

FRANSCINE KELLI QUINHONES BONATTI

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE LEITE QUANTO À
UTILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO E FÓSFORO**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

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

T

B699a
2014

Bonatti, Francine Kelli Quinhones, 1982-
Avaliação de sistemas de produção de leite quanto à
utilização de nitrogênio e fósforo. / Francine Kelli Quinhones
Bonatti. – Viçosa, MG, 2014.
xiv, 95f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: José Carlos Pereira.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Leite - Produção. 2. Bovino de leite. 3. Nutrição animal.
4. Modelos matemáticos. 5. Excreção de nitrogênio.
6. Excreção de fósforo. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Zootecnia. Programa de Pós-graduação em
Zootecnia. II. Título.

CDD 22 ed. 637.1

FRANSCINE KELLI QUINHONES BONATTI

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE LEITE QUANTO À
UTILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO E FÓSFORO**

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

Aprovada: 07 de março de 2014.



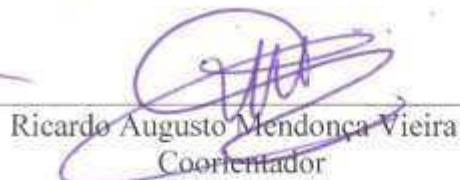
José Luis Braga



Marcelo Teixeira Rodrigues



Daniel de Noronha Figueiredo
Vieira da Cunha



Ricardo Augusto Mendonça Vieira
Coordenador



José Carlos Pereira
Orientador

Dedico...

*Ao meu Filho Eduardo...
Você foi a Força necessária para o fim deste trabalho.*

*Viver é acalentar sonhos e esperanças, fazendo da fé a nossa inspiração maior.
É buscar nas pequenas coisas, um grande motivo para ser feliz!*

Mário Quintana

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas maravilhas da vida, e por sempre se fazer presente na minha vida, e na vida de minha Família.

A Santa Rita de Cássia e Nossa Senhora Aparecida, por segurar inúmeras vezes em minhas mãos e acalmar o meu coração e o meu espírito.

Ao meu filho Eduardo, luz da minha Vida, alegria dos meus dias, um Anjo, que quando eu estava em dias de cansaço e tristeza, mostrou que estava aqui para mudar a minha Vida para melhor. Por me ensinar que é nos pequenos gestos que encontramos a felicidade. Por me ensinar a ser forte, e lutar, por mais difícil que seja o caminho. Por me ensinar que a Vida é mais fácil do que parece. Por ser simplesmente VOCÊ, MEU FILHO. Deus não poderia ter me dado presente maior!

Ao meu querido Esposo Gustavo, que sempre esteve ao meu lado, sendo amigo, companheiro e conselheiro, paciente e compreensivo nas horas em que eu mais precisei. Por tornar meus dias imensamente Feliz. Agradeço todos os dias por estar com você, trilhando caminhos, planejando o futuro e vencendo obstáculos.

Aos meus Pais, Cleci e Zilmar, pelo carinho, apoio, incentivo, compreensão e acima de tudo pelo respeito às minhas decisões. Com eles tenho certeza que enfrento qualquer batalha, pois me ensinaram o essencial da vida, que é o respeito e o amor ao próximo, pessoas que são o meu espelho, o meu alicerce, o meu porto seguro.

Ao meu Irmão Felipe, por usar as palavras certas nas horas certas, e mesmo longe, sempre torcer e acreditar nas minhas escolhas.

Aos meus tios, Sérgio e Claudete, pelo carinho, preocupação, conselhos e opiniões, que me foram de grande valia tanto para a vida profissional como pessoal. Por confiarem em mim, por me presentear com o Gu, e por ele ser o Amor da Dinda.

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

Ao professor José Carlos Pereira, pelas palavras e conselhos que levarei para vida toda, e que delas usarei o essencial para me tornar uma pessoa cada vez melhor. A ele agradeço também a amizade, pois nestes anos de convívio não tive somente um orientador, mas um Grande Amigo, que soube me entender e me escutar nas horas em que mais precisei. Me estendeu a mão oferecendo-me ajuda, e deixando claro, que sempre estaria ao meu lado, e que jamais perderia a confiança em mim e no meu trabalho. Obrigada, por não me deixar desistir.

Ao professor Ricardo A. M. Vieiras, pela orientação, ensinamentos e atenção em todas as horas. Pelo excelente profissionalismo e dedicação que demonstra na conduta dos ensinamentos à Zootecnia.

Ao professor Daniel de N. F. V da Cunha, pelo conhecimento, ajuda e amizade .

Ao professor José Luis Braga, pelos ensinamento, respeito e atenção.

Ao professor Marcelo T. Rodrigues pela disponibilidade e sugestões.

A minha querida amiga-irmã Claudilene, pela amizade, alegrias, compreensão, companheirismo, ajuda e conselhos ao longo desses anos.

Aos amigos Cássio, Wender e Marilú, pela amizade, torcida e momentos de distração e alegrias.

Aos amigos que estão longe, mas sempre estiveram na torcida.

Aos estagiários Gustavo, Danielle e Camylla, pela ajuda, amizade e compreensão do mau-humor em algumas horas.

