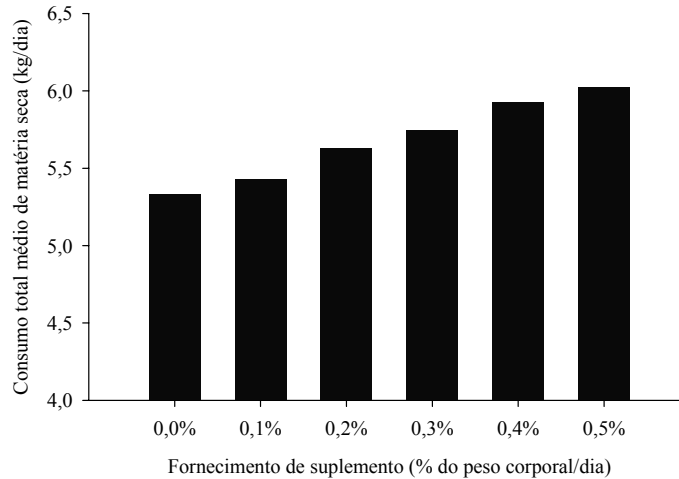


Figura 50 – Resposta do consumo total médio diário de matéria seca a variação do fornecimento de suplemento.

O ganho de peso médio diário dos animais aumentou em resposta ao aumento do nível de fornecimento de suplemento (Figura 51). Essa resposta se deveu a redução da perda de peso corporal dos animais durante a época seca (Figura 52). Enquanto na ausência de fornecimento de suplemento a perda de peso durante a época seca chegou próxima de 1,0 kg por dia, no nível de maior fornecimento de suplemento (0,5% de MN em relação ao peso corporal) não houve perda de peso corporal dos animais.

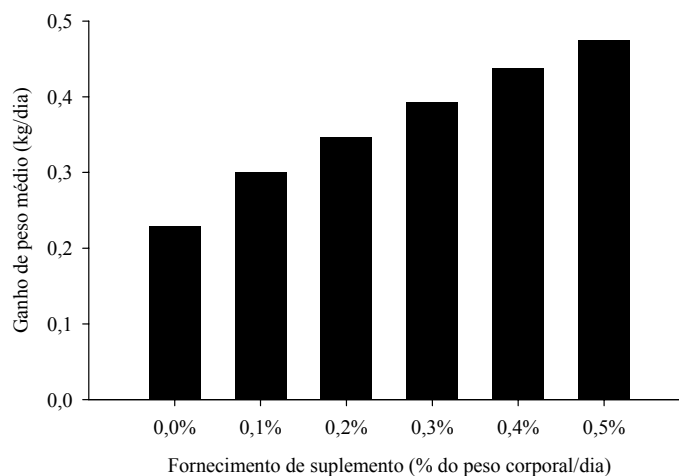


Figura 51 – Resposta do ganho de peso médio diário por hectare a variação do fornecimento de suplemento.

Enquanto na ausência de fornecimento de suplemento foi possível completar apenas três ciclos de produção, com o fornecimento de 0,10 e 0,20% do peso corporal foram completados quatro ciclos de produção em 10 anos de tempo simulado (Figura 53). Com os níveis de 0,30 e 0,40% de fornecimento de suplemento, foi possível completar cinco ciclos de produção e com o nível de 0,50% foram completados seis ciclos de produção em 10 anos de tempo simulado o que resultou em ciclos de produção com menos de dois anos de duração.

