



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**



**DESENVOLVIMENTO DE MODELO DE SIMULAÇÃO  
PARA SISTEMAS DINÂMICOS DE PRODUÇÃO DE  
LEITE**

**Isaac Ferreira de Lima Júnior**  
Zootecnista

**RIO LARGO – ALAGOAS – BRASIL  
2013**

**ISAAC FERREIRA DE LIMA JUNIOR**

**DESENVOLVIMENTO DE MODELO DE SIMULAÇÃO PARA SISTEMAS  
DINÂMICOS DE PRODUÇÃO DE LEITE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Alagoas como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Zootecnia – PPGZ/CECA/UFAL para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**Orientador: Prof. D. Sc., Daniel de Noronha Figueiredo Vieira da Cunha.**

**Co- orientadora: Prof.<sup>a</sup> D. Sc., Angelina Bossi Fraga.**

**RIO LARGO – ALAGOAS - BRASIL  
2013**

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**  
**Bibliotecário Responsável: Valter dos Santos Andrade**

L732d      Lima Junior, Isaac Ferreira de.  
Desenvolvimento de modelo de simulação para sistemas dinâmicos de produção de leite / Isaac Ferreira de Lima Junior. – 2013.  
64 f. : il., tabs.

Orientador: Daniel de Noronha Figueiredo Vieira da Cunha.  
Co-orientadora: Angelina Bossi Fraga.  
Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo, 2013.

Bibliografia: f. 59-64.

1. Leite – Produção. 2. Bovino de leite. 3. Gerenciamento - Sistema de produção. 4. Modelagem. I. Título.

CDU: 636:637.1

Aos meus pais, meus  
maiores entusiastas,  
refúgio e fortaleza...

DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por sua eterna compaixão, por minhas realizações e conquistas, que sem ti Senhor, impossíveis seriam...

À minha família, por serem os responsáveis por minha formação pessoal, moral, ética e cidadã, minha inestimável gratidão!

Ao meu pai, Isaac Ferreira de Lima, meu exemplo maior de dignidade, coragem e determinação. À minha querida mãe, Rosinete Brasil de Lima, mulher de enorme compreensão e bom senso, por sua dedicação e zelo, por sua companhia e amor.

Ao meu irmão, Italo Brasil de Lima, por seu companheirismo e cumplicidade!

Agradeço a minha namorada, Daniele Vanessa de Souza Santos, pela paciência, conselhos e pela confiança no resultado deste trabalho apoiando-me em todos os momentos.

À professora Angelina Bossi Fraga pelo carinho e atenção com que sempre me recebeu e pelas palavras de entusiasmo nos momentos difíceis, e, à professora Patrícia Mendes Guimarães Beelen, pela oportunidade e o enorme aprendizado que obtive nos três anos em que sob sua orientação exerci a função de monitor da disciplina de *Fisiologia dos Animais Domésticos*, na graduação e no estágio de docência, sem dúvida, determinante em minha formação.

Ao professor Fernando Antonio de Souza pelos aconselhamentos e por sua valorosa contribuição neste trabalho, sobretudo pela paciência e boa vontade.

À meu orientador, Prof. Daniel de Noronha Figueiredo Vieira da Cunha pelos ensinamentos e por ter me apresentado o universo da *Dinâmica de Sistemas e da Zootecnia de Precisão*, em seu nome estendo minha gratidão ao Departamento de Zootecnia, Campus Tancredo Neves da Universidade Federal de São João Del-Rei – UFSJ, pelos bons momentos de aperfeiçoamento e novas descobertas!

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa que financiou meus estudos e aperfeiçoamento, como também à Universidade Federal de Alagoas – UFAL por ter proporcionado o campo fértil para o meu desenvolvimento profissional.

Aos colegas do *Programa do Pós Graduação em Zootecnia – PPGZ/ UFAL* por terem comigo compartilhado essa trajetória, vivenciado ao longo desses anos as mais diversas emoções, fracassos e conquistas, sobretudo pelo companheirismo e amizade.

Aos parceiros de sempre, amigos, companheiros de todos os momentos... Marcos (Chicken), Anderson (Mendes), Diogo (Féla), Rodrigo (Digão) minha eterna gratidão!

E a todos os professores e funcionários do *Centro de Ciências Agrárias – CECA*, que direta ou indiretamente dedicaram sua parcela de contribuição fazendo parte dos meus dias por tantos anos, e que, sem dúvida, são também responsáveis por esta conquista.

**À todos, meus sinceros agradecimentos!**

# SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>RESUMO</b> .....   | ix |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | x  |
| <br>  |    |
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....  | 11 |
| <br>  |    |
| <b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....                                   | 13 |
| 2.1. CONJUNTURA E INDICADORES DO AGRONEGÓCIO DA PECUÁRIA LEITEIRA. .... | 13 |
| 2.1.1 - A cadeia produtiva do leite .....                               | 13 |
| 2.1.2 - Análise de custos e competitividade da produção de leite .....  | 14 |
| 2.2. MODELAGEM COMPUTACIONAL COMO FERRAMENTA DE GERENCIAMENTO.....      | 16 |
| 2.2.1 – Gerenciamento de sistemas agropecuários .....                   | 16 |
| 2.2.2 – A visão sistêmica e o paradigma analítico.....                  | 17 |
| 2.2.3 - Administração estratégica .....                                 | 18 |
| <br>  |    |
| <b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....                                      | 19 |
| 3.1 - Caracterização do ambiente para desenvolvimento do modelo .....   | 19 |
| 3.2 – Descrição do modelo .....   | 19 |
| 3.2.1 – Visão geral do modelo.....                                      | 19 |
| 3.2.2 – Submodelo <i>Clima</i> .....                                    | 22 |
| 3.2.3 – Submodelo <i>Vegetal</i> .....                                  | 24 |
| 3.2.4 – Submodelo <i>Animal</i> .....                                   | 28 |
| 3.2.3 – Submodelo <i>Economia</i> .....                                 | 37 |
| 3.3 – Testes de sensibilidade e validação.....                          | 41 |
| <br>  |    |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....                                  | 42 |
| 4.1 – Resultados .....  | 42 |
| 4.1.1 – Teste de sensibilidade .....                                    | 42 |
| 4.1.2 – Teste de validação .....  | 52 |
| 4.2 – Discussão .....   | 54 |
| 4.2.1 – Teste de sensibilidade .....                                    | 54 |
| 4.2.2 – Teste de validação .....  | 57 |

**5. CONCLUSÃO** ..... 58

**6. REFERÊNCIAS** ..... 59

LIMA JUNIOR, I. F. **Desenvolvimento de modelo de simulação para sistemas dinâmicos de produção de leite**. Rio Largo, AL: CECA/UFAL, 2013, 65 pág. (Dissertação de Mestrado).

## **RESUMO**

Cada empresa produtora de leite consiste num complexo sistema de produção, onde reside elevado grau de incertezas em cada um de seus componentes. Componentes de ordem climática, vegetal, animal, social e econômica relacionam-se em interações diversas, configurando uma rede dinâmica de entradas e saídas entre os elementos componentes do sistema. Essa complexidade inerente à atividade, juntamente com as margens de lucro cada vez mais reduzidas, configuram um cenário para o gerenciamento de sistemas de produção de leite onde a tomada de decisões possui um estreito limiar entre o sucesso ou o fracasso da atividade. 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 afetarão o desempenho do sistema (EHRLICH, 1985). O modelo apresentado no presente estudo foi desenvolvido em microcomputador, no formato de um *software*, em linguagem *Basic*, com a utilização do pacote *Microsoft® Visual Basic 2010*. Para aferir a capacidade do modelo em simular cenários produtivos compatíveis com a realidade, a fim de atestar sua sensibilidade, foram avaliadas condições de produção em sistemas hipotéticos de produção de leite à pasto, com estrutura produtiva similar, em rebanhos estabilizados através dos dados simulados numa perspectiva de 10 anos de simulação (3.650 dias). O modelo desenvolvido mostrou-se capaz de reproduzir a dinâmica de produção de um sistema de produção de leite e servir como base para estudo, em curto período de tempo, de combinações de uso de diversas técnicas e tecnologias, nas mais variadas condições de ambiente.

**Palavras-chave:** Bovinocultura de leite; Modelagem; Gerenciamento de sistemas.

JUNIOR LIMA, I. F. **Development of simulation model for dynamic systems milk production.** Rio Largo, AL: CECA / UFAL, 2013, 65 p. (Master thesis).

## **ABSTRACT**

Each company producing milk is a complex production system, where high degree of uncertainty lies in each one of its components. Components to different climatic, plant, animal, social and economic interactions relate in diverse setting a dynamic network of inputs and outputs between the elements of the system. This inherent complexity of the activity, along with profit margins dwindling, a scenario for management of milk production systems where decision-making has a narrow threshold between success or failure of the activity. Computational simulation is a method used to study the performance of a system through the formulation of a mathematical model, which should reproduce as faithfully as possible, the behavior of the real system. Manipulating the model and analyzing the results, one can conclude how many factors affect the performance of the system (Ehrlich 1985). The model presented in this study was developed on a microcomputer in the shape of a software in Basic language with the use of the Microsoft © Visual Basic 2010. To assess the ability of the model to simulate production scenarios compatible with reality, in order to certify their sensitivity were assessed conditions of production systems hypothetical milk production at pasture, with similar production structure in herds stabilized through a simulated data 10 years perspective simulation (3650 days). The model was capable of reproducing the production dynamics of a system of milk production and serve as a foundation for study in a short period of time use of combinations of various techniques and technologies in various environmental conditions.

**Keywords:** Dairy cattle; Modeling; Management systems.

## 1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de produção de forma geral compreendem uma rede extensa e complexa de relações determinantes para a concretização de um produto. Essas relações envolvem as diversas etapas do processo de produção que têm sua gênese no modelo teórico, passando pelos níveis de elaboração, processamento e concretização do modelo idealizado.

Os sistemas de produção animal não fogem a essa regra, e como tal, envolvem a mesma complexidade de relações presentes na concretização de modelos teóricos para a materialização de seus produtos. Sendo assim, é possível visualizar dentre outras relações àquelas envolvidas com a infraestrutura gerencial e operacional, instalações de armazenamento e processamento de insumos, logística e controle de qualidade, análise de custos e controle contábil, apenas para exemplificar algumas delas. Entretanto, como sistemas bioeconômicos, envolvem também um grupo amplo de interações biológicas de caráter determinante para a evolução e direcionamento do processo produtivo, que inclusive sofrem forte interferência de variáveis climáticas.

É facilmente perceptível que a compreensão humana sobre a estrutura orgânica da produção é limitada, sobretudo sob o prisma dos métodos tradicionais de análise que, indiscutivelmente, são incapazes de reproduzir os meios diversos com que os sistemas naturais de produção operam. Sendo assim, a visão sistêmica busca recriar esses mecanismos de modo a propor modelos mentais constituídos em forma de diagramas de fluxo que representem as influências de causa e efeito inerentes a sua dinâmica natural. Para tanto, fundamentam-se na linguagem da dinâmica de sistemas para a compreensão de seu funcionamento e a tomada de decisões.

Com as incertezas e a grande oscilação no mercado, sobretudo nos segmentos do agronegócio, a atividade de administrar embute grande responsabilidade e caráter crucial na perspectiva de competitividade e obtenção de lucros. Destarte, o amplo entendimento a cerca dos processos do negócio como o domínio técnico e análise de riscos apresentam-se como pontos determinantes para o sucesso do empreendimento. Sendo o gerenciamento uma prática de grande importância e de caráter multidisciplinar dentro da visão administrativa de sistemas de produção, inclusive na pecuária leiteira, envolvendo competências diversas para o ajustamento dos resultados produtivos às

metas estabelecidas, muito embora, a visão geral dentro do agronegócio de leite e derivados seja divergente, erroneamente distante da concepção de atividade econômica geradora de divisas.

Cada empresa produtora de leite consiste num complexo sistema de produção, onde reside elevado grau de incertezas em cada um de seus componentes. Componentes de ordem climática, vegetal, animal, social e econômica relacionam-se em interações diversas, configurando uma rede dinâmica de entradas e saídas entre os elementos componentes do sistema. Essa complexidade inerente à atividade, juntamente com as margens de lucro cada vez mais reduzidas, configuram um cenário para o gerenciamento de sistemas de produção de leite onde a tomada de decisões possui um estreito limiar entre o sucesso ou o fracasso da atividade.

Este cenário afirma a necessidade real da implementação da gestão como fator intrínseco para garantir a competitividade da atividade leiteira frente a outros segmentos do agronegócio, sobretudo pela busca de melhor desempenho produtivo do sistema. Para tanto, a modelagem computacional de sistemas de produção apresenta-se como importante recurso de apoio à decisão, onde através de modelos matemáticos cria ambiente de simulação para a avaliação da dinâmica do sistema, reconhecimento dos pontos de estrangulamento e seu ajustamento, minimizando riscos e criando novos cenários onde sistemas de informação mais refinados podem ser encarados como importante ferramenta para o planejamento estratégico de empresas agropecuárias. Assim, possibilita ao tomador de decisão, a partir de consultas presentes, a condição de simular os horizontes de evolução do empreendimento e planejar a obtenção de suas metas.

Assim, segundo Cunha et al. (2010) 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.

Desta forma o presente estudo tem por objetivo desenvolver um modelo dinâmico de simulação de um sistema de produção de leite como instrumento de gerenciamento e apoio a decisão.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. CONJUNTURA E INDICADORES DO AGRONEGÓCIO DA PECUÁRIA LEITEIRA.**

#### **2.1.1 - A cadeia produtiva do leite**

A produção mundial de leite no ano de 2011 foi de 527,1 milhões de toneladas, das quais, os seis maiores grupos produtores contribuíram com mais de 446,6 milhões de toneladas, ou 84,7% do total produzido. A União Europeia participou com 31,8% deste volume, seguida pela Índia com 27,2%, Estados Unidos com 19,9%, China 7,2%, Rússia 7,1% e o Brasil com 6,9% (ANUALPEC, 2012).

As estimativas se confirmaram com um aumento superior a 2,12% na produção mundial de leite em 2012 com números da ordem de 538,0 milhões de toneladas, segundo dados do Anualpec (2012). Os mesmos dados apontaram para aumento de 2,25% na produção brasileira de leite no ano de 2012, com a União Europeia, Estados Unidos e Rússia apresentando crescimento de 0,81%, 1,22% e 0,32% respectivamente. A Índia apresentou crescimento de 4,52% e a China 4,75%.

Os dados mencionados apontam crescimento superior à média mundial para China, Índia e Brasil, evidenciando a condição de destaque destes países dentro do atual cenário dos maiores produtores de leite. Considerando-se o valor da produção, o leite ocupa o terceiro lugar entre as commodities agropecuárias produzidas no Brasil, perdendo apenas para soja e cana-de-açúcar (SIQUEIRA et al., 2011).

A pecuária leiteira está presente em quase todos os municípios brasileiros. Dos 5.564 municípios existentes no país, apenas 67 não produzem leite. Entre os 100 municípios que mais produzem leite, 53 têm o leite como a principal atividade econômica (IBGE, 2006).

No último Censo Agropecuário – IBGE 2006, o Brasil possuía um rebanho bovino de mais de 170 milhões de animais, dos quais aproximadamente 33% se encontravam na região Centro-Oeste, 20% na região Sudeste e 18%, 15% e 14%, nas regiões Norte, Nordeste e Sul, respectivamente.

Apesar da produtividade por vaca ter aumentado ao longo dos anos, os dados do último Censo Agropecuário (IBGE, 2006) destacam ainda o baixo volume de produção

por vaca, pois com 12,6 milhões de vacas ordenhadas e totalizado uma produção de 20.157.682 toneladas de leite, no ano de 2006 calcula-se produtividade de 1.595 litros de leite por vaca/ ano, muito aquém do preconizado como índices razoáveis de produtividade.

Segundo dados do mesmo censo (IBGE, 2006) do total de 5,17 milhões de estabelecimentos agropecuários existentes no Brasil, 26% ou 1,35 milhão dedicam-se, pelo menos parcialmente, à atividade leiteira. No entanto o setor ainda apresenta grande heterogeneidade entre os produtores, de forma que apenas 20% deles são classificados como grandes e respondem por 74% da produção nacional (SIQUEIRA et al., 2011).

### **2.1.2 - Análise de custos e competitividade da produção de leite**

Os resultados de indicadores da atividade leiteira em 2011 concluíram que o cenário foi de preços e volumes em expansão, o que resultou em crescimento no faturamento desta atividade em 9,85%. Embora a melhoria na renda das famílias tenha impulsionado o consumo do leite nos últimos anos, os altos custos de produção também pesaram fortemente sobre a renda dos sistemas de produção de leite. Pesquisas mostraram que os aumentos nos custos na produção de leite alcançaram índices ainda mais elevados que os do ano anterior, devido, principalmente, a elevação dos preços do farelo de soja e do milho. Com isso, a margem de lucro da atividade leiteira foi reduzida, principalmente no primeiro semestre (CEPEA, 2011).

Os dados dos IBGE/ Censo Agropecuário 2006 indicam que o número de estabelecimentos agropecuários com produção de leite totalizava 1.349.326 unidades. Porém, nem todos os estabelecimentos comercializaram a produção. A quantidade de estabelecimentos que venderam ou beneficiaram o leite foi de 931.215 unidades. Isso indica que aproximadamente 30% dos estabelecimentos que declaram a produção de leite não têm volume suficiente para a comercialização.

Embora o cenário econômico tenha se apresentado favorável, a baixa produtividade observada pela pecuária leiteira nacional, dentre outros fatores, repercutindo os péssimos índices zootécnicos alcançados, apontam para o amadorismo com que a atividade trata o fator gerencial das propriedades, mascarando o verdadeiro potencial do setor e dispondo o faturamento às oscilações de preço dos insumos.

Souza Jr et al. (2008), constataram resultado negativo em análise econômica de uma propriedade leiteira devido os elevados custos com medicamentos e a baixa eficiência reprodutiva, o que atribuem a ausência de um plano de gestão do negócio, corroborando os diversos estudos sobre o tema (SEGALA & SILVA, 2007; SIMÕES et al. 2009; SCHIAVON et al. 2010) que destacam o comprometimento da receita pela falta de planejamento.

Observa-se com frequência a inconsistência existente entre as receitas da atividade e os custos de produção, que acabam por inviabilizar o negócio a médio-longo prazo. Como o processo de formação de preços respeita as leis da dinâmica de mercado, fugindo dos domínios do produtor, a forma mais acertada de garantir a lucratividade é a mensuração dos custos da atividade. Nessa nova realidade, ter controle adequado e principalmente um sistema de custo de produção de leite que gere informações para a tomada de decisões rápidas e objetivas é fundamental para o sucesso da empresa (LOPES et al., 2004).

A alimentação do rebanho tem sido apontada como um dos principais componentes do custo do leite. De fato, na maioria dos sistemas um pouco mais tecnificados e mais dependentes do alimento concentrado, esse item atinge mais de 50%. Isto posto, também a adubação e irrigação de pastagens, suplementação alimentar em pasto ou em regime de confinamento aumentam a complexidade do sistema de produção e alteram a estrutura de custos (STOCK et al., 2011).

Para Godinho & Carvalho (2009) a combinação de preços dos produtos agrícolas decrescentes e custos dos insumos crescentes, resultam na queda da renda no setor rural, independentemente do porte do produtor. Os mesmos autores afirmam ainda que com medidas de gerenciamento a propriedade rural se profissionaliza, se moderniza, e começa a ser encarada como empresa de fato, que busca obter conhecimentos acerca dos mercados em que opera e procura estreitar seus relacionamentos.

Segundo Stock et al. (2011) para que o país ganhe competitividade no setor de lácteos o produtor brasileiro terá grandes desafios pela frente, principalmente os relacionados com a melhoria da produtividade animal e das pastagens. Estes autores apontam ainda que os fatores de produção e redução dos custos serão de suma importância, porque atualmente os custos de produção no Brasil não são competitivos internacionalmente.