A todos os funcionários e professores do Departamento de Zootecnia que me acompanharam e me ajudaram nesta longa caminhada. Em especial a Celeste, Fernanda e Monteiro.

A Universidade Federal de Viçosa, pela grandiosidade e oportunidades.

Ao Departamento de Zootecnia e Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, por me receber e me proporcionar o crescimento profissional, e tornar mais um sonho em realidade.

A Fapemig pelo auxílio financeiro e por reconhecer o mérito científico desse estudo promovendo a sua viabilização.

Ao Programa de Desenvolvimento da Pecuária Leiteira da Região de Viçosa (PDPL), EDUCAMPO, seus técnicos e estagiários pela ajuda, orientação na escolha das propriedade e acesso aos dados. Pela seriedade e conduta profissional de todos.

Aos proprietários e gerentes das propriedades estudadas. Pela recepção, colaboração e empenho em todas as etapas. A colaboração de vocês foi essencial para o desenvolvimento desse estudo.

Ao motorista Sr. Jorge, pela ajuda e zelo em todas as viagens.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte desses anos, tornando possível a realização desse trabalho e de mais um Sonho que se tornou realidade em minha Vida.

Muito obrigada!

BIOGRAFIA

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

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

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

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

Em Março de 2009, foi aprovada no processo seletivo de Pós-Graduação, Doutorado em Zootecnia na Universidade Federal de Viçosa, concentrando seus estudos na área de Nutrição e Produção de Ruminantes, defendendo tese em 7 de março de 2014.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
1.INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1 Excreção de nitrogênio pelos ruminante.....	5
2.2 Excreção de fósforo pelos ruminante.....	7
2.3 Problemas ambientais causados pelo nitrogênio e fósforo.....	8
2.4 Uso da modelagem matemática na eficiência de utilização e excreção de nitrogênio e fósforo em ruminantes.....	10
3. BIBLIOGRAFIA.....	13
CAPÍTULO 1 - AVALIAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS DE EXCREÇÃO DE NITROGÊNIO E FÓSFORO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE LEITE.....	18
1 INTRODUÇÃO.....	20
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
2.1 Modelos.....	25
2.2 Avaliação dos modelos e procedimentos estatísticos.....	29
3.RESULTADOS.....	31
3.1 Descrição dos dados coletados nos sistema de produção.....	31
3.2 Excreção de nitrogênio na urina, nas fezes e no leite.....	37
3.3 Excreção de fósforo na urina, nas fezes e no leite.....	46
4 DISCUSSÃO.....	54
5 CONCLUSÃO.....	61
6 BIBLIOGRAFIA.....	62
CAPÍTULO 2 – EXCREÇÃO E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO NITROGÊNIO E FÓSFORO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE LEITE.....	68
1 INTRODUÇÃO.....	70
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	72
3 RESULTADOS.....	79

3.1 Apresentação do programa.....	79
3.2 Balanço de nutrientes nos sistemas de produção.....	84
4 DISCUSSÃO.....	88
5 CONCLUSÃO.....	92
6 BIBLIOGRAFIA.....	93

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1- Ajuste dos modelos de excreção de nitrogênio no leite e nas fezes em função do consumo de nitrogênio.....	43
Figura 2- Ajuste do modelo de excreção de nitrogênio na urina em função do consumo de nitrogênio.....	44
Figura 3- Análise gráfica dos resíduos dos modelos de excreção de nitrogênio nas fezes (ENF) no leite (ENL) e na urina.....	45
Figura 4- Ajuste dos modelos de excreção de fósforo no leite e nas fezes em função do consumo de fósforo.....	52
Figura 5- Ajuste dos modelos de excreção de fósforo na urina em função do consumo de fósforo.....	53
Figura 6- Análise gráfica dos resíduos dos modelos de excreção de fósforo no leite, nas fezes e na urina.....	54
Figura 7- Interações entre os componentes do sistema.....	72
Figura 8- Tela inicial do programa.....	80
Figura 9- Tela de entradas dos nutrientes no sistema.....	81
Figura 10- Tela de saídas dos nutrientes no sistema.....	81
Figura 11- Tela de excreção de nutrientes dos animais do sistema.....	83
Figura 12- Tela de balanço dos nutrientes.....	84
Figura 13- Tela de eficiência de utilização dos nutrientes.....	84