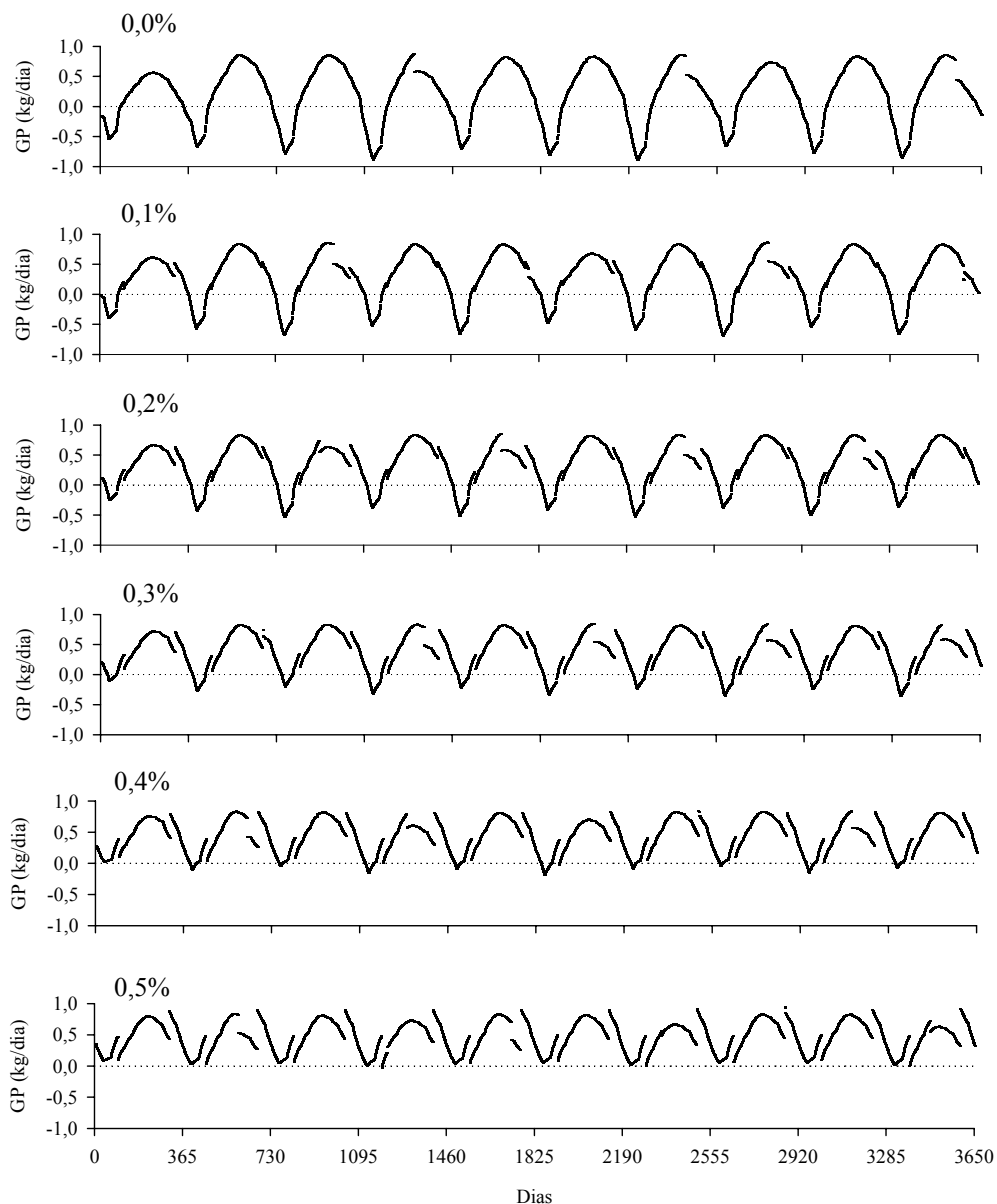


Figura 52 - Resposta do ganho de peso médio diário por hectare a variação do fornecimento de suplemento.