## **2.2. MODELAGEM COMPUTACIONAL COMO FERRAMENTA DE GERENCIAMENTO**

### **2.2.1 – Gerenciamento de sistemas agropecuários**

Um sistema de produção pode ser definido como um conjunto de decisões ou normas técnicas aplicadas para a utilização dos fatores produtivos de trabalho, terra e capital, para a obtenção de determinados produtos, neste caso proveniente do gado de leite (MADALENA, 1993). Devido a grande variação nos sistemas de produção de leite existentes no Brasil, são inúmeras as possibilidades de tomadas de decisão para a implementação dos índices de produtividade, onde um dos elementos mais importantes para o sucesso da atividade é o estabelecimento de metas e culminem por determinar modificações nos sistemas de produção, principalmente no que se refere à adequação do nível tecnológico empregado em cada situação particular (RENNÓ et al., 2000).

Sendo assim, é possível visualizar dentre outras relações àquelas envolvidas com a infraestrutura gerencial e operacional, instalações de armazenamento e processamento de insumos, logística e controle de qualidade, análise de custos e controle contábil, apenas para exemplificar algumas delas. Entretanto, como sistemas bioeconômicos, envolvem também um grupo amplo de interações biológicas de caráter determinante para a evolução e direcionamento do processo produtivo, que inclusive sofrem forte interferência de variáveis climáticas.

Newman et al. (1999), citam que as tomadas de decisão na produção agropecuária são complexas, e esta situação é verificada, principalmente, devido ao aumento da competitividade causada pela globalização da agropecuária e da necessidade de serem adotadas práticas de manejo sustentáveis nos diferentes sistemas de produção.

Naazie et al. (1999), citam que a modelagem permite a realização deste tipo de estudo, sendo capaz de consolidar os processos de aprendizagem devido à capacidade de rapidamente identificar parâmetros que possam direcionar ou afetar o sistema de produção. Dessa forma, modelos são utilizados com sucesso no estudo das alternativas de manejo e nas políticas de planejamento da produção animal, sendo uma forma de avaliar como os componentes do sistema de produção podem interagir afetando seus resultados, e também, auxiliando a futura aplicação de práticas de manejo (HARRIS & NEWMAN, 1994; NEWMAN et al., 1999).

### **2.2.2 – A visão sistêmica e o paradigma analítico**

É facilmente perceptível que a compreensão humana sobre a estrutura orgânica da produção é limitada, sobretudo sob o prisma dos métodos tradicionais de análise que, indiscutivelmente, são incapazes de reproduzir os meios diversos com que os sistemas naturais de produção operam.

A metodologia de Dinâmica de Sistemas, criada por Jay Forrester na década de 1950, tem sido utilizada para analisar o comportamento destes tipos de sistemas ao longo do tempo (FORRESTER, 1961). Ela utiliza conceitos de simulação computacional e uma linguagem orientada a objetos, possibilitando a modelagem de sistemas de diferentes áreas, verificar as interações entre as variáveis de cada sistema e entre os sistemas. Fenômenos sistêmicos que são mascarados pelos modelos mentais reducionistas, com sua não-linearidade e os atrasos, também podem ser melhor visualizados com o auxílio da metodologia.

Sendo assim a visão sistêmica busca recriar esses mecanismos de modo a propor modelos mentais constituídos em forma de diagramas de fluxo que representem as influências de causa e efeito inerentes a sua dinâmica natural. Para tanto fundamentam-se na linguagem da dinâmica de sistemas para a compreensão de seu funcionamento e a tomada de decisões.

Depois de se estruturar o sistema no simulador, o tomador de decisão terá a sua disposição um modelo de simulação que gera diferentes cenários futuros do sistema analisado, catalisando o processo de experimentação e criação de modelos mentais que traduzam a realidade com fidelidade (SENGE et al. 2000).

Segundo afirmação de ACKOFF (1979), no mundo atual os gerentes não são confrontados com problemas independentes entre si, mas com situações dinâmicas que consistem de sistemas complexos de mudanças que interagem entre si.

Essa concepção filosófica de gerenciamento parte do pressuposto de que a integração de diferentes ciências e a participação de competências diversas favorecem a construção do conhecimento na forma holística, tornando possível o entendimento de sistemas produtivos tão complexos como os sistemas de produção de leite.

O paradigma analítico, por sua vez, parte da concepção de sequenciamento dos sistemas, reduzindo-os em subunidades, para a partir da compreensão de suas partes menores tecer a compreensão do funcionamento do todo. Adotando uma visão reducionista do sistema.

Em oposição ao método analítico ou mecanicista, a visão sistêmica adota a compreensão do sistema partindo das inter-relações de suas unidades componentes investigando os fluxos de entradas e saídas e o comportamento de retroalimentação entre elas a fim de elaborar o entendimento de sua dinâmica de funcionamento, atuando portanto, de forma expansionista.

### **2.2.3 - Administração estratégica**

#### **2.2.3.1 - Sistemas de informação**

A administração estratégica compreende os conceitos da visão sistêmica para a tomada de decisões, partindo do princípio de que as relações corporativas assumem um comportamento dinâmico entre suas relações.

Para Guimarães (2007), os tomadores de decisão possuem uma tarefa difícil, na tentativa de antecipar eventos futuros, programar ajustes e eliminar erros que gerem custos, apenas gerenciando informações. A realidade da incerteza econômica no ambiente dos negócios complica o processo de administração da informação para os tomadores de decisão. A administração da informação é um problema de crescente importância econômica e estratégica para as organizações, devido às rápidas modificações sofridas no ambiente de negócios provenientes dos avanços tecnológicos.

As incertezas e a grande oscilação no mercado, sobretudo no segmento do agronegócio, a atividade de administrar embute grande responsabilidade e caráter crucial na perspectiva de competitividade e obtenção de lucros. Para tanto o amplo entendimento a cerca dos processos do negócio como o domínio técnico e análise de riscos apresentam-se como pontos determinantes para o sucesso do empreendimento.

Com o advento da computação e o uso de sistemas informatizados na gestão de negócios, abre-se um novo conceito no segmento administrativo, criando a possibilidade de incorporação de modelos mentais à modelos analíticos sofisticados, por via de programas computacionais. Estes modelos auxiliam na mensuração dos riscos, dimensionamento de investimentos e aplicação de tecnologias, minimizando a incerteza no ambiente dos negócios.

#### **2.2.3.2 - Planejamento estratégico**

Os sistemas de informação podem ser encarados como importante ferramenta para o planejamento estratégico de empresas agropecuárias, já que possibilitam a recriação dos sistemas de produção em forma de modelos dinâmicos, criando cenários futuros a

partir de consultas presentes, onde o tomador de decisão pode simular os horizontes de evolução do empreendimento e planejar a obtenção de suas metas.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 - Caracterização do ambiente para desenvolvimento do modelo**

A caracterização do cenário para desenvolvimento do modelo de simulação foi realizada com base em informações de controles zootécnicos e econômicos do sistema de produção de leite da Fazenda Experimental Risoleta Neves (FERN), situada no município de São João del-Rei, mesorregião do campo das vertentes em Minas Gerais.

#### **3.2 - Descrição do modelo**

##### **3.2.1 - Visão geral do modelo**

O modelo foi desenvolvido em microcomputador, no formato de um *software*, em linguagem *Basic*, com a utilização do pacote *Microsoft® Visual Basic 2010*. A representação esquemática geral do modelo de simulação pode ser observada na Figura 1.

Como o modelo de simulação foi desenvolvido no formato de um *software*, sua utilização e o acesso a cada um dos seus componentes pode ser realizado por meio do formulário principal (Figura 1).



Figura 1 – Formulário principal do *software* do modelo de simulação.

As variáveis utilizadas no modelo de simulação, bem como seus significados e unidades, encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Variáveis utilizadas no modelo de simulação, significados e unidades.

| Variáveis          | Significado  | Unidade                               |
|--------------------|--|---------------------------------------|
| $\bar{X}_{Prec}$   | Média da precipitação pluviométrica.   | Mm                                    |
| $\bar{X}_{Tar}$    | Média da temperatura do ar.  | °C                                    |
| $CrPast_{(i)}$     | Acúmulo de pasto, no i-ésimo dia.  | kg de<br>MS/ha.dia <sup>-1</sup>      |
| $DgPastIn_{(i)}$   | Digestibilidade de pasto ingerido, no i-ésimo dia.   | %                                     |
| $DgPastIn_{(n)}$   | Digestibilidade de pasto ingerido para o módulo n  | %                                     |
| $DgPastOf_{(i)}$   | Digestibilidade de pasto oferecido, no i-ésimo dia.  | %                                     |
| $DgPastOf_{(i-1)}$ | Digestibilidade de pasto oferecido, anterior ao i-ésimo dia.                               | %                                     |
| $DpPast_{(i)}$     | Disponibilidade de pasto por hectare, no i-ésimo dia.                                      | kg de<br>MS.ha <sup>-1</sup>          |
| $DpPastOf_{(i-1)}$ | Disponibilidade de pasto por hectare, anterior ao i-ésimo dia.                             | kg de<br>MS.ha <sup>-1</sup>          |
| $EMPast_{(i)}$     | Energia metabolizável do pasto, no i-ésimo dia.  | Mcal/kg de<br>MS/ha.dia <sup>-1</sup> |
| $EMexig_{(j)}$     | Exigência de energia metabolizável, no j-ésimo dia.  | Mcal /dia <sup>-1</sup>               |
| $FCdisp_{(i)}$     | Fator de correção do crescimento do pasto por disponibilidade de forragem, no i-ésimo dia. | 0 – 1                                 |
| $FCprec_{(m)}$     | Fator de correção do crescimento do pasto por precipitação pluviométrica, no m-ésimo mês.  | 0 – 1                                 |
| $FCselDg_{(i)}$    | Fator de correção de seleção de pastoreio por digestibilidade do pasto, no i-ésimo dia.    | 0 – 1                                 |
| $FCselDp_{(i)}$    | Fator de correção de seleção de pastoreio por disponibilidade do pasto,                    | 0 – 1                                 |

|                  |  |                                  |
|------------------|--|----------------------------------|
|                  | no i-ésimo dia.  |                                  |
| $FCtemp_{(i)}$   | Fator de correção do crescimento do pasto por temperatura, no i-ésimo dia.                               | 0 – 1                            |
| $ID_{1COB}$      | Idade da novilha à primeira cobertura  | Dias                             |
| $ID_{1GES}$      | Idade da novilha à concepção da primeira gestação  | Dias                             |
| $IEMconc_{(j)}$  | Ingestão de energia metabolizável de concentrado, no j-ésimo dia.  | Mcal/ kg de MS/dia <sup>-1</sup> |
| $IMSPha_{(i)}$   | Ingestão de matéria seca de pasto, no i-ésimo dia.   | kg de MS/ha.dia <sup>-1</sup>    |
| $IMaxFDN_{(j)}$  | Capacidade máxima de ingestão de FDN, no j-ésimo dia.  | kg de FDN/dia <sup>-1</sup>      |
| $IP_N$           | Período de intervalo entre partos, do n-ésimo grupo animal.  | Dias                             |
| $IPast_{(j)}$    | Ingestão de pasto, no j-ésimo dia.   | kg de MS/ha.dia <sup>-1</sup>    |
| $IPha_{(i)}$     | Ingestão de pasto por hectare, no i-ésimo dia.   | kg de MS/ha.dia <sup>-1</sup>    |
| $IPotPast_{(j)}$ | Ingestão potencial de pasto, no j-ésimo dia.   | kg de MS/ha.dia <sup>-1</sup>    |
| $IS_{(i)}$       | Índice de seleção de forragem pastoreada, no i-ésimo dia.  | 0 – 1                            |
| $IT_{c10}$       | Intervalo entre cios.  | Dias                             |
| $Pisot_{(i)}$    | Perdas de pasto por pisoteio, no i-ésimo dia.  | kg de MS/ha.dia <sup>-1</sup>    |
| $Prec_{(m)}$     | Precipitação pluviométrica no m-ésimo mês.   | Mm                               |
| $Senesc_{(i)}$   | Perdas de pasto por senescência, no i-ésimo dia.   | kg de MS/ha.dia <sup>-1</sup>    |
| $Tar_{(i)}$      | Temperatura do ar, no i-ésimo dia.   | °C                               |
| $Tsolo_{(i)}$    | Temperatura do solo, no i-ésimo dia.   | °C                               |
| $TxLot_{(i)}$    | Taxa de lotação da pastagem, no i-ésimo dia.   | UA/ha.dia <sup>-1</sup>          |
| $cp_{(i-1j-1)}$  | Compra de animais anterior ao i-ésimo dia de simulação e anterior ao j-ésimo dia da fase de produção.    | Uni                              |
| $mt_{(i-1j-1)}$  | Morte de animais anterior ao i-ésimo dia de simulação e anterior ao j-ésimo dia da fase de produção.     | Uni                              |
| $n_{(ij)}$       | Módulo animal no i-ésimo dia de simulação e no i-ésimo dia de produção.                                  | Uni                              |
| $n_{(i-1j-1)}$   | Módulo animal no dia anterior ao i-ésimo dia de simulação e anterior ao j-ésimo dia da fase de produção. | Uni                              |
| $SPrec$          | Desvio padrão da precipitação pluviométrica.   | Mm                               |
| $STar$           | Desvio padrão da temperatura do ar.  | °C                               |
| $vd_{(i-1j-1)}$  | Venda de animais anterior ao i-ésimo dia de simulação e anterior ao j-ésimo dia da fase de produção.     | Uni                              |
| $FCIPdg$         | Fator de correção da ingestão de pasto pela digestibilidade  | 0 – 1                            |
| $FCIPdp$         | Fator de correção da ingestão de pasto pela disponibilidade  | 0 – 1                            |
| $NIC$            | Número médio de inseminações por concepção   | Uni                              |

|                               |   |                                  |
|-------------------------------|---|----------------------------------|
| <i>Past</i>                   | Área total de pastagens                   | Há                               |
| <i>PastDp</i>                 | Área de pasto disponível                  | Há                               |
| <i>PPRef</i>                  | Percentual da área de pasto em reforma    | %                                |
| <i>PU</i>                     | Percentual de utilização do pasto         | %                                |
| <i>VUP</i>                    | Vida útil do pasto                        | Anos                             |
| <i>CrPot</i>                  | Crescimento potencial de pasto.           | kg de<br>MS/ha.dia <sup>-1</sup> |
| <i>DpPast<sub>(t-1)</sub></i> | Disponibilidade de pasto, no i-ésimo dia. | kg de<br>MS/ha.dia <sup>-1</sup> |
| <i>U</i>                      | Função de distribuição uniforme.          | 0 – 1                            |

Para melhor compreensão das relações e apresentação de seus módulos o modelo foi subdividido em quatro submodelos inter-relacionados, como demonstrado na Figura 2.

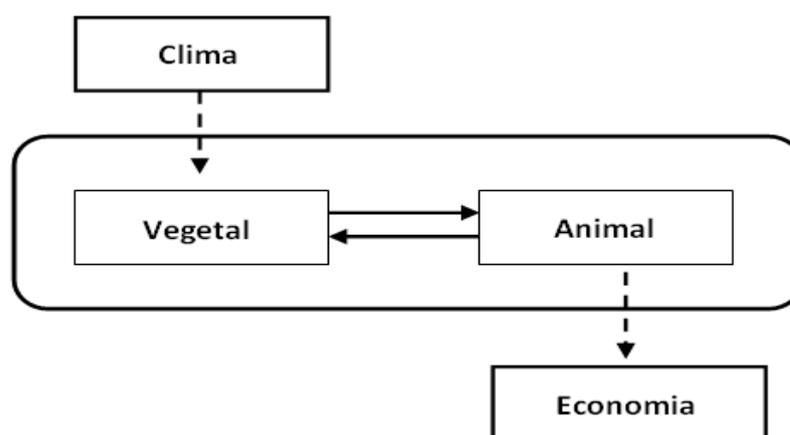


Figura 2 – Inter-relações entre os submodelos do modelo de simulação.

Por meio da precipitação pluviométrica e da temperatura do ar, o submodelo *Clima* influencia o crescimento de forragem no submodelo *Vegetal*. O submodelo *Vegetal* exerce influência sobre o desempenho dos animais, no submodelo *Animal*. O submodelo *Animal*, por sua vez, influencia o crescimento das forrageiras por meio do controle da disponibilidade de forragem por hectare, por fim, as relações entre os submodelos *Vegetal* e *Animal* por determinarem o desempenho produtivo do sistema interferem diretamente no submodelo *Economia*, que traduz a eficiência do sistema em termos econômicos por meio da análise de viabilidade do mesmo.

### 3.2.2 – Submodelo *Clima*

As variáveis climáticas, temperatura média diária e precipitação média mensal receberam tratamento estocástico. Para tal, utilizou-se a transformação sugerida por Box e Muller (1958), na qual duas funções de distribuição de densidade e probabilidade uniforme são combinadas para geração de uma distribuição normal.

$$Tar_{(i)} = s_{Tar} \cdot \sqrt{-2 \cdot \log U} \cdot \cos(\pi \cdot U) + \bar{X}_{Tar} \quad (1)$$

$$Prec_{(m)} = s_{Prec} \cdot \sqrt{-2 \cdot \log U} \cdot \cos(\pi \cdot U) + \bar{X}_{Prec} \quad (2)$$

Tanto as médias como suas respectivas medidas de variação, das variáveis climáticas foram abordadas como dados de entrada do modelo de simulação. Essas informações foram obtidas nos registros disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. O *software*, entretanto, permite a modificação do valor dessas variáveis, por meio do formulário de dados climáticos (Figura 3). A partir da temperatura do ar, foi utilizada a equação proposta por Miguéis (1995), para estimativa da temperatura do solo.

$$T_{solo_{(i)}} = \frac{Tar_{(i)} + 2,6}{0,93} \quad (3)$$

Tempo de simulação (dias):

Entrada de dados Gráficos

| Valores de temperatura média diária (°C)               |       |               | Valores de precipitação média mensal (mm)                |        |               |
|--|-------|---------------|--|--------|---------------|
|  | Média | Desvio Padrão |  | Média  | Desvio Padrão |
| Janeiro  | 24,00 | 0,36          | Janeiro  | 200,00 | 20,00         |
| Fevereiro  | 23,50 | 0,35          | Fevereiro  | 180,00 | 18,00         |
| Março  | 23,50 | 0,34          | Março  | 190,00 | 19,00         |
| Abril  | 23,00 | 0,33          | Abril  | 100,00 | 10,00         |
| Mai  | 22,00 | 0,31          | Mai  | 60,00  | 6,00          |
| Junho  | 20,00 | 0,30          | Junho  | 30,00  | 3,00          |
| Julho  | 18,00 | 0,30          | Julho  | 10,00  | 1,00          |
| Agosto   | 19,00 | 0,31          | Agosto   | 20,00  | 2,00          |
| Setembro   | 21,00 | 0,32          | Setembro   | 60,00  | 6,00          |
| Outubro  | 23,00 | 0,33          | Outubro  | 120,00 | 12,00         |
| Novembro   | 23,50 | 0,34          | Novembro   | 180,00 | 18,00         |
| Dezembro   | 24,00 | 0,35          | Dezembro   | 210,00 | 21,00         |
| Desvio padrão anual: <input type="text" value="1,50"/> |       |               | Desvio padrão anual: <input type="text" value="100,00"/> |        |               |

Figura 3 – Formulário de dados climáticos.

### 3.2.3 – Submodelo *Vegetal*

#### 3.2.3.1 – *Pastagem*

O crescimento do pasto foi abordado tal como descrito por Brito et al. (1998) e por Bonatti (2009), em que cada espécie forrageira possui um crescimento potencial máximo, geneticamente determinado. O crescimento potencial, segundo a abordagem usada, é observado apenas em condições ótimas de temperatura, precipitação e disponibilidade de massa de forragem por área. Sendo assim, o crescimento de forragem foi modelado como o produto do crescimento potencial de forragem e de coeficientes que representam decréscimos do crescimento, devido às condições de temperatura, precipitação e disponibilidade de forragem por hectare.

$$CrPast_{(i)} = CrPot \cdot FCtemp_{(i)} \cdot FCprec_{(m)} \cdot FCdisp_{(i)} \quad (4)$$

O fator de correção do crescimento de forragem por temperatura é uma função quadrática da temperatura do solo, assim como o fator de correção do crescimento do pasto pela precipitação é uma função quadrática da precipitação pluviométrica mensal.

$$FCtemp_{(i)} = -0,71734 + 0,101799 \cdot T_{solo(i)} - 0,001498 \cdot T_{solo(i)}^2 \quad (5)$$

$$FCprec_{(m)} = 0,002865 + 0,00694 \cdot Prec_{(m)} - 0,000012 \cdot Prec_{(m)}^2 \quad (6)$$

Isso implica no decréscimo do crescimento de pasto, quando a temperatura e a precipitação pluviométrica estão acima ou abaixo dos valores ideais exigidos pela forrageira.

O fator de correção do crescimento do pasto por disponibilidade está condicionado a aplicação de uma estrutura de decisão. Caso a disponibilidade de forragem esteja entre 825 e 4.000 kg de matéria seca por hectare assume-se que esse fator não compromete o crescimento de forragem. Já em disponibilidades menores considera-se que o crescimento é reduzido devido a baixa disponibilidade de área foliar para fotossíntese. Por outro lado, quando a disponibilidade de forragem é muito elevada, o crescimento é diminuído devido ao auto sombreamento das folhas.

*Caso*  $825 < DpPast_{(i-1)} < 4.000$  então

$$FCdisp_{(i)} = 1$$

*Senão*

$$FCdisp_{(i)} = 0,5315 + 0,000697 \cdot DpPast_{(i-1)} - 0,00000015 \cdot DpPast_{(i-1)}^2 \quad (7)$$

A disponibilidade atual de pasto é computada como a disponibilidade de pasto do dia anterior, acrescida do crescimento de forragem e subtraída da ingestão de pasto por hectare, do pisoteio exercido pelos animais e da senescência das plantas. O pisoteio é assumido como 1% da disponibilidade de forragem e a senescência é fixada em 25% do crescimento de forragem. Conforme sugerido pelo setor de forragicultura da Universidade Federal de São João Del Rei - UFSJ, com base nas avaliações executadas em seu campo experimental.

$$DpPast_{(i)} = DpPast_{(i-1)} + CrPast_{(i)} - IPha_{(i)} - Pisot_{(i)} - Senesc_{(i)} \quad (8)$$

Na Figura 4, a evolução do rebanho influencia a ingestão de matéria seca de pasto por hectare, pois essa é função da taxa de lotação e da ingestão de matéria seca de pasto por animal.

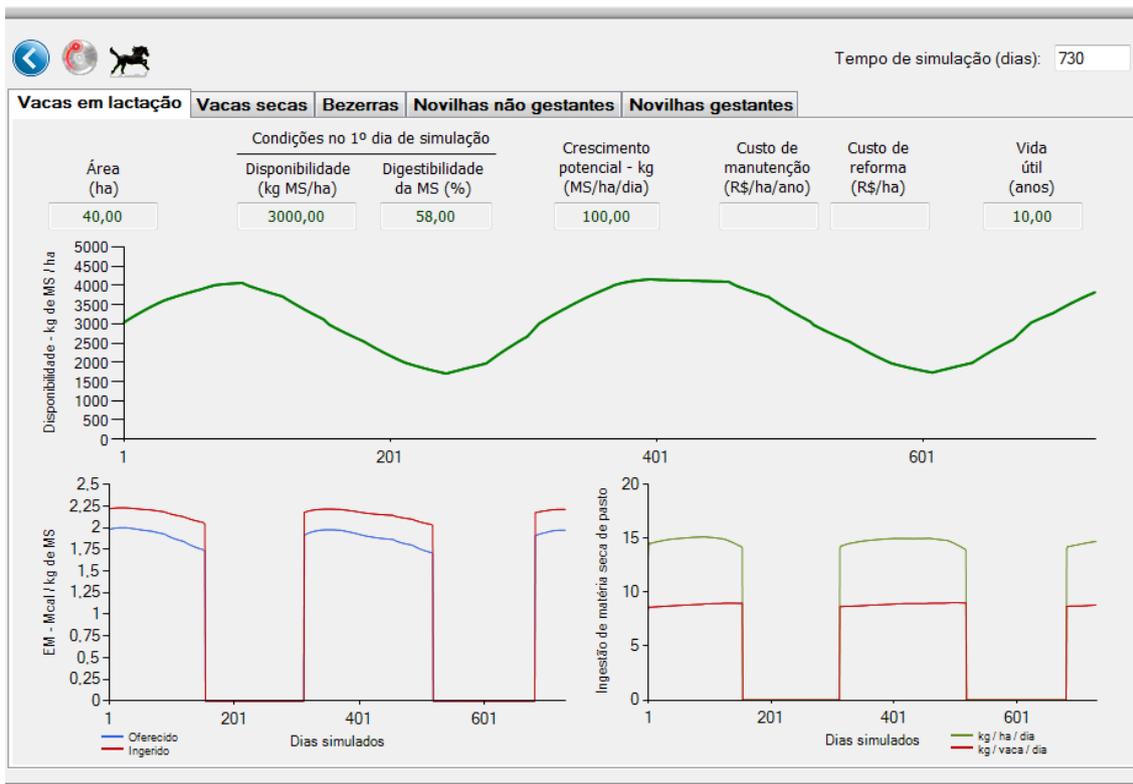


Figura 4 – Formulário de entrada para dados de disponibilidade e digestibilidade do pasto.

A digestibilidade do pasto é calculada como uma ponderação entre a digestibilidade do pasto disponível no dia anterior e a digestibilidade do pasto acumulado no dia atual.

$$DgPastOf_{(i)} = \frac{[(DpPast_{(i-1)} \cdot DgPastOf_{(i-1)} \cdot 0,995) + CrPast_{(i)} \cdot 0,7]}{(DpPastOf_{(i-1)} + CrPast_{(i)})} \quad (9)$$

Considera-se no modelo que a digestibilidade do pasto oferecido é de 70%, no primeiro dia de crescimento. Essa digestibilidade é decrescida pelo fator de 1-0,995 por dia, de forma que a digestibilidade do pasto oferecido, no dia atual, depende da relação entre a disponibilidade anterior e o crescimento atual do pasto. Originalmente, Brito et al. (1998) usaram o valor de 0,998 para o coeficiente do primeiro termo do numerador. Entretanto o valor de 0,995 resultou, em estudos preliminares, em variações de digestibilidade do pasto mais condizentes com os dados apresentados por Valadares Filho et al. (2010), para *Brachiaria decumbens*.

A digestibilidade do pasto ingerido é calculada a partir da digestibilidade do pasto oferecido e do índice de seleção, de forma que, em geral, a digestibilidade do pasto ingerido seja quase sempre maior que a digestibilidade do pasto oferecido.

$$DgPastIn_{(i)} = DgPastOf_{(i)} \cdot IS_{(i)} \quad (10)$$

O índice de seleção é calculado com base no produto de fatores de correção da seletividade do pasto pelos animais, pela digestibilidade da forragem e pela disponibilidade de forragem. Destarte, quanto maior os valores dos fatores de correção para seletividade, maior o valor do índice de seleção e maior também a diferença de qualidade entre o pasto oferecido e o ingerido.

$$IS_{(i)} = 1 + FCselDg_{(i)} \cdot FCselDp_{(i)} \quad (11)$$

O fator de correção da seletividade por digestibilidade assume valor zero quando a digestibilidade do pasto oferecido é maior ou igual a 0,7 (70%). Nessas condições, assumiu-se que os animais não exercem seleção da forragem em função da sua digestibilidade.

$$FCselDg_{(i)} = 0,5833 - 0,8333 \cdot DgPastOf_{(i)} \quad (12)$$

O fator de correção da seletividade do pasto por disponibilidade de forragem é calculado em função da porcentagem de utilização do pasto. Dessa forma, quanto maior a porcentagem de utilização do pasto menor será a capacidade de seleção da forragem ingerida pelos animais. A porcentagem de utilização do pasto é a relação entre a ingestão e a disponibilidade de forragem por hectare.

$$FCselDp_{(i)} = 1,2 - 40 \cdot PU_{(i)} \quad (13)$$

$$PU_{(i)} = \frac{IPha_{(i)}}{DpPast_{(i)}} \quad (14)$$

A concentração de energia metabolizável do pasto é calculada a partir da digestibilidade do pasto, conforme recomendado pelo MAFF(1984).

$$EMPast_{(i)} = \frac{[0,172 \cdot (DgPastIn_{(i)} \cdot 100) - 1,707]}{4,184} \quad (15)$$

A porcentagem de área de pasto em reforma é calculada de acordo com a vida útil dos pastos e determina a quantidade de área de pastagens disponível para a alimentação dos animais.

$$PPRef = \frac{1}{VUP} \cdot 100 \quad (16)$$

$$PastDp = Past \cdot [1 - (PPRef \cdot 0,01)] \quad (17)$$

A taxa de lotação é calculada de acordo com o número de unidades animais em pastejo, sendo cada unidade animal computada como 450 kg de peso corporal.

### **3.2.4 - Submodelo *Animal***

#### **3.2.4.1 - *Evolução de rebanho***

A representação esquemática da evolução de rebanho pode ser observada no diagrama de estoques e fluxos da Figura 5. O submodelo de evolução de rebanho foi dividido em módulos, que representam categorias ou fases da vida dos animais. Os módulos foram interligados, de forma com que o fluxo de material (setas contínuas) entre esses ocorresse apenas no sentido do aumento da idade dos animais. As setas descontínuas representam fluxos de informação que determinam o nascimento de animais, em função de modificações nos estoques de vacas, em cada intervalo de partos (IP).

Cada módulo foi computado como uma matriz bidimensional  $ij$ , cujas linhas  $i$  representam os dias de simulação e as colunas  $j$  referem-se aos dias de idade ou dias de permanência em cada módulo. Destarte, cada posição matricial corresponde ao valor do número de animais ( $n$ ) em um dia de simulação ( $i$ ), no dia específico ( $j$ ) de cada módulo. Por exemplo, no módulo de bezerras, a posição matricial de animais com 30

dias de idade, no dia 600 de simulação pode ser representada por  $n_{(600,30)}$ . Já a posição matricial de vacas com 200 dias de lactação, no dia 10 de simulação, num dado módulo de intervalo de partos, pode ser representada como  $n_{(10,200)}$ .

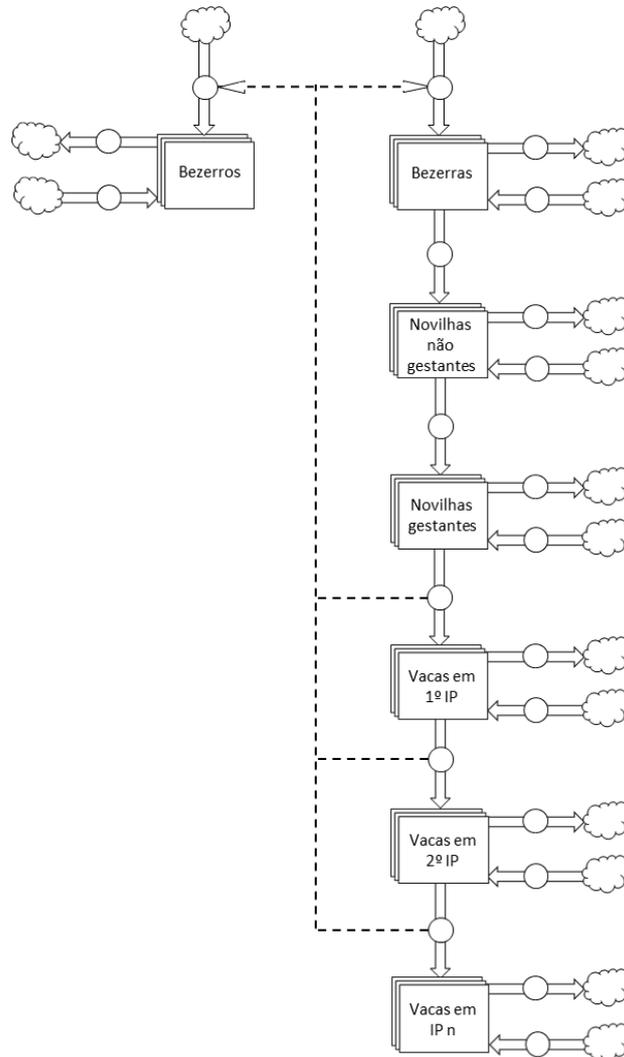


Figura 5 – Diagrama de estoques e fluxos que representa de forma geral a evolução de rebanho no modelo de simulação.

Na evolução do rebanho, de forma geral, o número atual de animais em cada posição matricial corresponde ao número de animais do dia anterior, acrescido do número de animais comprados no dia anterior e subtraído do número de vendas e mortes do dia anterior.

$$n_{(ij)} = n_{(i-1j-1)} + cp_{(i-1j-1)} - vd_{(i-1j-1)} - mt_{(i-1j-1)} \quad (18)$$

O número de posições  $j$  de cada módulo é um valor fixo ou variável, dependendo do módulo. Para o módulo de bezerras  $j = 365$ , pois contempla as fêmeas do

nascimento até um ano de idade. No módulo de novilhas não gestantes  $j$  é variável e corresponde a idade compreendida entre 366 dias e o dia de vida do início da primeira gestação. Esse, por sua vez, depende da idade a primeira cobertura, do intervalo médio de cios e do número médio de inseminações por concepção.

$$ID_{1ges} = ID_{1cob} + IT_{cio} \cdot (NIC - 1) \quad (19)$$

No módulo de novilhas gestantes  $j = 282$ , pois se refere ao número médio de dias de gestação. Já nos módulos de intervalo de partos (IP),  $j$  é variável e depende do intervalo de cios e do número de inseminações por concepção, além do tempo médio entre o parto e o primeiro cio útil, assumido como 42 dias, e o número médio de dias de gestação, 282.

$$IP_n = 42 + IT_{cio} \cdot (NIC - 1) + 282 \quad (20)$$

Em cada módulo de IP, o número de vacas secas e em lactação, num dado dia de simulação, depende do número de dias do IP, além de fatores dinâmicos inerentes as condições de simulação e de variáveis estáticas estabelecidas como dados de entrada do modelo, como os parâmetros das curvas de lactação, a produção de leite para secagem das vacas e o número mínimo de dias de descanso. A Figura 6 demonstra o formulário de dados de entrada de vacas, para a evolução de rebanho.

Tempo de simulação (dias):

Entrada de dados Gráficos 1 Gráficos 2

| Ord. | Número inicial de vacas         | Produção p/ interrupção da lactação (L/vaca/dia) | Período de descanso mínimo (dias) | Intervalo de cios (dias)        | Insemin. por concep.              | Nascimentos de fêmeas (% do total) | Aleatorizar nascim.                 | Natimort. (%)                     | Taxa de mortalidade (%)           | Taxa de descarte (%)                |
|------|---------------------------------|--|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 1    | <input type="text" value="12"/> | <input type="text" value="1.0"/>                 | <input type="text" value="60"/>   | <input type="text" value="22"/> | <input type="text" value="1.90"/> | <input type="text" value="50.00"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="text" value="1.00"/> | <input type="text" value="0.25"/> | <input type="text" value="8.50"/>   |
| 2    | <input type="text" value="11"/> | <input type="text" value="2.0"/>                 | <input type="text" value="60"/>   | <input type="text" value="21"/> | <input type="text" value="1.60"/> | <input type="text" value="50.00"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="text" value="1.00"/> | <input type="text" value="0.25"/> | <input type="text" value="9.50"/>   |
| 3    | <input type="text" value="10"/> | <input type="text" value="2.0"/>                 | <input type="text" value="60"/>   | <input type="text" value="22"/> | <input type="text" value="1.60"/> | <input type="text" value="50.00"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="text" value="1.00"/> | <input type="text" value="0.25"/> | <input type="text" value="12.00"/>  |
| 4    | <input type="text" value="9"/>  | <input type="text" value="2.0"/>                 | <input type="text" value="60"/>   | <input type="text" value="21"/> | <input type="text" value="1.50"/> | <input type="text" value="50.00"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="text" value="1.00"/> | <input type="text" value="0.25"/> | <input type="text" value="15.00"/>  |
| 5    | <input type="text" value="8"/>  | <input type="text" value="2.0"/>                 | <input type="text" value="60"/>   | <input type="text" value="22"/> | <input type="text" value="1.70"/> | <input type="text" value="50.00"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="text" value="1.00"/> | <input type="text" value="0.45"/> | <input type="text" value="17.00"/>  |
| 6    | <input type="text" value="7"/>  | <input type="text" value="2.0"/>                 | <input type="text" value="60"/>   | <input type="text" value="23"/> | <input type="text" value="1.90"/> | <input type="text" value="50.00"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="text" value="1.00"/> | <input type="text" value="0.65"/> | <input type="text" value="20.00"/>  |
| 7    | <input type="text" value="6"/>  | <input type="text" value="2.0"/>                 | <input type="text" value="60"/>   | <input type="text" value="24"/> | <input type="text" value="2.20"/> | <input type="text" value="50.00"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="text" value="1.00"/> | <input type="text" value="0.85"/> | <input type="text" value="22.00"/>  |
| 8    | <input type="text" value="5"/>  | <input type="text" value="2.0"/>                 | <input type="text" value="60"/>   | <input type="text" value="25"/> | <input type="text" value="2.30"/> | <input type="text" value="50.00"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="text" value="1.00"/> | <input type="text" value="1.00"/> | <input type="text" value="24.00"/>  |
| 9    | <input type="text" value="4"/>  | <input type="text" value="2.0"/>                 | <input type="text" value="60"/>   | <input type="text" value="26"/> | <input type="text" value="2.20"/> | <input type="text" value="50.00"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="text" value="1.00"/> | <input type="text" value="1.00"/> | <input type="text" value="26.00"/>  |
| 10   | <input type="text" value="3"/>  | <input type="text" value="2.0"/>                 | <input type="text" value="60"/>   | <input type="text" value="25"/> | <input type="text" value="2.50"/> | <input type="text" value="50.00"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="text" value="1.00"/> | <input type="text" value="1.00"/> | <input type="text" value="100.00"/> |

Figura 6 – Formulário de dados de entrada de vacas, para a evolução do rebanho.

### 3.2.4.2 – Curva de lactação

Para predição da curva de lactação, foi utilizado o modelo de Dijkstra et al. (1997), devido ao significado biológico preciso dos parâmetros.

$$CL_{(j)} = a \cdot e^{b \cdot \frac{1 - e^{-c \cdot j}}{c} - d \cdot j} \quad (21)$$

Os parâmetros do modelo de Dijkstra et al. (1997) foram usados como dados de entrada do modelo, (Figura 7) podendo assumir valores diferentes para cada ordem de lactação, caso seja necessário. O modelo permite optar pela utilização da produção diária de leite como variável estocástica ou determinística, por meio da modificação do valor do seu coeficiente de variação.

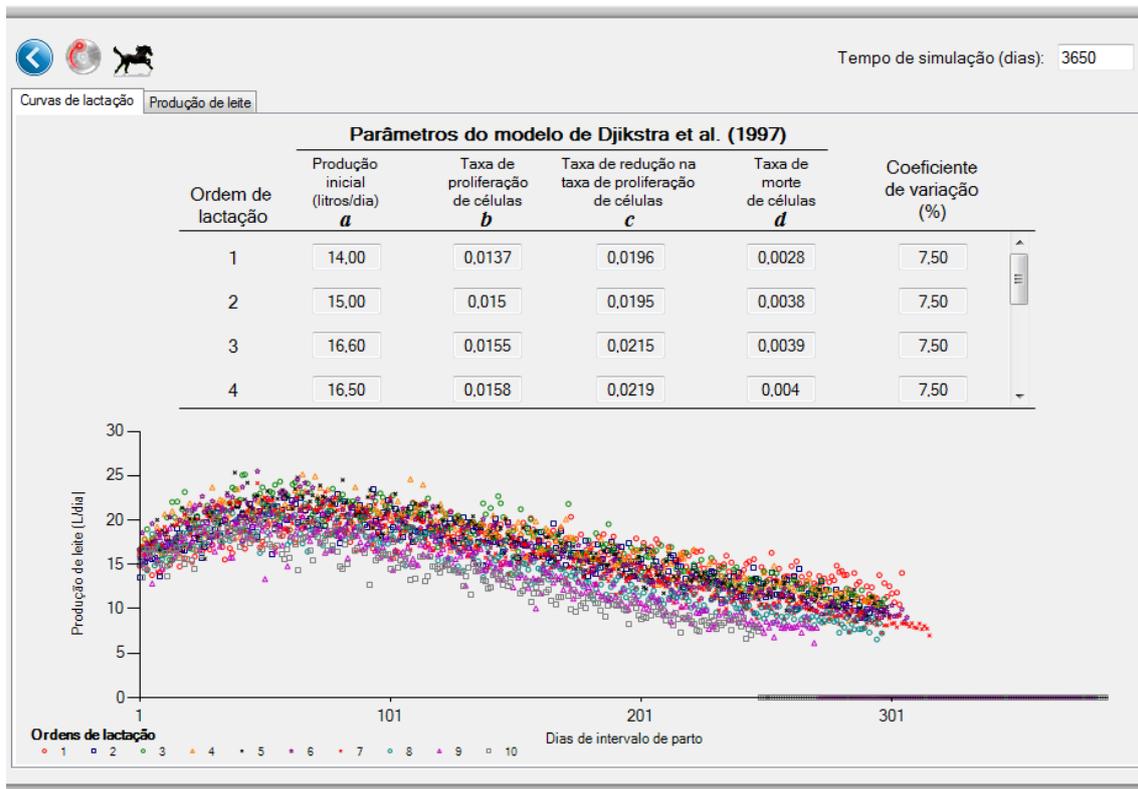


Figura 7 – Formulário de entrada de dados de curva de lactação das vacas, para cada intervalo de partos.