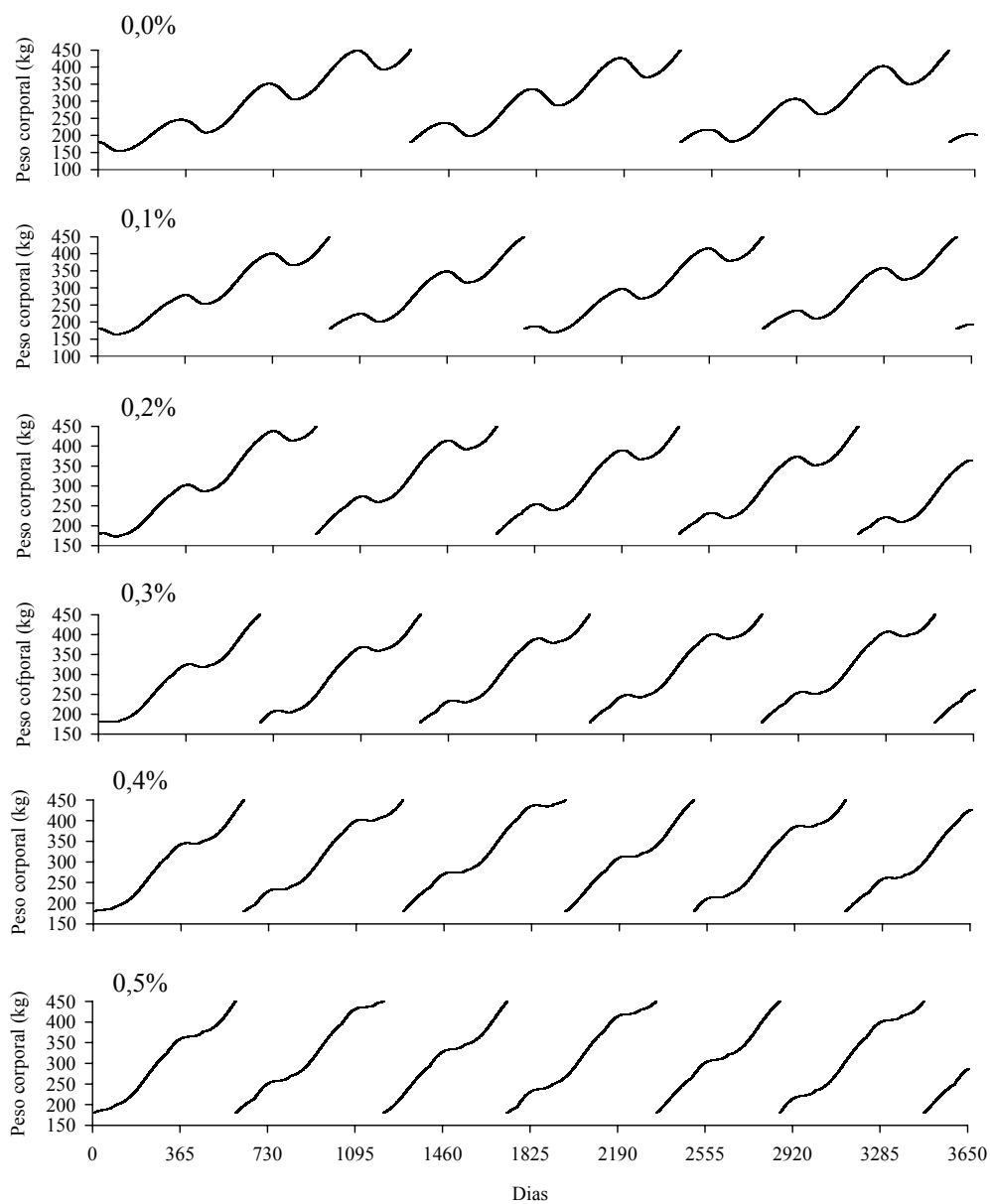


Figura 53 – Resposta do peso corporal dos animais a variação do fornecimento de suplemento.

Esses dados indicam que o modelo de simulação apresentou resultados coerentes em resposta ao que seria esperado para o aumento do nível de suplementação dos animais na época seca do ano.

4.2 – Comparação entre os valores observados e gerados pelo modelo

Os dados de entrada para o modelo de simulação e os ganhos de peso observados e preditos durante a transição seca - água, a época das águas e a transição água – seca encontram-se nas Tabelas 2, 3 e 4, respectivamente.