### 3.2.4.3 – Composição do leite

Para predição da curva de porcentual de gordura e proteína do leite foram utilizados os modelos propostos no CNCPS 5.0, assim como os valores recomendados para seus parâmetros, considerando rebanhos da raça Holandesa. Os valores dos parâmetros foram usados como dados de entrada do modelo de simulação, juntamente com o coeficiente de variação para essas variáveis. Esses dados podem ser modificados nos formulários apresentados nas Figuras 8 e 9.

$$PG_{(j)} = 1,01 \cdot a \cdot \left(\frac{j+1}{7}\right)^{-b} \cdot e^{c \cdot \left(\frac{j+1}{7}\right)} \quad (22)$$

$$PP_{(j)} = 1,14 \cdot a \cdot \left(\frac{j+1}{7}\right)^{-b} \cdot e^{c \cdot \left(\frac{j+1}{7}\right)} \quad (23)$$

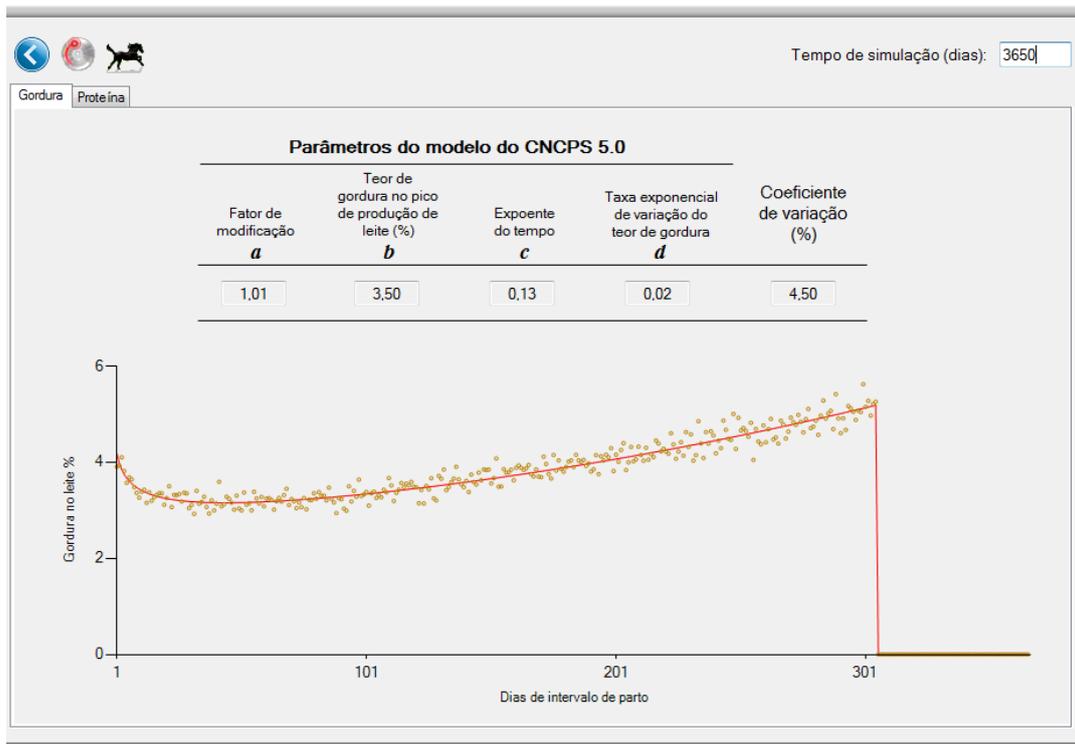


Figura 8 – Formulário de entrada de dados de curva de porcentagem diária de gordura do leite.

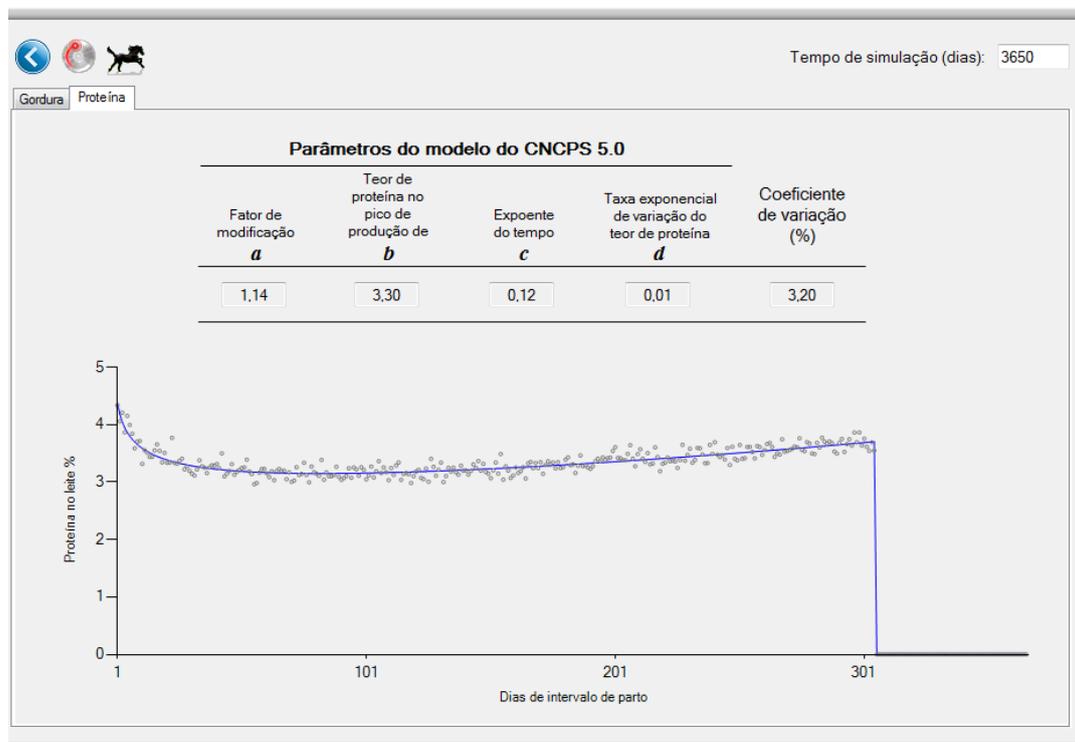


Figura 9 – Formulário de entrada de dados de curva de porcentagem diária de proteína do leite.

#### 3.2.4.4 - *Peso corporal e ganho de peso*

##### **Peso corporal para animais em crescimento**

Para predição do peso corporal das fêmeas, do nascimento a idade a primeira cobertura, foi utilizado o modelo de Lopez et al. (2004). O modelo de Lopez et al. (2004) foi escolhido devido ao significado biológico preciso dos parâmetros, em especial do parâmetro  $k$ , cujo valor pode ser associado ao modelo de simulação como a idade em que as novilhas atingem o peso mínimo para a primeira cobertura. No modelo de simulação,  $k$  foi assumido como a idade em que as fêmeas atingem a metade do peso corporal a maturidade, valor este associado com a idade a primeira cobertura.

$$PCcr_{(j)} = \frac{a \cdot k^c + b \cdot j^c}{k^c + j^c} \quad (24)$$

##### **Peso corporal de novilhas gestantes**

O ganho de peso diário das novilhas em gestação foi calculado como a diferença entre o peso a primeira cobertura e o peso ao primeiro parto, sendo este assumido como 80% do peso a maturidade, dividido pelo número de dias em gestação.

##### **Peso corporal durante os intervalos de partos**

Para predição do peso corporal dos animais durante a lactação foi utilizado o modelo de Rotz et al. (1999), juntamente com os valores dos parâmetros recomendados pelos autores, separados em primeira, segunda e terceira ou maior lactações. Os valores dos parâmetros foram usados como dados de entrada do modelo de simulação (Figura 10).

$$PClac_{(j)} = a \cdot \left( \frac{j}{7} + b \right)^{-c} \cdot e^{d \cdot \left( \frac{j}{7} + h \right)} \quad (25)$$

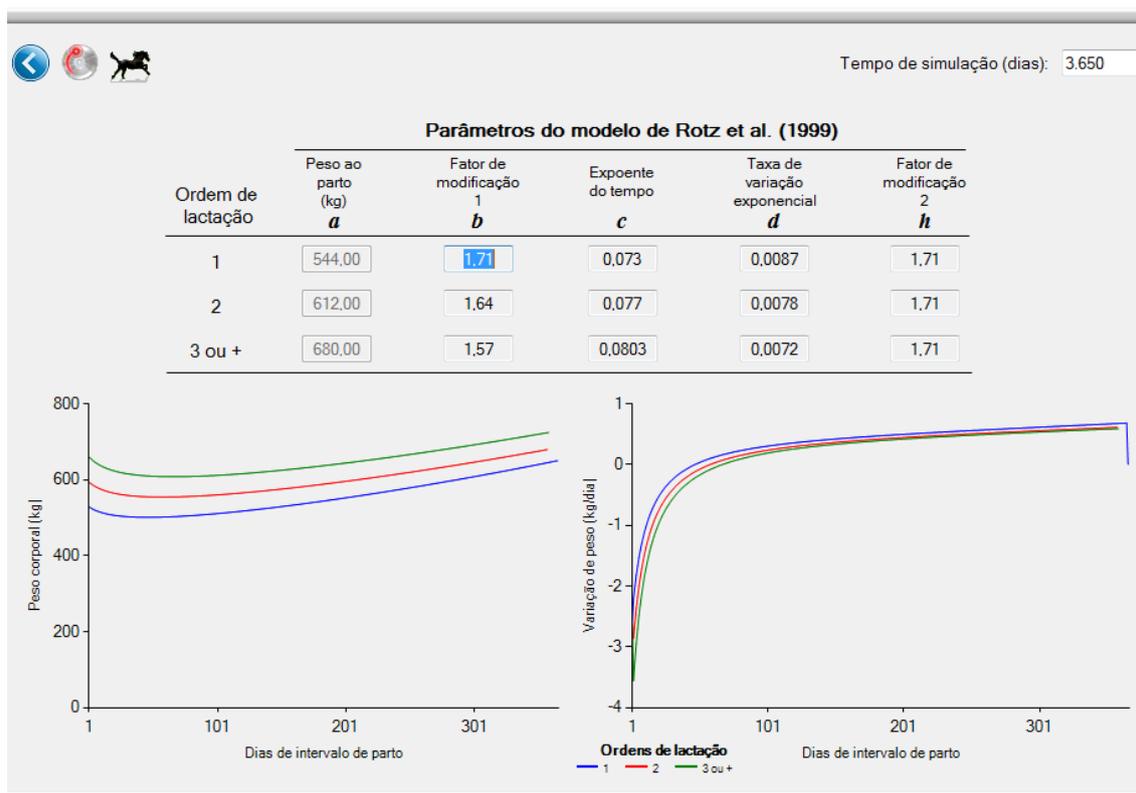


Figura 10 – Formulário de entrada de dados de curva de variação de peso durante os intervalos de partos.

### 3.2.4.5 – Alimentação do rebanho

#### Exigências nutricionais

O balanceamento de rações não fez parte do objetivo do modelo de simulação. Além disso, foi assumido que a demanda por energia é o fator determinante para a estimativa do consumo potencial de alimentos. Dessa forma, optou-se por desconsiderar as exigências de proteína e demais nutrientes e contemplar apenas os cálculos de exigência de energia dos animais.

Para vacas em lactação, as exigências de energia foram estimadas de acordo com o recomendado pelo NRC (2001), com exceção da exigência de energia metabolizável de gestação. Nesse caso, utilizou-se a equação recomendada no AFRC (1993), por ser considerada mais condizente com a abordagem dinâmica do modelo de simulação. As exigências de energia líquida de manutenção, lactação e variação de peso corporal foram convertidas em exigência de energia metabolizável, utilizando a eficiência constante de 0,65, recomendada pelo NRC (2001).

### Consumo de alimentos

A ingestão de pasto por animal foi calculada utilizando-se a abordagem da ingestão potencial. Assumiu-se que a ingestão potencial de pasto é determinada pela demanda energética dos animais, diferentemente de Brito et al. (1998) e Bonatti (2009), que utilizaram o peso corporal e a idade dos animais como determinantes da ingestão potencial. Dessa forma, a ingestão potencial diária de matéria seca de pasto por animal foi calculada de acordo com a demanda energética de cada animal – descontada da ingestão de energia metabolizável de alimentos concentrados – e a concentração de energia metabolizável do pasto.

$$IPotPast_{(j)} = \frac{EMexig_{(j)} - IEMconc_{(j)}}{EMPast_{(i)}} \quad (26)$$

Tal como em Brito et al. (1998), utilizou-se a abordagem na qual a ingestão potencial é limitada pela disponibilidade de pasto e pela digestibilidade do pasto. Para tal foram calculados fatores multiplicativos de correção da ingestão potencial de pasto, devido a variações na quantidade de massa seca de pasto disponível para os animais e na fração dessa massa seca disponível, que é digerida.

$$IPast_{(j)} = IPotPast_{(j)} \cdot FCIPdp_{(i)} \cdot FCIPdg_{(i)} \quad (27)$$

$$FCIPdp_{(i)} = 1 - e^{-0,001664 \cdot \frac{DpPast_{(i)}}{TxLot_{(i)}}} \quad (28)$$

$$FCIPdg_{(i)} = 2,233 \cdot DgPastIn_{(i)} - 0,5633 \quad (29)$$

A ingestão de silagem pelas vacas foi estimada de acordo com o proposto por Rotz et al. (1999). Nessa abordagem, a ingestão de silagem é limitada pela capacidade máxima de ingestão de fibra pelos animais, que varia ao longo da lactação.

$$IMaxFDN_{(j)} = q \cdot \left( \frac{j}{7} + r \right)^h \cdot e^{p \cdot \frac{j}{7} + r} \quad (30)$$

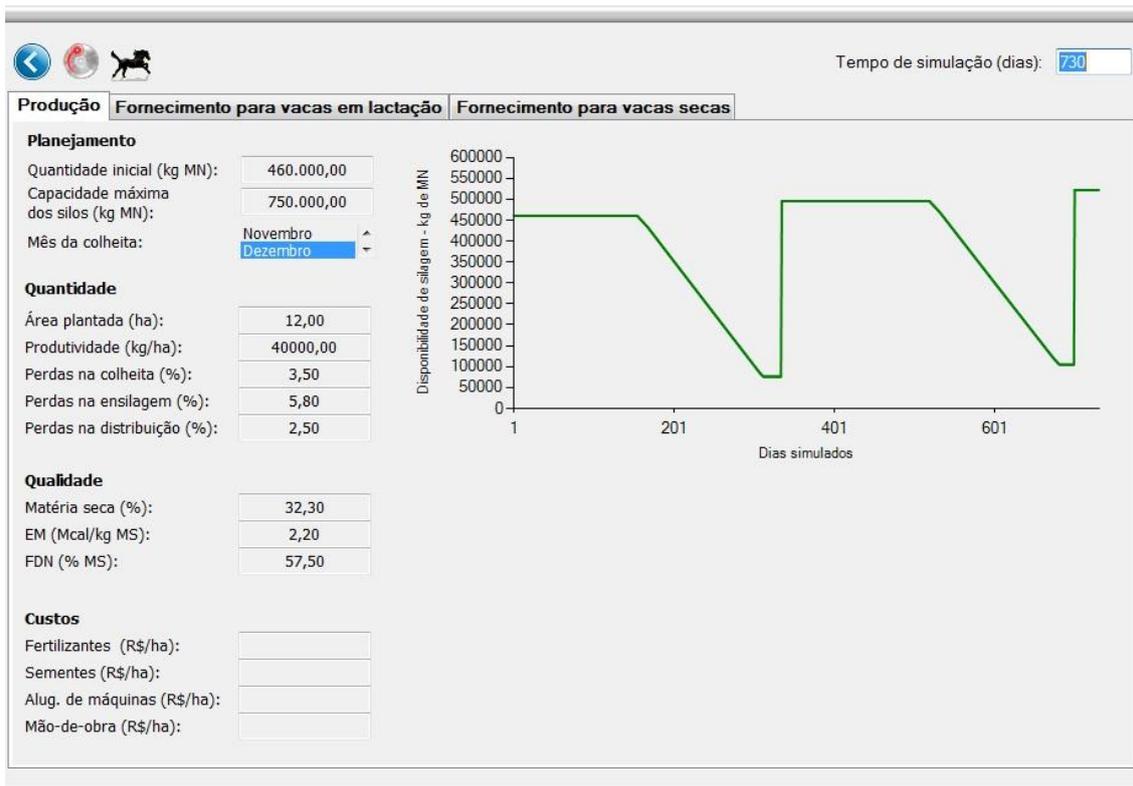


Figura 11 – Formulário de entrada de dados de produção, composição e custos da silagem.

### 3.2.3 – Submodelo *Economia*

#### 3.2.3.1 – *Análise dos custos de produção*

##### Centros de custeio

Para o detalhamento dos custos de produção da atividade leiteira foi adotado, segundo proposto por Yamaguchi (1996), a segmentação do sistema em setores produtivos, aqui chamados de centros de custeio, assumindo a proposta de evitar a duplicidade de entradas e realizar a distribuição proporcional dos custos de acordo com a área potencial utilizada por cada centro. A saber:

*Centro de produção de animais* – Centro de custeio onde se contabilizam os custos operacionais atribuídos aos eventos de cria e recria dos animais de reposição;

*Centro de produção de leite* – Centro de custeio onde se contabilizam os custos operacionais atribuídos às atividades diretamente relacionadas a produção de leite, como alimentação das vacas, custos com inseminação, sanidade e utensílios de higienização;

Centro de *lavoura* – Centro de custeio onde se contabilizam os custos operacionais atribuídos às atividades de estabelecimento e manutenção das pastagens e culturas agrícolas;

### Análise de custos

Os custos foram contabilizados de forma individualizada dentro dos centros de custo pelo método do custo operacional proposto por Hoffmann (1987) e Oliveira et al. (2007), com o fracionamento dos custos em *Custo Operacional Efetivo – COE*, *Custo Operacional Total – COT* e *Custo Total – CT*. Onde:

*COE* – Representa os desembolsos efetivos no período safra obtidos pelo somatório das despesas de custeio mais o dispêndio com mão de obra contratada;

*COT* – Representa o somatório do *COE* com a remuneração da mão de obra familiar (Figura 11), depreciação dos bens e *Despesas Administrativas (DA)* – Custos inerentes ao material de escritório, contabilidade e secretaria, incluindo a mão de obra empregada neste setor, dividido equitativamente entre os centros de custo;

*CT* – Representa a soma do *COT* com o custo de oportunidade (ou remuneração do capital imobilizado);

| Especificação   | Quantidade (dh / ano) | Distribuição por centro de custos (%) |      |      | Remuneração + encargos sociais (R\$ / dh) | Custo C1 | Custo C2 | Custo C3 |
|---|-----------------------|---------------------------------------|------|------|---|----------|----------|----------|
|   |                       | C1                                    | C2   | C3   |   |          |          |          |
| <Mão-de-obra Familiar 1>                                | 0                     | 0,00                                  | 0,00 | 0,00 | 0,00                                      | 0,00     | 0,00     |          |
| <Mão-de-obra Familiar 2>                                | 0                     | 0,00                                  | 0,00 | 0,00 | 0,00                                      | 0,00     | 0,00     |          |
| <Mão-de-obra Familiar 3>                                | 0                     | 0,00                                  | 0,00 | 0,00 | 0,00                                      | 0,00     | 0,00     |          |
| <Mão-de-obra Familiar 4>                                | 0                     | 0,00                                  | 0,00 | 0,00 | 0,00                                      | 0,00     | 0,00     |          |
| <Mão-de-obra Familiar 5>                                | 0                     | 0,00                                  | 0,00 | 0,00 | 0,00                                      | 0,00     | 0,00     |          |
| <b>Custo total com mão-de-obra familiar (R\$ / ano)</b> |                       | 0,00                                  |      |      |   |          |          |          |
| <b>Custo total com mão-de-obra familiar (R\$ / dia)</b> |                       | 0,00                                  |      |      |   |          |          |          |

Figura 12 – Formulário de entrada de dados de contabilidade da mão de obra familiar, temporariamente contratada e permanentemente contratada.

A depreciação foi calculada segundo uma estrutura de decisão para efetuação do cálculo incluindo ou não a contabilização da taxa de juros sobre o valor depreciado, com base no proposto por Yamaguchi (1996) e no modelo de depreciação linear de Hoffmann (1987) para máquinas, benfeitorias (Figura 13) e animais de serviço (Figura 14).

Onde:

Se  $Tx. Juros > 0$  então

$$Dep = (Vi - Vf) \cdot \left[ \frac{r}{(1 + r)^n} - 1 \right] \quad (31)$$

Senão

$$Dep = \frac{Vi - Vf}{n} \quad (32)$$

| Especificação | Quantidade | Valor atual (R\$) | Valor final (R\$) | Vida útil (anos) | Uso por centro de custos (%) |      |      |
|---------------|------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------------------|------|------|
|               |            |                   |                   |                  | C1                           | C2   | C3   |
| <Máquina 1>   | 0          | 1                 | 1                 | 1                | 0,00                         | 0,00 | 0,00 |
| <Máquina 2>   | 0          | 1                 | 1                 | 1                | 0,00                         | 0,00 | 0,00 |
| <Máquina 3>   | 0          | 1                 | 1                 | 1                | 0,00                         | 0,00 | 0,00 |
| <Máquina 4>   | 0          | 1                 | 1                 | 1                | 0,00                         | 0,00 | 0,00 |
| <Máquina 5>   | 0          | 1                 | 1                 | 1                | 0,00                         | 0,00 | 0,00 |
| <Máquina 6>   | 0          | 1                 | 1                 | 1                | 0,00                         | 0,00 | 0,00 |
| <Máquina 7>   | 0          | 1                 | 1                 | 1                | 0,00                         | 0,00 | 0,00 |
| <Máquina 8>   | 0          | 1                 | 1                 | 1                | 0,00                         | 0,00 | 0,00 |
| <Máquina 9>   | 0          | 1                 | 1                 | 1                | 0,00                         | 0,00 | 0,00 |
| <Máquina 10>  | 0          | 1                 | 1                 | 1                | 0,00                         | 0,00 | 0,00 |
| <Máquina 11>  | 0          | 1                 | 1                 | 1                | 0,00                         | 0,00 | 0,00 |
| <Máquina 12>  | 0          | 1                 | 1                 | 1                | 0,00                         | 0,00 | 0,00 |
| <Máquina 13>  | 0          | 1                 | 1                 | 1                | 0,00                         | 0,00 | 0,00 |
| <Máquina 14>  | 0          | 1                 | 1                 | 1                | 0,00                         | 0,00 | 0,00 |
| <Máquina 15>  | 0          | 1                 | 1                 | 1                | 0,00                         | 0,00 | 0,00 |
| <Máquina 16>  | 0          | 1                 | 1                 | 1                | 0,00                         | 0,00 | 0,00 |

Taxa de juros (% / ano): 0,00

Taxa de manutenção (% / ano): 0,00

Figura 13 – Formulário de entrada de dados de depreciação de equipamentos, máquinas e benfeitorias.

**Animais de Serviço**

Tempo de simulação (dias):

---

**Dados de Entrada**

| Especificação         | Quantidade (unidades) | Valor atual (R\$) | Valor Final (R\$) | Vida útil (anos) | Distribuição por centro de custos (%) |      |      | Despesas gerais + alimentação (R\$ / animal/ ano) |
|-----------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|------------------|---------------------------------------|------|------|---|
|                       |                       |                   |                   |                  | C1                                    | C2   | C3   |   |
| <Animal de Serviço 1> | 0                     | 1,00              | 1,00              | 1                | 0,00                                  | 0,00 | 0,00 | 0,00  |
| <Animal de Serviço 2> | 0                     | 1,00              | 1,00              | 1                | 0,00                                  | 0,00 | 0,00 | 0,00  |
| <Animal de Serviço 3> | 0                     | 1,00              | 1,00              | 1                | 0,00                                  | 0,00 | 0,00 | 0,00  |
| <Animal de Serviço 4> | 0                     | 1,00              | 1,00              | 1                | 0,00                                  | 0,00 | 0,00 | 0,00  |
| <Animal de Serviço 5> | 0                     | 1,00              | 1,00              | 1                | 0,00                                  | 0,00 | 0,00 | 0,00  |

Taxa de juros anual (%):

---

**Resultados**

| Especificação           | Depreciação dos animais de serviço (R\$ / ano) |             |             | Custos com despesas gerais + alimentação (R\$ / ano) |             |             |
|-------------------------|--|-------------|-------------|--|-------------|-------------|
|                         | Custo C1                                       | Custo C2    | Custo C3    | Custo C1   | Custo C2    | Custo C3    |
| <Animal de Serviço 1>   | 0,00   | 0,00        | 0,00        | 0,00   | 0,00        | 0,00        |
| <Animal de Serviço 2>   | 0,00   | 0,00        | 0,00        | 0,00   | 0,00        | 0,00        |
| <Animal de Serviço 3>   | 0,00   | 0,00        | 0,00        | 0,00   | 0,00        | 0,00        |
| <Animal de Serviço 4>   | 0,00   | 0,00        | 0,00        | 0,00   | 0,00        | 0,00        |
| <Animal de Serviço 5>   | 0,00   | 0,00        | 0,00        | 0,00   | 0,00        | 0,00        |
| <b>Total (R\$/ ano)</b> | <b>0,00</b>                                    | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> |

Depreciação total dos animais de serviço (R\$ / ano) 0,00      Custo total com animais de serviço (R\$ / ano) 0,00

Depreciação total dos animais de serviço (R\$ / dia) 0,00      Custo total com animais de serviço (R\$ / dia) 0,00

Figura 14 – Formulário de entrada de dados de despesas e depreciação de animais de serviço.

Desta forma o *Custo Operacional Efetivo da Atividade Leiteira – COE AtL* é obtida pelo somatório dos custos operacionais efetivos de cada centro de custeio onde os itens contabilizados são obtidos com base em seu valor de desembolso conferido no mês de análise, assim como o valor proporcional de participação para itens de participação plural, atuantes em dois ou mais centros de custeio a exemplo da mão de obra, animais de serviço e despesas administrativas.

$$COE\ AtL = COE\ Animais + COE\ Prod.leite + COE\ Lavoura \quad (33)$$

O *Custo Operacional Total da atividade (COT AtL)* foi obtido de forma semelhante ao *COE AtL*, através do somatório dos valores referentes ao *COT* de cada centro de custo.

Para efeito de composição do *Custo Total - CT* da atividade foi considerada a soma do *COT AtL* à taxa de remuneração do capital investido na atividade.

$$CT = COT\ AtL + 4\% \text{ do Capital Investido} \quad (34)$$

### 3.3 – Testes de sensibilidade e validação

Para aferir a capacidade do modelo em simular cenários produtivos compatíveis com a realidade, a fim de atestar sua sensibilidade, foram avaliadas condições de produção em sistemas hipotéticos de produção de leite à pasto, com estrutura produtiva similar, em rebanhos estabilizados através dos dados simulados numa perspectiva de 10 anos de simulação (3.650 dias).

Foram recriados pelo modelo dois ambientes de produção a partir do levantamento climatológico (INMET, 2013) dos municípios de Palmeira dos Índios, mesorregião do Agreste Alagoano, e, Lavras, mesorregião do Campo das Vertentes em Minas Gerais. Os dados climatológicos de temperatura média mensal e precipitação pluviométrica mensal foram utilizados como dados de entrada do modelo.

Com as características e potencial produtivo iguais, diferindo apenas as propriedades climatológicas, foram eleitas para efeito de comparação entre as respostas do modelo para os ambientes simulados as seguintes variáveis:

- Produção de leite – (L/ vaca/ dia);
- Ingestão de pasto – (Kg – MN/ vaca/ dia);
- Ingestão de silagem – (Kg – MN/ vaca/ dia);
- Ingestão de concentrado – (Kg – MN/ vaca/ dia);

\*MN: *Matéria natural. Consideração do peso da variável em sua composição de matéria seca e umidade.*

Os dados médios de entrada para as características de composição bromatológica e digestibilidade foram obtidos em Valadares Filho et al. (2010).

Os dados gerados na simulação foram tabulados para interpretação como médias diárias agrupadas em meses, durante os 10 anos simulados (3.650 dias), considerando, para tanto, os animais em estágio de lactação, contidos no 4º intervalo entre partos (4\_IP).

Para a validação e teste de acurácia do modelo proposto, foi criado um banco de dados a partir da busca de artigos nacionais publicados nos principais periódicos brasileiros. Utilizou-se os trabalhos que atenderam aos critérios pré definidos onde continham informações para local do experimento, temperatura máxima, temperatura mínima, precipitação pluviométrica, estação do ano, sistema de produção, MS da dieta,

PB da dieta, FDN da dieta, consumo de matéria seca, NDT da dieta, peso vivo médio dos animais, e produção média diária de leite. Para os trabalhos que omitiram maiores informações climatológicas as mesmas foram possíveis de ser obtidas a partir do local do experimento e estação do ano no banco de dados climatológico do Instituto Brasileiro de Meteorologia – INMET.

As estimativas de produção de leite geradas pelo modelo de simulação foram obtidas aproximando-se os parâmetros do modelo de simulação aos dados obtidos nos artigos selecionados, utilizando suas médias como dados de entrada do modelo de maneira a simular com a maior aproximação possível as condições encontradas nos trabalhos selecionados.

A validação dos dados gerados pelo modelo foi realizada utilizando-se o software de análise estatística R (CORE TEAM, 2013). Os valores estimados pelo sistema foram comparados aos valores observados nos trabalhos consultados através do modelo  $PL_{\text{observada}} = a + b \times PL_{\text{predita}} + \text{erro}$ . Para obtenção do modelo foi utilizada a função *lme* do pacote *nlme* (PINHEIRO & BATES, 2000) utilizando o estudo como fator de agrupamento e a estrutura de variância “*VarIdent*” do argumento “*weight*”, já que este permite análise de diferentes variâncias por estudo. Os parâmetros do modelo gerado foram avaliados para “*a=0*” e “*b=1*” utilizando o teste F ( $p < 0,05$ ) (TEDESCHI, 2006).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 – Resultados**

#### **4.1.1 – Teste de sensibilidade**

##### ***Variação climatológica***

Os valores de temperatura do ar e precipitação pluviométrica dos municípios de Palmeira dos Índios - AL e Lavras - MG, utilizados como dados de entrada no modelo de simulação, para a realização dos testes de sensibilidade, estão demonstrados nas Figuras 15 e 16, respectivamente. As temperaturas médias anuais nos municípios de Palmeira dos Índios e Lavras foram, respectivamente, de 24,7 e 20,5°C. Observa-se que a temperatura média mensal do ar no município de Lavras - MG foi menor que a do município de Palmeira dos Índios - 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.

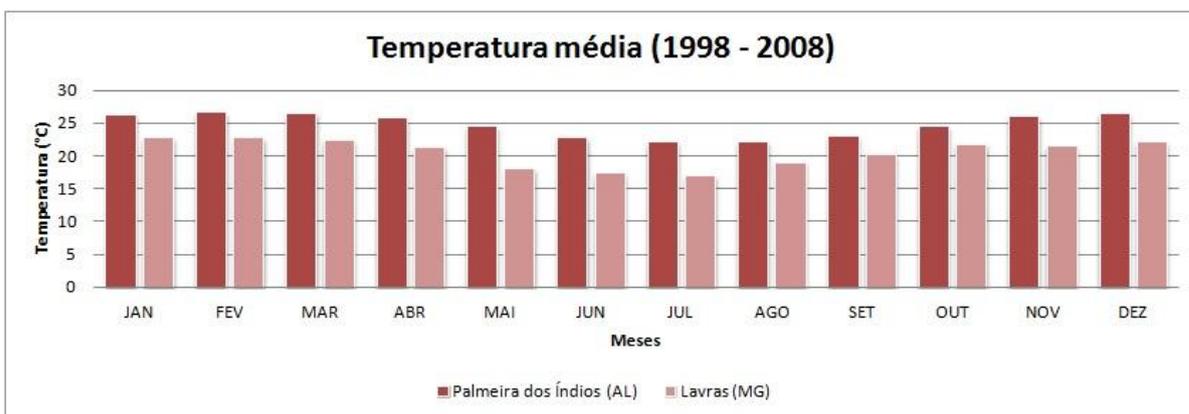


Figura 15 – Condição de temperatura média mensal do ar ao longo do ano, nos municípios de Palmeira dos Índios - AL e Lavras - MG.

As precipitações pluviométricas anuais nos municípios de Palmeira dos Índios e Lavras foram, respectivamente, de 884 e 1.415 mm. Observa-se que o período de maior precipitação pluviométrica no município de Palmeira dos Índios corresponde aos meses de inverno, enquanto o período de maior precipitação pluviométrica no município de Lavras corresponde aos meses de verão.

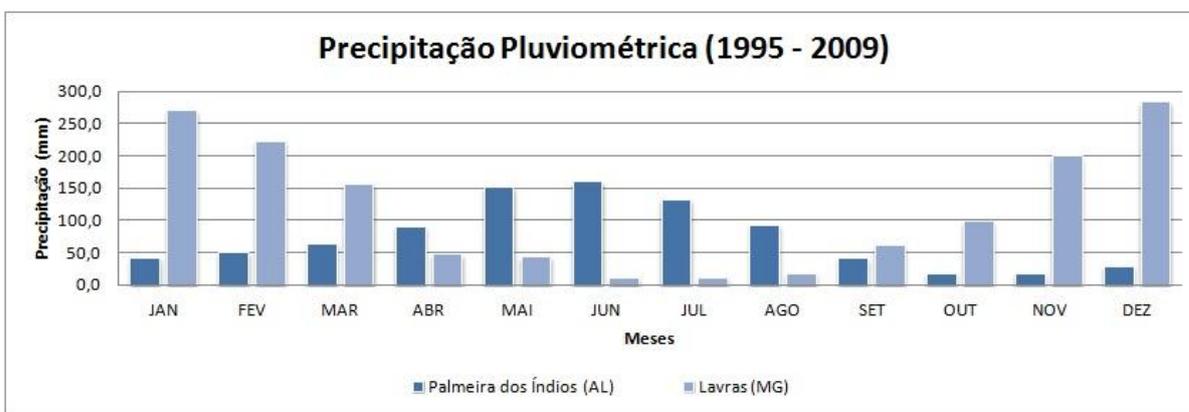


Figura 16 – Condição de precipitação pluviométrica ao longo do ano, nos municípios de Palmeira dos Índios - AL e Lavras - MG.

### ***Parâmetros de avaliação do modelo***

A tabela 2 apresenta os resultados da simulação dos cenários produtivos para Palmeira dos Índios – AL e Lavras – MG, segundo as referências climatológicas de temperatura média do ar e precipitação pluviométrica utilizados como dados entrada para a projeção do modelo.

Tabela 2 – Médias mensais dos dados de produção simulados - 3.650 dias

| MESES        | Palmeira dos Índios – AL       |                                |                                  |                                      | Lavras – MG                    |                                |                                  |                                      |
|--------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
|              | Produção de leite <sup>1</sup> | Ingestão de pasto <sup>2</sup> | Ingestão de silagem <sup>2</sup> | Ingestão de concentrado <sup>2</sup> | Produção de leite <sup>1</sup> | Ingestão de pasto <sup>2</sup> | Ingestão de silagem <sup>2</sup> | Ingestão de concentrado <sup>2</sup> |
| JAN          | 17,1                           | 0,0                            | 35,5                             | 5,7                                  | 12,6                           | 8,8                            | 0,7                              | 4,2                                  |
| FEV          | 17,1                           | 0,0                            | 35,5                             | 5,7                                  | 12,4                           | 9,0                            | 0,1                              | 4,1                                  |
| MAR          | 17,1                           | 0,0                            | 35,5                             | 5,7                                  | 12,1                           | 9,1                            | 0,0                              | 4,0                                  |
| ABR          | 16,0                           | 1,5                            | 29,4                             | 5,4                                  | 11,0                           | 8,8                            | 1,8                              | 3,7                                  |
| MAI          | 15,9                           | 1,6                            | 29,3                             | 5,3                                  | 16,2                           | 1,1                            | 31,5                             | 5,4                                  |
| JUN          | 13,1                           | 5,7                            | 12,9                             | 4,4                                  | 17,0                           | 0,0                            | 35,5                             | 5,7                                  |
| JUL          | 11,2                           | 8,8                            | 0,6                              | 3,7                                  | 17,0                           | 0,0                            | 35,5                             | 5,7                                  |
| AGO          | 12,2                           | 7,0                            | 8,0                              | 4,1                                  | 17,0                           | 0,0                            | 35,5                             | 5,7                                  |
| SET          | 16,4                           | 0,8                            | 32,2                             | 5,5                                  | 17,0                           | 0,0                            | 35,5                             | 5,7                                  |
| OUT          | 17,0                           | 0,0                            | 35,4                             | 5,7                                  | 17,0                           | 0,1                            | 35,2                             | 5,7                                  |
| NOV          | 17,1                           | 0,0                            | 35,4                             | 5,7                                  | 15,0                           | 3,4                            | 21,8                             | 5,0                                  |
| DEZ          | 17,1                           | 0,0                            | 35,4                             | 5,7                                  | 12,3                           | 8,8                            | 0,1                              | 4,1                                  |
| <b>MÉDIA</b> | <b>15,6</b>                    | <b>2,1</b>                     | <b>27,1</b>                      | <b>5,2</b>                           | <b>14,7</b>                    | <b>4,1</b>                     | <b>19,4</b>                      | <b>4,9</b>                           |

(1) L/ vaca/ dia; (2) Kg de MN/ vaca/ dia.

### Resposta da disponibilidade e crescimento de pasto

O clio hidrológico dos municípios de Palmeira dos Índios e Lavras, configuram fielmente os cenários típicos das regiões norte-nordeste e centro-sul, respectivamente, no tocante ao intervalo reconhecido como estação das águas, que, conjuntamente com a amplitude térmica condicionam a atividade fotossintética e a disponibilidade de forragem (Figura 17).