Tabela 2 – Dados de entrada para o modelo de simulação e ganhos de peso observados e preditos durante a transição seca - água

Informações	1	2	3	4	5
Dados de entrada para o modelo de simulação, obtidos em Villela (2004)					
Período	Ago - Out	Ago - Out	Ago - Out	Ago - Out	Ago - Out
Área de pastagem (ha)	10	10	10	10	10
Animais (n°)	20	20	20	20	20
Matéria seca do suplemento (% da MN)	88,2	87,3	90,0	88,6	88,5
Energia metabolizável do suplemento (Mcal/kg de MS)	3,27	3,16	3,12	2,92	3,08
Proteína bruta do suplemento (% da MS)	39,12	41,75	38,21	38,23	38,69
Disponibilidade inicial de forragem (kg de MS/ha)	3.900	3.900	3.900	3.900	3.900
Proteína bruta da forragem (% da MS)	7,64	7,64	7,64	7,64	7,64
Digestibilidade inicial da forragem (% da MS)	62,7	62,7	62,7	62,7	62,7
Peso corporal inicial dos animais (kg)	220	220	220	220	220
Ingestão diária de suplemento (kg)	1,18	0,90	1,18	1,01	1,18
Ganhos de peso observados, obtidos em Villela (2004), e preditos pelo modelo de simulação					
Ganhos de peso observados (kg/dia)	0,634	0,520	0,920	0,545	0,738
Ganhos de peso preditos (kg/dia)	0,809	0,691	0,796	0,702	0,781

O pequeno número de informações utilizadas para comparação dos valores observados e preditos (15 informações) é justificado pela necessidade de elevada quantidade de variáveis para serem usadas como dados de entrada para o modelo de simulação. Como raras são as publicações que contemplam o número de variáveis necessárias para o funcionamento do modelo de simulação, apenas os dados obtidos por Villela (2004) foram utilizados.

Tabela 3 – Dados de entrada para o modelo de simulação e ganho de peso observado e predito durante a época das águas

Informações	6	7	8	9	10
Dados de entrada para o modelo de simulação, obtidos em Villela (2004)					
Período	Nov - Jan	Nov - Jan	Nov - Jan	Nov - Jan	Nov - Jan
Área de pastagem (ha)	10	10	10	10	10
Animais (n°)	20	20	20	20	20
Matéria seca do suplemento (% da MN)	88,2	87,3	90,0	88,5	100,0
Energia metabolizável do suplemento (Mcal/kg de MS)	3,09	3,05	2,91	2,89	0,00
Proteína bruta do suplemento (% da MS)	35,70	35,68	35,38	35,36	0,00
Disponibilidade inicial de forragem (kg de MS/ha)	2.470	2.470	2.470	2.470	2.470
Proteína bruta da forragem (% da MS)	10,74	10,74	10,74	10,74	10,74
Digestibilidade inicial da forragem (% da MS)	59,6	59,6	59,6	59,6	59,6
Peso corporal inicial dos animais (kg)	284	284	284	284	284
Ingestão diária de suplemento (kg)	0,50	0,50	0,37	0,50	0,06
Ganhos de peso observados, obtidos em Villela (2004), e preditos pelo modelo de simulação					
Ganhos de peso observados (kg/dia)	0,822	0,911	0,774	0,914	0,639
Ganhos de peso preditos (kg/dia)	0,857	0,852	0,813	0,845	0,712

Tabela 4 – Dados de entrada para o modelo de simulação e ganho de peso observado e predito durante a transição água – seca

Informações	11	12	13	14	15
Dados de entrada para o modelo de simulação, obtidos em Villela (2004)					
Período	Mar - Mai	Mar - Mai	Mar - Mai	Mar - Mai	Mar - Mai
Área de pastagem (ha)	10	10	10	10	10
Animais (n°)	20	20	20	20	20
Matéria seca do suplemento (% da MN)	89,7	87,9	90,1	89,1	100,0
Energia metabolizável do suplemento (Mcal/kg de MS)	3,23	3,06	2,92	3,01	0,00
Proteína bruta do suplemento (% da MS)	37,61	38,59	34,85	34,89	0,00
Disponibilidade inicial de forragem (kg de MS/ha)	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650
Proteína bruta da forragem (% da MS)	11,69	11,69	11,69	11,69	11,69
Digestibilidade inicial da forragem (% da MS)	59,4	59,4	59,4	59,4	59,4
Peso corporal inicial dos animais (kg)	357	357	357	357	357
Ingestão diária de suplemento (kg)	0,99	0,85	0,99	0,99	0,06
Ganhos de peso observados, obtidos em Villela (2004), e preditos pelo modelo de simulação					
Ganho de peso observado (kg/dia)	0,556	0,586	0,776	0,738	0,534
Ganho de peso estimado (kg/dia)	0,491	0,435	0,459	0,466	0,200