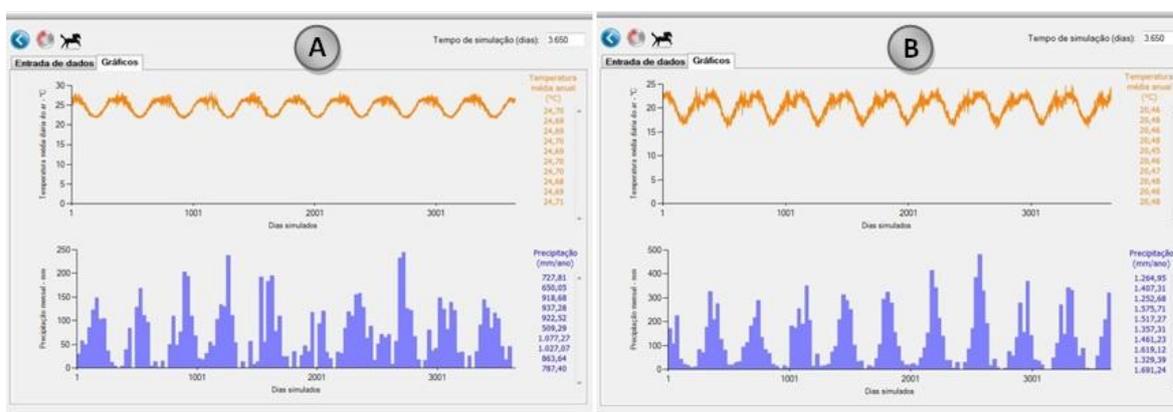


Figura 17 – Formulário com a representação gráfica dos dados de temperatura e precipitação pluviométrica ao longo do período simulado, para Palmeira dos Índios - AL (A) e Lavras – MG (B).

Embora o crescimento de forragem tenha apresentado comportamento cíclico ao longo do ano, nos dois ambientes avaliados, os meses de máximo e mínimo crescimento foram diferentes para os municípios de Palmeira dos Índios e Lavras (Figuras 18 e 19). Para ambos os municípios os meses de maior crescimento de forragem coincidiram com os de maior precipitação pluviométrica e vice-versa, o que demonstra coerência nos resultados produzidos pelo modelo de simulação. O crescimento diário médio de forragem por hectare, estimado pelo modelo de simulação, durante os 10 anos de simulação, foi maior para o município mineiro em relação ao município alagoano. Nos meses de maior precipitação pluviométrica, o crescimento de forragem estimado pelo modelo de simulação foi maior para o município de Lavras, entretanto, nos meses de menor precipitação pluviométrica o modelo estimou maior crescimento de forragem para o município de Palmeira dos Índios.

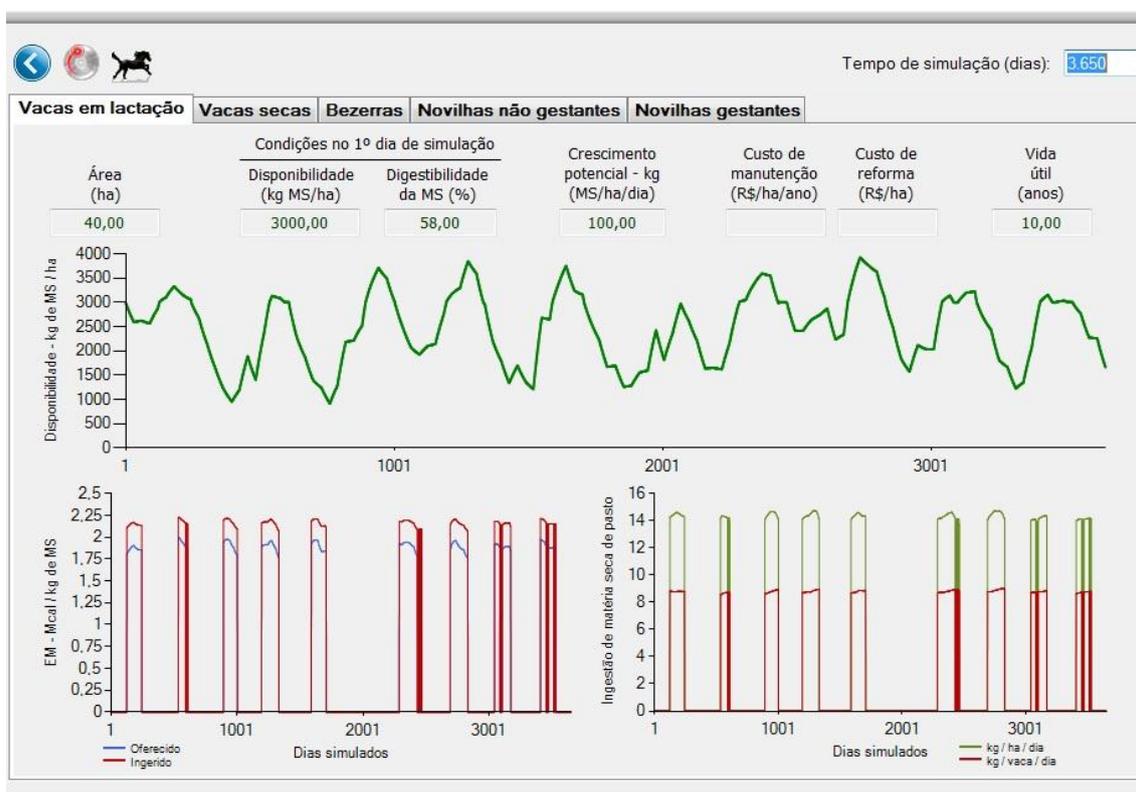


Figura 18 – Formulário com a representação gráfica dos dados de disponibilidade e ingestão de pasto ao longo do período simulado, para Palmeira dos Índios - AL.

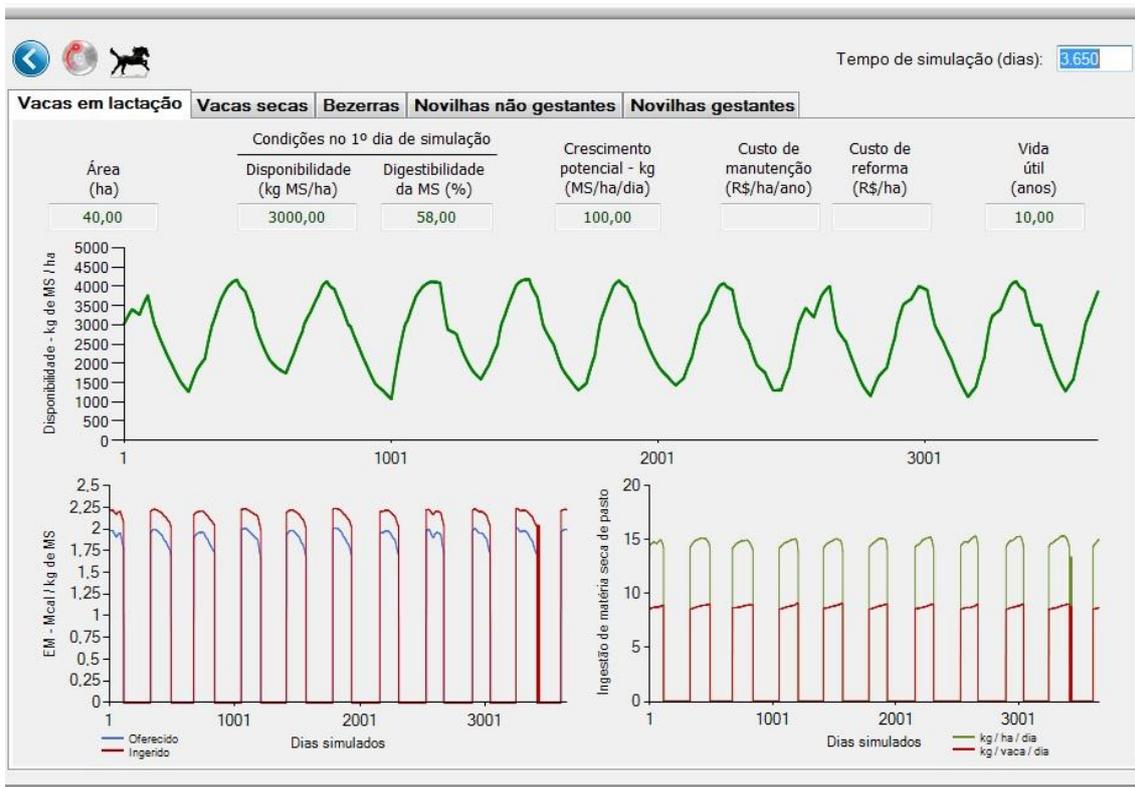


Figura 18 – Formulário com a representação gráfica dos dados de disponibilidade e ingestão de pasto ao longo do período simulado, para Lavras - MG.

Como resultado do crescimento de forragem a disponibilidade de forragem apresentou comportamento cíclico ao longo do ano, com maiores valores nos meses de maior precipitação pluviométrica e menores valores nos meses de precipitação mais baixa. Fica evidente a maior disponibilidade de forragem nos meses de maior precipitação pluviométrica, para o município de Lavras, em relação ao de Palmeira dos Índios, o que foi consequência do maior crescimento de forragem estimado para o município mineiro, durante os meses de maior precipitação. Já, nos meses de menor precipitação, a observação das curvas não evidencia diferenças numéricas para disponibilidade de forragem nas duas condições avaliadas. Isso se deveu ao maior crescimento de forragem estimado para o município de Palmeira dos Índios em relação ao de Lavras, nos meses de menor precipitação pluviométrica.

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

### **Resposta da ingestão de silagem**

O comportamento sazonal na disponibilidade de pasto, evidenciado em ambos os cenários simulados, em virtude das características e aspectos climatológicos foram, como esperado, relacionados à precipitação pluviométrica e às temperaturas médias apresentadas. A disponibilidade de pasto foi fator determinante na regulação da ingestão de silagem já que foi fixado como critério o fornecimento de silagem em condições de disponibilidade de pasto inferiores a 3.000 kg de MS/ ha (Figuras 19 e 20).

Para o município de Palmeira dos Índios – AL observou-se a suplementação de volumoso durante os meses de janeiro à março e entre setembro e dezembro, meses de menores índices de precipitação pluviométrica e, conseqüentemente, menor acúmulo e disponibilidade de pasto. O município de Lavras – MG concentrou o fornecimento de silagem entre os meses de maio e outubro, período coincidente com a estação seca no sudeste e de menor disponibilidade natural de pasto.

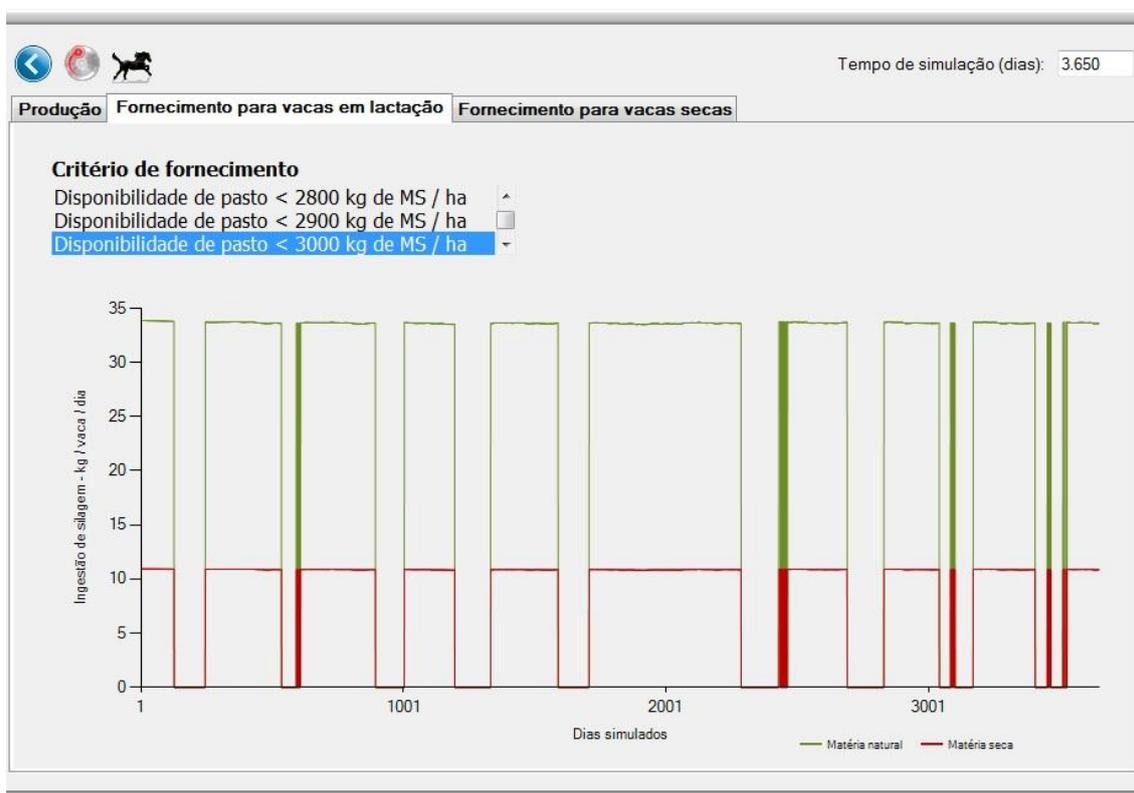


Figura 19 – Formulário com a representação gráfica dos dados de ingestão de silagem ao longo do período simulado, para Palmeira dos Índios - AL.

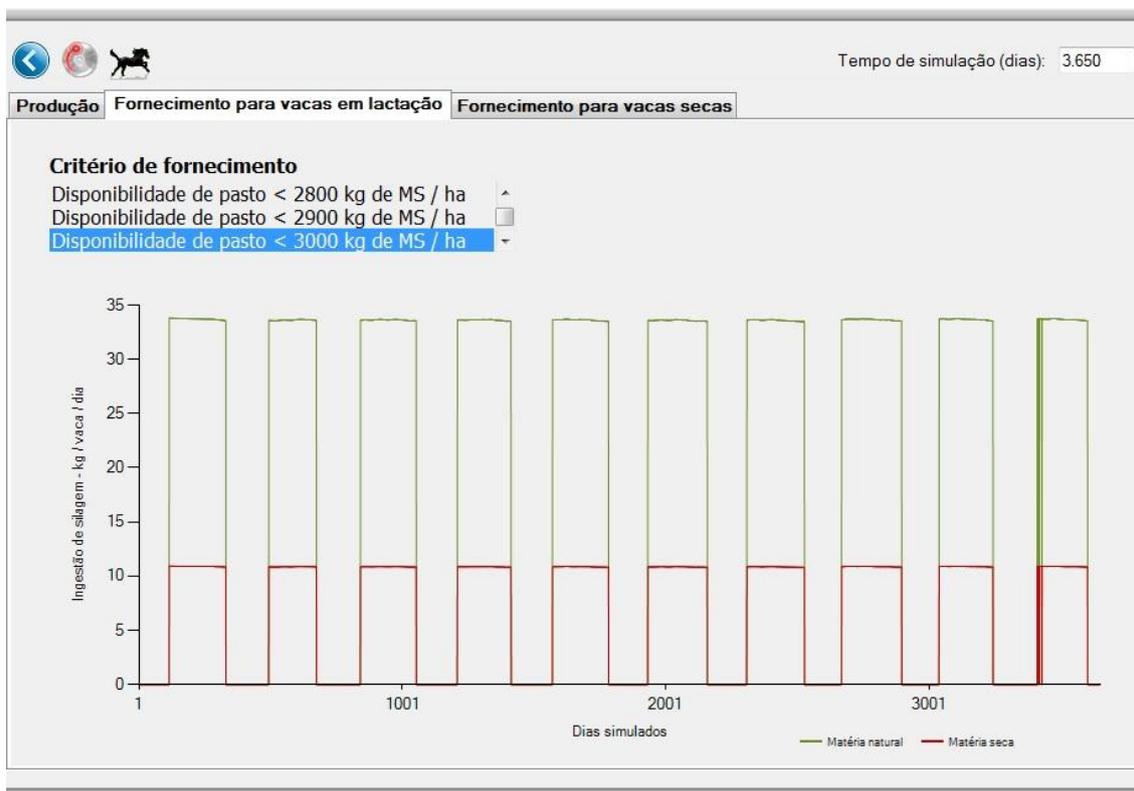


Figura 20 – Formulário com a representação gráfica dos dados de ingestão de silagem ao longo do período simulado, para Lavras - MG.

A média anual de consumo diário de silagem observada em Palmeira dos Índios foi de 27,1 kg de MN/ vaca com ingestão máxima de 35,5 Kg de MN/ vaca/ dia durante os meses de menor disponibilidade de pasto e necessidade de suplementação volumosa em torno de 29,0 Kg de MN/ vaca/ dia nos meses de abril e maio e 12,9 no mês de junho, segundo os dados apresentados durante os 10 anos simulados.

Lavras durante o mesmo período apresentou necessidade de fornecimento de silagem em média anual de 19,4 Kg de MN/ vaca dia.

### ***Resposta da ingestão de concentrado***

O critério estabelecido para o fornecimento de concentrado foi a relação leite/concentrado de 3/1, ou seja, para cada 3 litros de leite produzido acrescenta-se 1 Kg de concentrado.

O município alagoano apresentou leve tendência à maior consumo de concentrado (média anual de 5,2 Kg de MN/ vaca/ dia) em relação ao município mineiro (média anual de 4,9 Kg de MN/ vaca/ dia). A simulação apresentou suplementação máxima de

concentrado (5,7 Kg de MN/ dia) durante seis meses para Palmeira dos Índios e cinco meses para Lavras o que pode ser observado nos maiores intervalos de fornecimento de concentrado nos gráficos gerados para Palmeira dos Índios em relação à Lavras (Figuras 21 e 22).

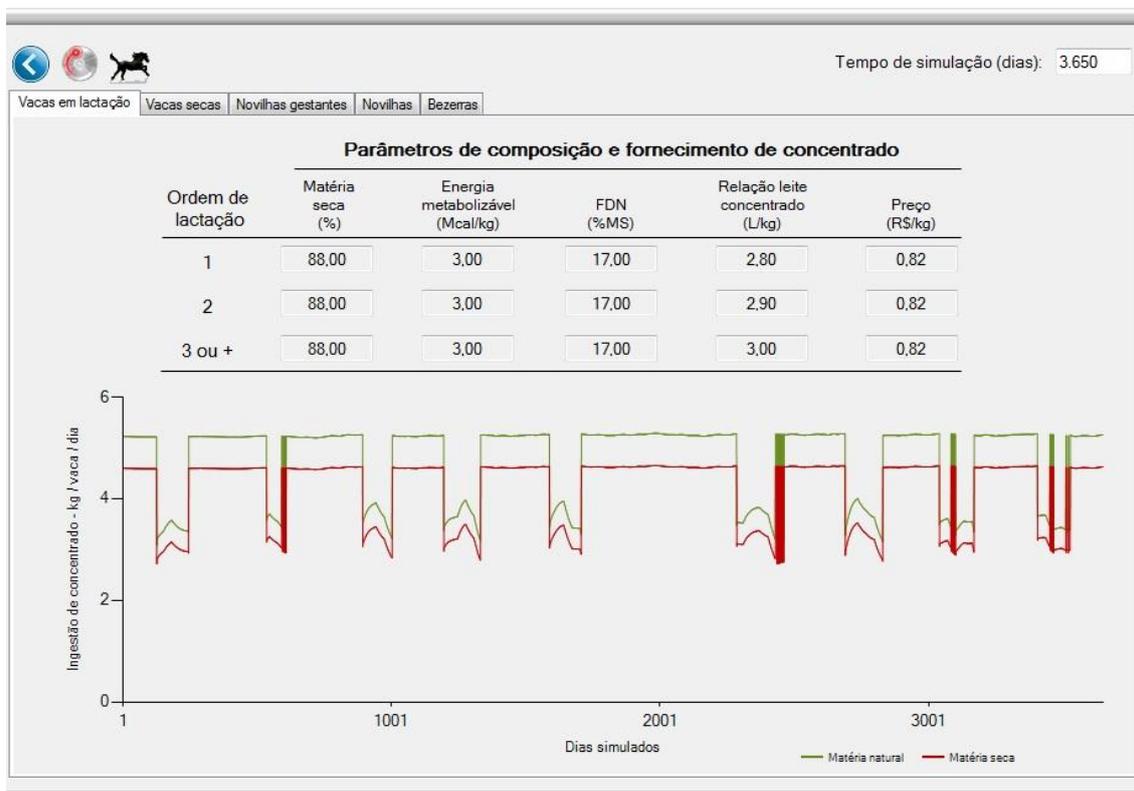


Figura 21 – Formulário com a representação gráfica dos dados de ingestão de concentrado ao longo do período simulado, para Palmeira dos Índios - AL.