Foi observada correlação ($p < 0,05$) entre os dados observados e os preditos pelo modelo de simulação, o que indica que há associação linear entre os dados gerados pelo modelo e os observados na realidade. Entretanto, o coeficiente de correlação de 0,5628 pode ser considerado baixo.

Como pode ser constatado pela observação das Tabelas 2, 3 e 4 e da Figura 54, os ganhos de peso preditos pelo modelo de simulação foram maiores na época das águas (informações 6, 7, 8, 9 e 10), menores na transição água-seca (informações 11, 12, 13, 14 e 15) e intermediários na transição seca-água (informações 1, 2, 3, 4 e 5). As menores diferenças entre os valores observados e os preditos ocorreram para as informações relativas à época das águas, quando os animais receberam os menores níveis de suplementação. É possível que para os níveis de suplementação praticados na época das águas não tenha ocorrido efeito substitutivo da ingestão de forragem pela ingestão de suplemento, o que pode ter contribuído para melhorar a predição, visto que o modelo de simulação desconsidera esses efeitos.

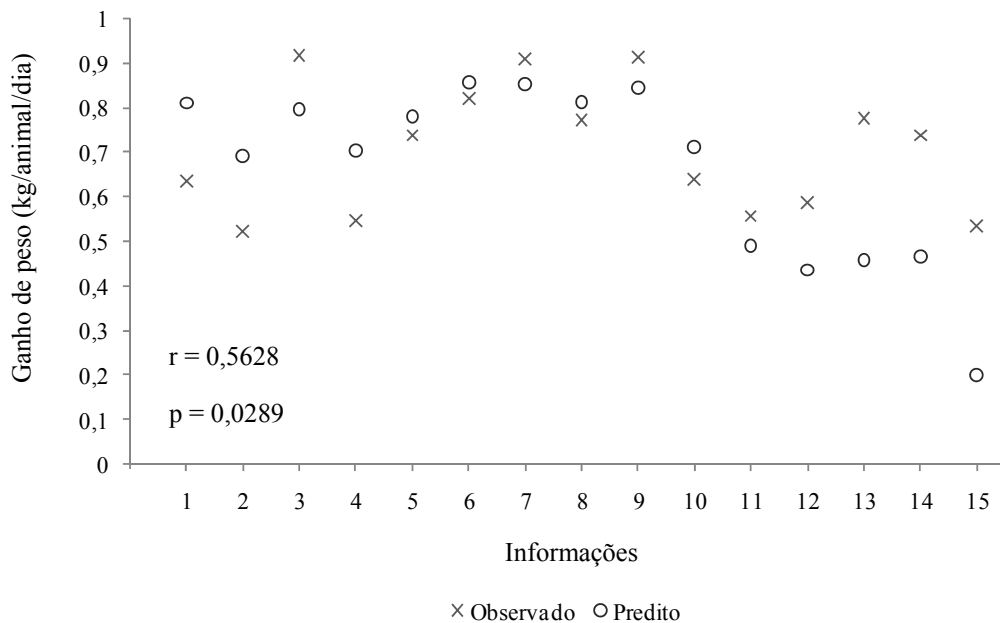


Figura 54 – Dados observados e preditos pelo modelo de simulação.

Para as informações relativas à transição seca-água, o modelo de simulação superestimou o ganho dos animais, com exceção da informação 3, para a qual o modelo subestimou o desempenho. Diferentemente, para as informações relativas ao período de transição água-seca, o modelo subestimou o ganho dos animais.