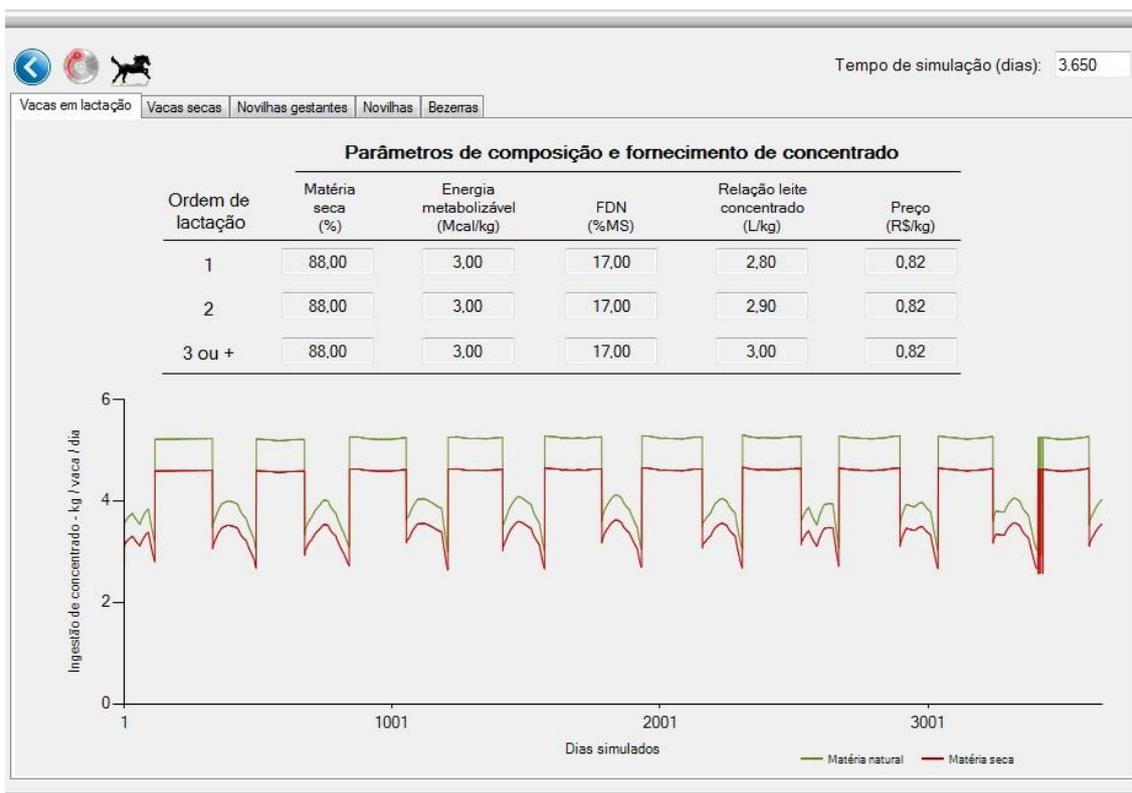


Figura 22 – Formulário com a representação gráfica dos dados de ingestão de concentrado ao longo do período simulado, para Lavras - MG.

### **Resposta da produção de leite**

Tomou-se para observação apenas os dados gerados para o grupo animal em produção no 4º intervalo entre partos para ambos os cenários simulados.

Os dados de produção diária referentes ao município alagoano apresentaram média anual de 15,6 litros/ vaca/ dia, média superior à apresentada pelo município mineiro, com 14,7 litros/ vaca dia durante o período de 3.065 dias simulados.

Palmeira dos Índios manteve suas médias mais elevadas (16,0 – 17,1 L/ vaca/ dia) durante oito meses, compreendidas entre janeiro e abril e de setembro a dezembro, no caso de Lavras foram seis meses com produções entre 16,2 e 17,0 L/ vaca/ dia durante os meses de maio e outubro. Os demais meses apresentaram produção semelhante para os dois cenários (11,0 – 15,9 L/ vaca/ dia).

As figuras 23 e 24 apresentam o comportamento da produção de leite ao longo do período simulado por ordem de lactação e produção total do rebanho para Palmeira dos Índios – AL e Lavras – MG, respectivamente.

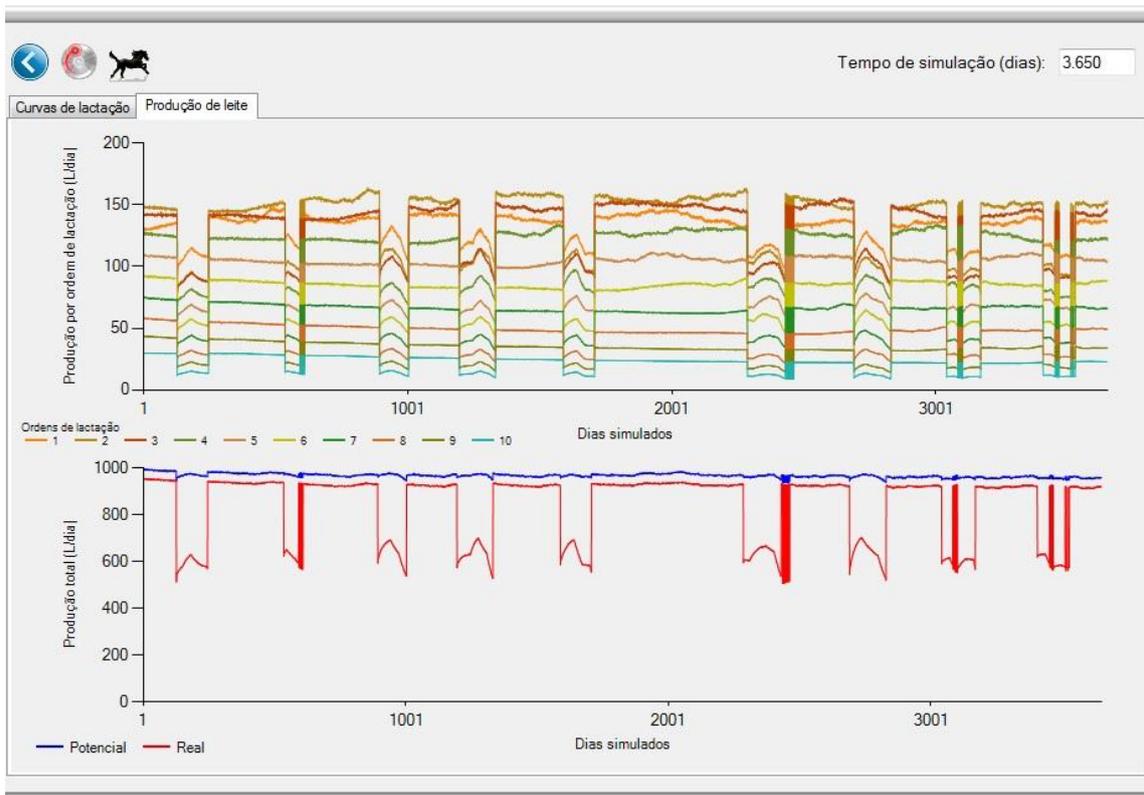


Figura 23 – Formulário com a representação gráfica dos dados de produção de leite ao longo do período simulado, para Palmeira dos Índios - AL.

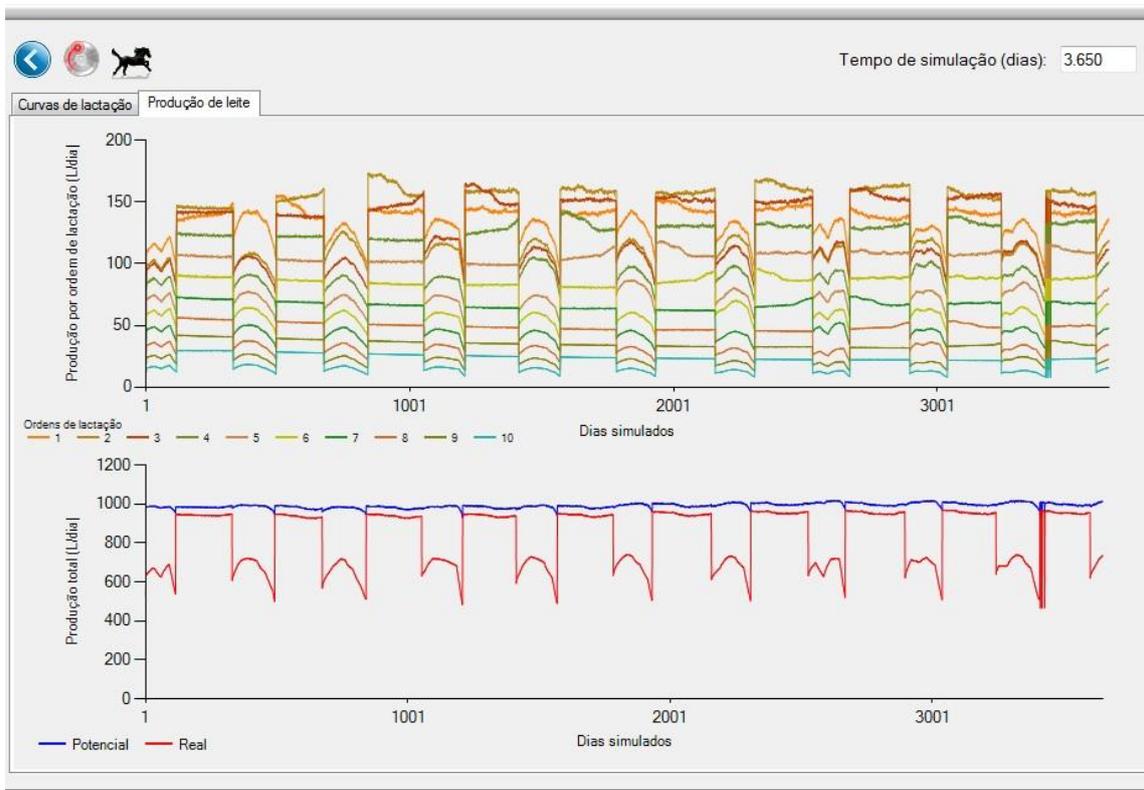


Figura 22 – Formulário com a representação gráfica dos dados de produção de leite ao longo do período simulado, para Lavras - MG.

#### 4.1.2 – Teste de validação

O banco de dados elaborado para a validação do modelo de simulação foi composto por 10 trabalhos nacionais publicados em periódicos (Tabela 3), a respeito de avaliações de sistemas de produção de leite. Os trabalhos foram selecionados com vistas a atender os critérios estabelecidos, fornecendo as informações mínimas para reprodução dos cenários estudados. Entretanto, a pesquisa bibliográfica evidenciou em alguns casos a omissão de informações relevantes para a reprodução dos cenários estudados o que reduziu a amplitude de estudos a serem selecionados, e em alguns casos, havendo a necessidade de se estimar alguns parâmetros para a simulação.

Tabela 3 – Apresentação dos estudos e cenários selecionados para composição do banco de dados para validação.

| <b>Autores</b>                | <b>Local</b>                | <b>(n)</b> | <b>Genótipo</b>       | <b>Sist. Prod.</b>                         |
|-------------------------------|-----------------------------|------------|-----------------------|--|
| <i>Deresz (2001a)</i>         | <i>Juiz de Fora (MG)</i>    | <i>12</i>  | <i>Mestiças (HxZ)</i> | <i>Pasto/ Pasto + Suplementação</i>        |
| <i>Deresz (2001b)</i>         | <i>Juiz de Fora (MG)</i>    | <i>18</i>  | <i>Mestiças (HxZ)</i> | <i>Pasto</i>                               |
| <i>Fonseca et al. (1998)</i>  | <i>Leopoldina (MG)</i>      | <i>8</i>   | <i>1/2 a 3/4 HxZ</i>  | <i>Pasto + Suplementação</i>               |
| <i>Vilela et al. (1996)</i>   | <i>Coronel Pacheco (MG)</i> | <i>16</i>  | <i>Holandesa</i>      | <i>Confinamento/ Pasto + Suplementação</i> |
| <i>Moreira et al. (2001)</i>  | <i>Viçosa (MG)</i>          | <i>10</i>  | <i>Mestiças (HxZ)</i> | <i>Confinamento</i>                        |
| <i>Voltolini et al (2010)</i> | <i>Piracicaba (SP)</i>      | <i>16</i>  | <i>Holandesa</i>      | <i>Suplementação</i>                       |
| <i>Soares et al. (2004)</i>   | <i>Viçosa (MG)</i>          | <i>16</i>  | <i>Holandesa</i>      | <i>Confinamento</i>                        |
| <i>Deresz et al. (2006)</i>   | <i>Valença (RJ)</i>         | <i>24</i>  | <i>Mestiças (HxZ)</i> | <i>Pasto/ Pasto + Suplementação</i>        |
| <i>Aguiar et al. (2013)</i>   | <i>Serranópolis (MG)</i>    | <i>8</i>   | <i>7/8 HxZ</i>        | <i>Confinamento</i>                        |
| <i>Oliveira et al. (2001)</i> | <i>Viçosa (MG)</i>          | <i>16</i>  | <i>Holandesa</i>      | <i>Confinamento</i>                        |

Os valores máximos, mínimos e as médias das variáveis pré-definidas, obtidas dos artigos selecionados encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 – Apresentação das variáveis, valores máximos, mínimos e médios do banco de dados da validação.

| Variável                        | Máximo | Mínimo | Média |
|---------------------------------|--------|--------|-------|
| Temperatura Máxima (°C)         | 27,4   | 21,8   | 24,6  |
| Temperatura Mínima (°C)         | 18,4   | 12,3   | 15,4  |
| Precipitação (mm)               | 167,0  | 81,0   | 124,0 |
| MS - dieta (%)                  | 76,8   | 11,8   | 44,3  |
| PB - dieta (%)                  | 22,5   | 11,4   | 17,0  |
| FDN - dieta (%)                 | 73,2   | 33,0   | 53,1  |
| CMS - dieta (Kg/vaca/dia)       | 23,1   | 11,9   | 17,5  |
| NDT - dieta (%)                 | 73,3   | 60,4   | 66,9  |
| Peso vivo (Kg)                  | 650,0  | 450,0  | 550,0 |
| Produção de leite (Kg/vaca/dia) | 29,5   | 8,1    | 18,8  |

A regressão do modelo foi obtida segundo a equação da produção de leite observada ( $PL_{obs}$ ) em função da produção de leite predita ( $PL_{pred}$ ), como apresentado:

$$PL_{obs} = -0,1185 (\pm 0,717) + 1,1538 (0,00) \times PL_{pred} ; \quad R^2 = 0,76$$

O teste de validação dos parâmetros do modelo não apresentou diferença significativa (“Pr > F” = 0,868) indicando que o modelo de simulação gera valores representativos e acurados (Figura 23), sendo o mesmo capaz de prever produção de leite dentro das condições avaliadas.

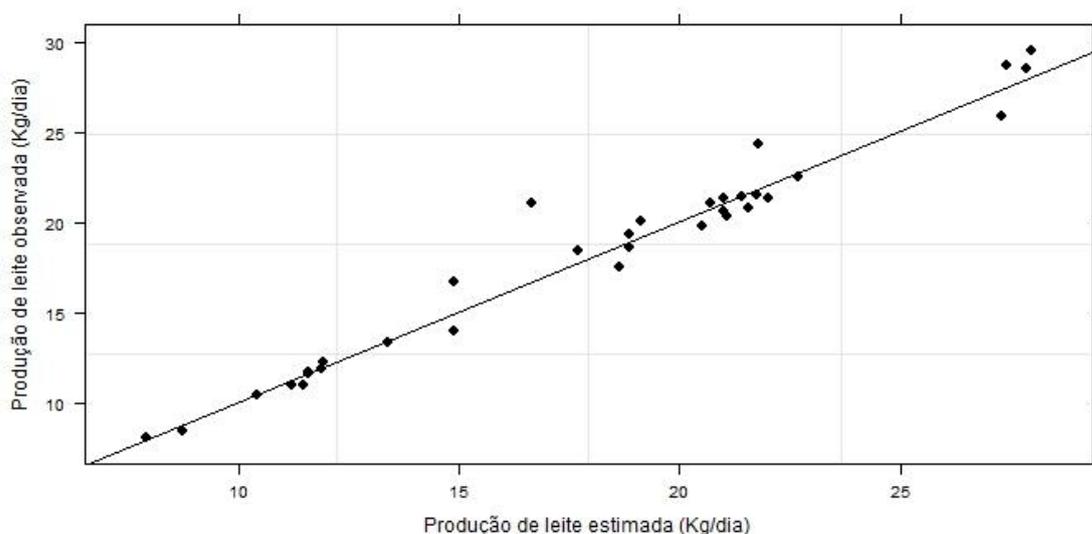


Figura 23 – Regressão dos valores de produção de leite observados em função dos valores preditos.

## **4.2 – Discussão**

### **4.2.1 – Teste de sensibilidade**

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 Lavras - MG.

O maior crescimento de forragem estimado pelo modelo de simulação, durante os meses de maior precipitação pluviométrica, no município de Lavras em relação ao de Palmeira dos Índios, está relacionado com a maior precipitação pluviométrica no município da região Sudeste. Por outro lado, o menor crescimento de forragem observado nos meses de menor precipitação pluviométrica, para o município de Lavras em relação ao de Palmeira dos Índios, pode ser explicado devido às baixas temperaturas médias do ar no município mineiro.

Como o modelo foi programado para ajustar o fornecimento de silagem conforme a disponibilidade de pasto, que manteve flutuação conforme as condições favoráveis ao seu crescimento, para cada cenário avaliado, a ingestão de silagem acompanhou essa flutuação inversamente, ou seja, tendendo a aumentar o fornecimento nos meses de menor disponibilidade de pasto (Figuras 24 e 25). Este comportamento foi observado em ambos os municípios simulados (Palmeira dos Índios – AL e Lavras – MG) com tendência a períodos mais longos de fornecimento de silagem durante o ano para o município alagoano, sobretudo nos meses de menor precipitação pluviométrica, o que condiciona maior dependência de suplementação forrageira em sistemas produtivos com as características avaliadas na região do agreste alagoano em comparação ao campo das vertentes em Minas Gerais.

Os resultados gerados pela simulação dos cenários analisados mostraram-se pertinentes às condições dos sistemas de produção propostos, no entanto, parâmetros que possam introduzir no modelo a estimação dos efeitos das características físico-químicas do solo como capacidade de campo e fertilidade, respectivamente, contribuiriam para garantir maior flexibilidade e acurácia à simulação do

comportamento vegetal. Outro aspecto de importância no aprimoramento do modelo, no tocante à simulação do componente pastagem, é a possibilidade de se atribuir o efeito de pastoreio rotacionado, amplamente difundido entre os sistemas de produção de leite à pasto e que, sabidamente, alteram a dinâmica de crescimento e acúmulo de forragem se comparado ao pastoreio contínuo, interferindo na dinâmica produtiva do sistema como um todo, haja vista que seus componentes isolados correlacionam-se de forma dinâmica dentro do sistema.

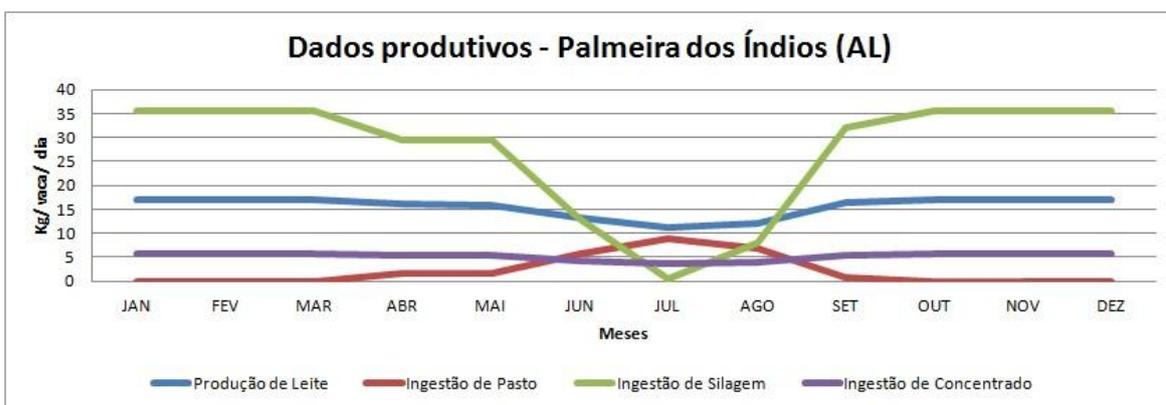


Figura 24 – Dados produtivos compilados em médias mensais durante o período simulado, para Palmeira dos Índios - AL.

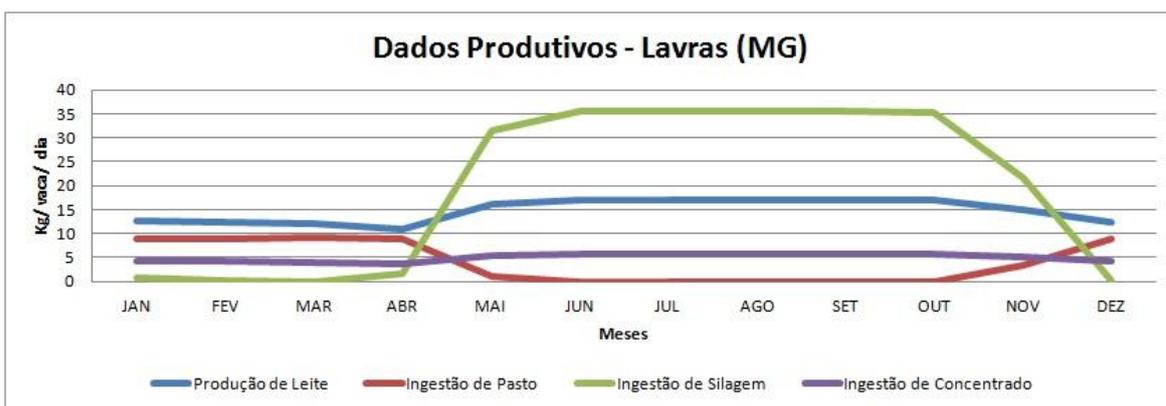


Figura 25 – Dados produtivos compilados em médias mensais durante o período simulado, para Lavras - MG.

As figuras 24 e 25 apresentam o comportamento médio da produção de leite para Palmeira dos Índios e Lavras, respectivamente, onde observa-se incremento nas médias

de produção de leite durante os períodos de maior ingestão de silagem o que pode ser explicado pela maior ingestão de energia oriunda do volumoso de melhor qualidade.

A comparação dos cenários simulados apontam maiores médias na produção anual de leite para o município alagoano, isto posto, deve-se refletir que o modelo de simulação não contempla em seu algoritmo mecanismos de inferência climática sobre o desempenho animal. A ausência de parâmetros climatológicos de ajuste do desempenho produtivo nas simulações realizadas pode ter favorecido Palmeira dos Índios já que suas temperaturas médias diárias encontram-se acima da zona de termoneutralidade para bovinos leiteiros, sobretudo, àqueles da raça holandesa, como proposto na simulação. Sendo que Lavras, do ponto de vista climatológico, apresenta condições mais favoráveis à produção leiteira.

Destarte, a ausência desse parâmetro pode ter comprometido uma aproximação mais realista para as médias de produção de leite, havendo a necessidade de incluir no modelo de simulação meios de compensar esse efeito para aprimorar seus resultados.

A ingestão de concentrado apresentou incremento durante os meses de maior produção de leite, o que era esperado, devido o critério de fornecimento de concentrado fixado conforme a produção diária de leite.

Embora as observações dos valores de produção de leite geradas pelo modelo apontem o cenário de maior produção é necessário considerar, para efeito de uma avaliação mais ampla, os custos inerentes a cada cenário simulado a fim de identificar o sistema mais eficiente por meio de análise econômica.

Em trabalho realizado por Silva et al. (2008) em que avalia a sustentabilidade de um sistema produtivo de leite com suplementação à pasto, verificou-se que embora os animais com maior nível de suplementação tenham proporcionado maior receita à atividade os custos inerentes ao concentrado comprometeram grande parte desta receita, onde o menor nível de suplementação apresentou os melhores resultados para margem bruta e margem líquida, sendo possível inferir, que no caso em questão a menor suplementação garantiu o pagamento dos desembolsos e a manutenção dos recursos sendo um parâmetro interessante para o produtor avaliar sua estratégia de suplementação conforme o preço de pagamento pelo leite. Estes resultados corroboram os resultados obtidos por Hoffmann et al. (1993), Vilela et al. (1996) e Fontaneli

(2004), citados por Matos (2002), em que afirmam que, apesar de a receita proveniente do leite produzido à base de pastagem ser menor do que no sistema em confinamento, a margem bruta tem sido superior.

Estes apontamentos salientam a reflexão sobre o controle dos custos da atividade e o monitoramento dos índices produtivos com a finalidade de se mensurar a eficiência dos sistemas produtivos de maneira sistêmica. Essa ponderação reafirma a necessidade de desenvolvimento de ferramentas que auxiliem no estudo e análise de sistemas produtivos para a aferição mais criteriosa de sua eficiência e para a correção dos pontos de estrangulamento.

#### **4.2.2 – Teste de validação**

O modelo de simulação em termos gerais mostrou-se eficaz em gerar dados preditos que se aproximassem aos dados observados para as condições de produção apresentadas nos estudos avaliados, embora em alguns casos tenha havido a necessidade de estimar parâmetros não identificados na pesquisa de literatura para a composição do banco de dados. Isto, por um lado demonstra a robustez do *software* de simulação desenvolvido, e por outro, evidencia uma menor flexibilidade em simular sistemas de produção mais simplificados, os quais não dispõem de grande banco de informações.

Destarte, ao se observar a dispersão dos erros apresentados na Figura 23 é possível constatar menor precisão dos valores preditos para médias de produção diária de leite superiores a 14,0 Kg/ vaca. Os estudos desenvolvidos em sistemas de produção mais intensivos, em regime de confinamento e com animais puros de raça holandesa apresentaram os maiores patamares produtivos com médias em torno de 20 e até superiores a 25,0 kg/ vaca/ dia e encontram-se plotados, na mesma figura, na região do gráfico em que os erros distanciam-se mais da reta.

Em análise pontual da associação dos valores preditos e observados em cada estudo é possível inferir que o modelo de simulação proposto possui, proporcionalmente, menor acurácia para estimar médias de produção de leite em sistemas mais intensivos quando comparado aos sistemas de produção à pasto cujo os valores de produção diária se dispuseram em torno de 11,0 kg - leite/ vaca, apresentando menor erro estimado.

É possível que este comportamento seja devido a associação do modelo de consumo aos parâmetros de seleção, digestibilidade e disponibilidade do pasto que

ficam comprometidos ao tentar simular sistemas confinados pela ausência deste aspecto em particular, e mesmo, pelo fato de o programa tender a ajustar o fornecimento de silagem com base na disponibilidade de pasto ao longo do ano.

Contudo o programa possibilita o estudo de cenários de produção e pode constituir-se em ferramenta importante de apoio à decisão em sistemas de produção de leite, sobretudo em sistemas de exploração à pasto, devendo-se ainda, realizar-se maiores ajustes para aproximações mais precisas em condições de exploração em confinamento.

## **5. CONCLUSÃO**

A análise de sensibilidade do modelo de simulação demonstrou apresentar comportamento compatível com as condições climáticas estabelecidas, porém, necessita de parâmetros que considerem a interferência do clima sobre o desempenho animal. As variações climatológicas nos cenários simulados produziram respostas de ingestão de pasto, ingestão de silagem, ingestão de concentrado e produção de leite em médias anuais compatíveis com as condições de sistemas reais. O teste de validação empregado constatou acurácia de 76% para as condições analisadas, creditando ao programa de gerenciamento proposto, aplicabilidade como ferramenta de apoio à decisão.

## 6. REFERÊNCIAS

ACKOFF, R. L. **Redesign the future**. Wiley, 1979.

Agriculture and Food Research Council (AFRC). **Energy and protein requirements of ruminants**. University Press: Cambridge, 159p. 1993.

AGUIAR, A.C.R; OLIVEIRA, C.R; CALDEIRA, L.A; ROCHA JR, V.R; SOARES, C; SILVA, D.A; MENEZES, J.C; BORGES, L.D.A. Consumo, produção e composição do leite e do queijo de vacas alimentadas com níveis crescentes de ureia. **R. bras. Ci. Vet.**, v. 20, n. 1, p. 37-42, jan./abr. 2013.

ANUALPEC. **Anuário da pecuária brasileira**. FNP Consultoria/Agros Comunicação, São Paulo, SP. 412p. 2010.

BARBOSA, F.A e SOUZA, R.F. **Administração financeira de sistema de produção da bovinocultura de leite**. Cap. 12, in: SILVA, J.C.P.M; OLIVEIRA, A.S; VELOSO, C.M. MANEJO E ADMINITRAÇÃO DA BOVINOCULTURA LEITEIRA. Viçosa – MG. 482p. 2009.

BONATTI, F.K.Q. **Desenvolvimento de modelo dinâmico de simulação para sistemas de recria e terminação de bovinos em pasto**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 2009. 76p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia): Universidade Federal de Viçosa. 2009.

BOX, G. E. P; MULLER, M.E. A Note on the Generation of Random Normal Deviates, **The Annals of Mathematical Statistics**, Vol. 29, No. 2, 610–611. 1958.

BRITO, E; AGUILAR, R; CAÑAS, R; VERA,R. Modelo de simulación para evaluar la sostenibilidad de lãs pasturas de la altillanura colombiana I. Desarrollo y validación del modelo. **Arch Latinoam. Prod. Anim.** 6(1):1-38. 1998.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA – CEPEA. **PIB agropecuário – Análise de 2001**. CEPEA-ESALQ/USP. Disponível em: <[http://www.cepea.esalq.usp.br/comunicacao/Cepea\\_PIB\\_BR\\_dez\\_2011.pdf](http://www.cepea.esalq.usp.br/comunicacao/Cepea_PIB_BR_dez_2011.pdf)> acessado em Outubro de 2012.

CUNHA, D.N.F.V; PEREIRA, J.C; CAMPOS, O.F; BRAGA, J.L; SILVA, F.F; MARTUSCELLO, J.A. Evaluation of a dynamic simulation model for Milk production systems. **R. Bras. Zootec.**, v.39, n.4, p.903-912, 2010.

DERESZ, F. Influência do período de descanso da pastagem de capim-elefante na produção de leite de vacas mestiças holandês x zebu. **Rev. bras. zootec.**, 30(2):461-469, 2001b.

DERESZ, F. Produção de leite de vacas mestiças holandês x zebu em pastagem de capim-elefante, manejada em sistema rotativo com e sem suplementação durante a época das chuvas. **Rev. bras. zootec.**, 30(1):197-204, 2001a.

DERESZ, F; PAIM-COSTA, M. L; CÓSER, A.C; MARTINS, C.E; ABREU, J.B.R. Composição química, digestibilidade e disponibilidade de capim-elefante cv. Napier manejado sob pastejo rotativo. **R. Bras. Zootec.**, v.35, n.3, p.863-869, 2006.

DIJKSTRA, J., FRANCE, J., DHANOA. M.S. et al. A model describe growth patterns of the mammary gland during pregnancy and lactation. **Journal of Dairy Science**, v.80, p.2340-2354. 1997.

FONSECA, D.M; SALGADO, L.T; QUEIROZ, D.S; CÓSER, C; MARTINS, C.E; BONJOUR, S.C.M. Produção de leite em pastagem de capim-elefante sob diferentes períodos de ocupação dos piquetes. **R. Bras. Zootec.**, v.27, n.5, p.848-856, 1998.

FONTANELI, R.S. et al. Produção de leite em pastagens tropicais em Passo Fundo (RS). In: GRASSLAND ECOPHYSIOLOGY AND GRAZING ECOLOGY, 2., 2004, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2004. CD ROM.

FORRESTER, J. W. **Industrial dynamics**. New York: John Wiley & Sons, 1961.

FOX, D.G., TILUTKI, T.P., TEDESCHI, L.O. **The net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrition and nutrient excretion – CNCPS 5.0**. The Cornell University. 202 p. 2003.

GODINHO, R.F e CARVALHO, R.C. Gestão de sistemas de produção de leite. **Ciência et Praxis** v. 2, n. 3, 2009.

- GUIMARÃES, V.P. **Modelagem de uma unidade de produção para caprinos leiteiros utilizando a dinâmica de sistemas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 2007. 200p. Tese (Doutorado em Zootecnia): Universidade Federal de Viçosa. 2007.
- HARRIS, D. L., NEWMAN, S. Breeding for profit: Synergism between genetic improvement and livestock production (a review). **Journal of Animal Science**, vol 72, p. 2178-2200, 1994.
- HOFFMANN, R; SERRANO, O; NEVES, E.M. et al. **Administração da empresa agrícola**. 5.ed. São Paulo: Pioneira, 325p. 1987.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP**. MAPA/INMET. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep> > acessado em julho de 2013.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo agropecuário 2006, Brasil, grandes regiões e unidades da federação. **Censo agropec.**, Rio de Janeiro, p.1-777, 2006.
- LOPES, M.A; LIMA, A.L.R; CARVALHO, F.M; REIS, R.P; SANTOS, I.C; SARAICA, F.H. Controle gerencial e estudo da rentabilidade de sistemas de produção de leite na região de lavras (MG). **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 28, n. 4, p. 883-892, jul./ago., 2004.
- LOPEZ, S., FRANCE, J. GERRITS, W.J.J. et al. A generalized Michaelis Menten equation for the analysis of growth. **Journal Animal Science**, v. 78, p. 1816-1828. 2004.
- MADALENA, F. E. La utilización sostenible de hembras F1 em La producción Del ganado lechero tropical. In: ORGANIZAÇÃO DE LAS NACIONES UNIDAS ESTUDIO FAO PRODUCCION Y SANIDAD ANIMAL, 1993, Roma. **Anais...** Roma, 1993, p. 01.
- MAFF. Energy allowances and feeding systems for ruminants. **UK Min. Agric. Fish. Food, Tech. Bull.** N°433. (HMSO:London). 1984.
- MATOS, L.M. Estratégias para redução do custo de produção de leite e garantia de sustentabilidade da atividade leiteira. In: SUL-LEITE – SIMPÓSIO SOBRE A

SUSTENTABILIDADE DA PECUÁRIA LEITEIRA NA REGIÃO SUL DO BRASIL, 2002, Maringá,PR. **Anais...** Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2002. p.156-183.

MIGUÉIS, J.P. Un modelo de representación de la actividad agropecuaria en los Andes. Manual del usuario. **ORSTOM. IBTA.** La Paz, Bolivia. 66 p. 1995.

MOREIRA, A.L; PEREIRA, O.G; GARCIA, R; VALADARES FILHO, S.C; CAMPOS, J.M.S; SOUZA, V.G; ZERVOUDAKIS, J.T. Produção de leite, consumo e digestibilidade aparente dos nutrientes, ph e concentração de amônia ruminal em vacas lactantes recebendo rações contendo silagem de milho e feno de alfafa e de capim-coastcross. **Rev. bras. zootec.**, 30(3):1089-1098, 2001 (Suplemento 1).

NAAZIE, A.; MAKARECHIAN, M.; HUDSON, R. J. Evaluation of life-cycle herd efficiency in cow-calf systems of beef production. **Journal of Animal Science**, vol 77, p. 01-11, 1999.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle.** Washington, D.C.: National Academy of Sciences. 363 p., 2001.

NEWMAN, S.; LYNCH, T.; PLUMMER, A. A. Success and failure of decision support systems: Learning as we go. In: AMERICAN SOCIETY OF ANIMAL SCIENCE, 1999. **Anais...** ASAS, 1999, p.01.

OLIVEIRA, A.S; CUNHA, D.N.F.V; CAMPOS, J.M.S; VALE, S.M.R; ASSIS, A.J. Identificação e quantificação de indicadores-referência de sistemas de produção de leite. **R. Bras. Zootec.**, v.36, n.2, p.507-516, 2007.

OLIVEIRA, A.S; VALADARES, R.F.D; VALADARES FILHO, S.C; CECON, P.R; OLIVEIRA, G.A; SILVA, R.M.N; COSTA, M.A.L. Consumo, digestibilidade aparente, produção e composição do leite em vacas alimentadas com quatro níveis de compostos nitrogenados não-protéicos. **Rev. bras. zootec.**, 30(4):1358-1366, 2001.

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.

PINHEIRO, J.C.; BATES, D.M. **Mixed-Effects Models in S and S-PLUS.** New York: Springer-Verlag, 528p., 2000.

R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, 2013. <http://www.R-project.org>.

RENNÓ, F. P.; PREREIRA, J. C.; ARAÚJO, C. V. raças e cruzamentos para a produção de leite e de carne. In: SIMBRAS – SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO ANIMAL, 2, 2000, Brasilândia de Minas. **Anais...** Brasilândia de Minas: UFV-CODEVASF, 2000, P.75.

ROTZ, C.A., MERTENS, D.R., BUCKMASTER, D.R. et al. A dairy herd model for use in whole farm simulations. **Journal of Dairy Science**, v.82, p.2826- 2840, 1999.

SCHIAVON, R, S; GONÇALVES, A, O; SILVA, H. A; BIANCHI, I. **Análise econômica de diferentes sistemas de produção Leiteira**. XIX CIC - XII ENPOS, II Mostra Científica 2010.

SEGALA, C.Z.S e SILVA, I.T.Apuração dos custos na produção de leite em uma propriedade rural do município de Irani-SC. **Custos e @gronegocio on line** - v. 3, n. 1 - Jan/Jun - 2007.

SENGE, P. **Schools that learn**. Doubleday, 2000.

SILVA, H. A; MORAES, H, S, K, A; GUIMARÃES, V, Di ADDARIO; HACK, E; CARVALHO, C. F; Análise da viabilidade econômica da produção de leite a pasto e com suplementos na região dos Campos Gerais – Paraná **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.2, p.445-450, mar-abr, 2008.

SIMÕES, A.R.P; SILVA, R.M; OLIVEIRA, M.V.M; CRISTALDO, R.O; BRITO, M.C. Avaliação econômica de três diferentes sistemas de produção de leite na região do Alto Pantanal Sul-mato-grossense. **Agrarian**, v.2, n.5, p.153-167, jul./set. 2009.

SIQUEIRA, K. B., O mercado lácteo brasileiro no contexto mundial. In: STOCK, L. A. et al. (Editores técnicos), **Competitividade do agronegócio do leite brasileiro**. Brasília – DF: Embrapa informação Tecnológica. 2011. Pág. 14 – 33.

SOARES, C.A; CAMPOS, J.M.S; VALADARES FILHO, S.C; VALADARES, R.F,D; MENDONÇA, S.S; QUEIROZ, A.C; LANA, R.P. Consumo, digestibilidade aparente, produção e composição do leite de vacas leiteiras alimentadas com farelo de trigo. **R. Bras. Zootec.**, v.33, n.6, p.2161-2169, 2004 (Supl. 2).

SOUZA JR, S.C; MORAIS, D.A.E.F; FARIA, R.A; OLIVEIRA, S.M.P; SANTOS, D.O; OLIVEIRA NETO, P.C. Análise econômica da produção anual de leite bovino em uma fazenda comercial no município de baraúna, RN. **Acta Veterinaria Brasilica**, v.2, n.4, p.131-139, 2008.

TEDESCHI, L. O. Assessment of the adequacy of mathematical models. **Agricultural Systems**, v.89, n.2-3, p.225-247, 2006.

VALADARES FILHO, S.C; PAULINO, P.V.R; MAGALHÃES, K.A. **Exigências nutricionais de zebuínos e tabelas de composição de alimentos – BR-Corte**. 1.ed. Viçosa: UFV. 142p. 2006.

VILELA, D. et al. Produção de leite de vacas holandesas em confinamento ou em pastagem de coast-cross. **Revista Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.25, n.6, p.1228-1246, 1996.

VOLTOLINI, T.V; SANTOS, F.A.P; MARTINEZ, J.C; IMAIZUMI, H; CLARINDO, L; PENATI, M.A. Produção e composição do leite de vacas mantidas em pastagens de capim-elefante submetidas a duas frequências de pastejo. **R. Bras. Zootec.**, v.39, n.1, p.121-127, 2010.

YAMAGUCHI, L.C.T. Visão atual da administração rural. **Jornal do Leite**, Juiz de Fora, v.3, n.11, p.2, 1996.