5 – Conclusões

No que se refere às variações das condições de precipitação pluviométrica e temperatura do ar, da taxa de lotação e do nível de suplementação, o modelo de simulação produziu respostas que estão de acordo com o que seria esperado.

Há associação linear entre os dados gerados pelo modelo e os observados na realidade, embora o coeficiente de correlação possa ser considerado baixo.

É provável que a implementação de um modelo que leve em consideração a variação da ingestão de forragem em resposta ao fornecimento de suplementos melhore a predição do desempenho dos animais.

6 – Referências bibliográficas

AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL (ARC). **The nutrient requirements of ruminants livestock**. England: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1980. 351p.

AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL (ARC). **The nutrient requirements of ruminant livestock**. Nº 1. England: 1984. 45p.

AGRICULTURE AND FOOD RESEARCH COUNCIL (AFRC). **Energy and protein requirements of ruminants**. University Press: Cambridge, 1993. 159p.

ALMEIDA, E. D.; MARASCHIN, G. E.; HARTHMANN, O. E. L.; FILHO, H. M. N. R.; SETELICH, E. A. Oferta de Forragem de Capim-Elefante Anão “Mott” e o Rendimento Animal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.5, p. 1288-1295, 2000.

BANKS, J. Selection simulation software. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2, 2000, New York. **Proceedings...** New York: Association for computer machinery, 2000. p. 15-20.

BARBOSA, W. do V. **Tempos pós-modernos**. In: LYOTARD, J.F. O pós-moderno. Rio de Janeiro: J. Olimpico. 1986, p. 7-18.

BARGO, F.; MULLER, L. D.; KOLVER, E. S.; DELAHOY, J. E. Invited review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. **Journal of Dairy Science**. v.86, p. 1-42, 2003.

BARIONI L.G. Modelos de tomada de decisão para produtores de ovinos e bovinos de corte. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO ANIMAL. 1, 2002, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. 2002 a, p. 5-60.

- BARIONI, L.G.; VELOSO, R.F.; MARTHA JÚNIOR, G.B. **Modelos matemáticos aplicados a sistemas de produção animal em pastagens**. In: Obeid, J.A., Pereira, O.G., Fonseca, D.F., Nascimento Júnior, D. SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 2. 2002b. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. p. 235-278.
- BARIONI, L.G.; TONATO, F.; JUNIOR, G. B. M.; LUPINACCI, A. V.; VELOSO, R. F. **Visão Sistêmica Aplicada à Otimização da produtividade do Animal e da Área**. In: Valadares Filho, S. de C.; et al. VI SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE. 6. 2008. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. p. 321-344.
- BERETTA, V. **Avaliação bioeconômica de sistemas alternativos de produção de gado no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1999. 210p. Tese (Doutorado em Zootecnia): Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1999.
- BRAGA, G. J.; PEDREIRA, C. G. S.; HERLING, V. R.; LUZ, P. H. C.; LIMA, C. G. Sward structure and herbage yield of rotationally stocked pastures of “Marandu” Palisadegrass [*Brachiaria brizantha* (A. Rich.) Stapf] as affected by herbage allowance. **Scientia Agricola**. v.63, p. 121-129, 2006.
- BRAGA, G. J.; PEDREIRA, C. G. S.; HERLING, V. R.; LUZ, P. H. C. Eficiência de pastejo de capim-marandu submetido a diferentes ofertas de forragem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.42, n.11, 2007.
- BRITO, E.; AGUILAR, C.; CANÃS, R.; VERA, R. Modelo de simulación para evaluar la sustentabilidad de las pasturas de la altillanura colombiana i desarrollo y validación del modelo. **Archivo Latinoam del Production Animal**. v.6, n.1, p.1-38, 1998.
- BROCKINGTON, N.R. **Curso de modelos de simulação**. v.1, Juiz de Fora: CNPGL (Embrapa), 1995. 238p.

- COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION (CSIRO). **Feeding standards for Australian livestock - ruminants**. Victoria: Australia Agricultural Council. 1990. 266p.
- COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION (CSIRO). **Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants**. CSIRO Publishing, 2007. 296p.
- CONNIFFE, D.; BROWNE, D.; WALSH, M. J. Experimental design for grazing trials. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.74, p. 339-342, 1970.
- CORREIA, P. S. **Estratégias de suplementação de bovinos de corte em pastagens durante o período das águas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 2006. 334p. Dissertação (Doutorado em Agronomia): Universidade de São Paulo. 2006.
- CUNHA, N. F. V; Desempenho, variáveis fisiológicas e comportamento de bezerros de rebanhos leiteiros mantidos em diferentes instalações. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 2004. Dissertação (Mestrado em Zootecnia): Universidade Federal de Viçosa. 2004.
- DENT, J.B.; BLACKIE, M.J. **System simulation in agriculture**. 1. ed. London: Applied Science Publishers, 1979, 180 p.
- EHRlich, J.P. **Pesquisa operacional: curso introdutório**, 5. ed. São Paulo: Atlas, 1985. 102p.
- GARCIA-YÉPEZ, P.; KUNKLE, W. E.; BATES, D. B.; MOORE, J. E.; THATCHER, W. W.; SOLLEMNBERG, L. E. Effects of supplemental energy source and amount of forage intake and performance by steers and intake and diet digestibility by sheep. **Journal of Animal Science**, Albany, v.75, n.7, p. 1918-1925, 1997.
- GAVIRA, M.O. **Simulação computacional como ferramenta de aquisição de conhecimento**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos. 2003. 163p.

- Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção): Universidade de São Paulo. 2003.
- HARREL, C.R., MOTT, J.R.A., BATEMAN, R.E. et al. **Simulação: otimizando os sistemas**. 2. ed. São Paulo: Iman. 2002. 136 p.
- JONES, R. J.; SANDLAND, R. L. The relation between animal gain and stocking rate. **Journal Agriculture Science**. v.83, p. 335-342, 1974.
- LAW, A.M., KELTON, W.D. **Simulation models and analysis**. 3. ed. Boston: McGraw-Hill, 2000.
- LUPINACCI, A. V. **Reservas orgânicas, índice de área foliar e produção de forragem em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetida a intensidades de pastejo por bovinos de corte**. Piracicaba, 2002. 160p. Dissertação (Mestrado em Agronomia): Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.
- MOTT, G. O.; MOORE, J. E. Evaluating forage production. In: HEAT, M. E.; BARNES, R. F.; METCALFE, D. S. **Forages**. 4 ed. Ames: Iowa State University, 1985. p.45.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) **Nutrient requirements of beef cattle**. 6.ed. Washington, D.C. National Academy Press, 1984. 90p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **Nutrient requirements of beef cattle**. 8.ed. Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 2000. 234p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **Nutrient requirements of dairy cattle**. Washington, D. C.: National Academy of Sciences, 2001. 363p.
- PATTEN, B.C. **Systems analysis and simulation in ecology**. v.1. New York: Academic Press. 1971.

- PEDREIRA, J. V. S.; MATTOS, H. B. Crescimento estacional de vinte e cinco espécies ou variedades de capins. **Boletim de Indústria Animal**, v.38, p.117-143, 1981.
- PEIXOTO, A.; PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. A planta forrageira no sistema de produção. **Anais...** 17º Simpósio sobre manejo de pastagem. Piracicaba: FEALQ, 2001, 458 p.
- PETERSON, R. G.; LUCAS, H. L.; MOTT, G. O. Relationship between rate of stocking and per animal and per acre performance on pasture. **Agronomy Journal**. v. 57, p. 27-30, 1965.
- SPEEDING, C.R.W. **The biology of agricultural system**. 1.ed. London: Academic Press, 1975.
- THORNLEY, J.H.M.; FRANCE, J. **Mathematical models in agriculture: a quantitative methods for the plant, animal and ecological sciences**. 2.ed. Wallingford: CABI. 2007. 906 p.
- VILLELA, S. D. J. **Fontes de proteína em suplementos múltiplos para bovinos em pastejo**. Viçosa, 2004. 128p. Tese (Doutorado em Zootecnia): Universidade Federal de Viçosa. 2004.