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1- Modelos avaliados.....	28
Tabela 2- Composição do rebanho, área e índices de produtividade dos sistemas de produção.....	32
Tabela 3- Teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB) e fósforo (P) dos alimentos utilizados.....	33
Tabela 4- Ingredientes das rações concentradas.....	34
Tabela 5- Relação volumoso:concentrado (Vol:Con) e teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB) e fósforo (P) das rações concentradas.....	34
Tabela 6- Valores médios de consumo de matéria seca (CMS) e teores de proteína bruta (PB) e fósforo (P) das dietas.....	35
Tabela 7- Valores médios de consumo de matéria seca (CMS), exigências nutricionais de proteína bruta (PB) e fósforo (P), segundo o NRC (2001), e a diferença (\neq) entre o balanceamento das rações e as exigências nutricionais nos sistemas de produção.....	35
Tabela 8- Produção de dejetos (PD) estimada nos sistemas de produção.....	36
Tabela 9- Valores médios de consumo, excreção e eficiência de utilização de nitrogênio nos sistemas de produção.....	38
Tabela 10- Quantidade de nitrogênio (N) consumido, proveniente do volumoso e do concentrado.....	39
Tabela 11- Quantidades de concentrado, proteína bruta (PB) e nitrogênio (N) consumidos por litro (L) de leite produzido.....	39
Tabela 12- AICc e suas medidas derivadas calculados para os modelos de excreção de nitrogênio no leite.....	40
Tabela 13- AICc e suas medidas derivadas calculados para os modelos de excreção de nitrogênio nas fezes.....	41
Tabela 14- AICc e suas medidas derivadas calculados para os modelos de excreção de nitrogênio na urina.....	41
Tabela 15- Estimativas dos parâmetros e intervalos de confiança de 95% para os modelos ajustados para excreção de nitrogênio.....	42
Tabela 16 Modelos selecionados para excreção de nitrogênio.....	42
Tabela 17- Valores médios de consumo, excreção e eficiência de utilização de fósforo nos sistemas de produção.....	47
Tabela 18- Quantidade de fósforo (P) consumido, provenientes do volumoso e do concentrado.....	48
Tabela 19- Quantidades de concentrado e fósforo (P) consumidos por litro (L) de leite produzido.....	48
Tabela 20- AICc e suas medidas derivadas calculados para os modelos de excreção de fósforo no leite.....	49
Tabela 21- AICc e suas medidas derivadas calculados para os modelos de excreção de fósforo nas fezes.....	49
Tabela 22- AICc e suas medidas derivadas calculados para os modelos de excreção de fósforo na urina.....	50
Tabela 23- Estimativas dos parâmetros e intervalos de confiança de 95% para os modelos ajustados para a excreção de fósforo.....	50
Tabela 24 Modelos selecionados para excreção de fósforo.....	51
Tabela 25- Dados dos sistemas de produção.....	78

Tabela 26-	Entradas, saídas e balanço do nitrogênio nos sistemas de produção.....	85
Tabela 27-	Entradas, saídas e balanço do fósforo nos sistemas de produção.....	86
Tabela 28-	Eficiências de utilização (EU) e perdas dos nutrientes.....	87

RESUMO

BONATTI, Francine Kelli Quinhones, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2014. **Avaliação de sistemas de produção de leite quanto à utilização de nitrogênio e fósforo**. Orientador: José Carlos Pereira. Coorientador: Ricardo Augusto Mendonça Vieira.

Objetivou-se avaliar modelos matemáticos, para a excreção de nitrogênio e fósforo por vacas leiteiras utilizando dados coletados em sistemas de produção de leite no Estado de Minas Gerais. Foram coletados dados em seis sistemas de produção de leite inseridos nas mesorregiões da Zona da Mata e Campo das Vertentes, e realizadas seis visitas técnicas com intervalo de 30 dias, compreendendo ao período de julho a dezembro de 2009. Os dados coletados foram número de vacas em lactação, produção de leite, quantidade e composição da dieta. Em cada lote de produção foi mensurado o peso vivo dos animais e coletado amostras de fezes, urina, leite e alimentos. Nessas amostras foram analisados os teores de nitrogênio e fósforo, e a partir desses valores quantificados o consumo de nitrogênio (CN) e fósforo (CP), as excreções de nitrogênio e fósforo nas fezes (EN_F ; EP_F) no leite (EN_L ; EP_L) e na urina (EN_U ; EP_U). Os modelos adotados nas comparações foram selecionados após a análise exploratória dos dados, através de gráficos de dispersão e testes de correlação, e avaliação do comportamento entre as variáveis respostas e variáveis predictoras, levando em consideração o realismo biológico do modelo. A variável explicativa adotada para a modelagem da excreção de nitrogênio foi o consumo de nitrogênio (CN), e para a modelagem da excreção de fósforo foi o consumo de fósforo (CP). Os modelos foram avaliados segundo o critério de Informação de Akaike corrigido (AICc) e suas medidas derivadas como a verossimilhança da probabilidade (W_i), e a relação entre a probabilidade relativa ou evidência da verossimilhança (ER_i). Para os ajustes dos modelos foram utilizados os pacotes *stats*, *minpack.lm* e *AICcmodavg* que estão disponíveis no software R (R Development Core Team, 2013). Para a excreção nitrogênio no leite (EN_L) foi selecionado o modelo assintótico Morgan-Mercer-Flodin, para a excreção de nitrogênio nas fezes (EN_F) o modelo Exponencial-Associação2p e para a excreção de nitrogênio na urina (EN_U) o modelo linear com intercepto. Para a excreção fósforo no leite (EP_L) foi selecionado o modelo assintótico de Weibull, para a excreção de fósforo nas fezes (EP_F) o modelo Exponencial2p e para a excreção de fósforo na urina (EP_U) o modelo

assintótico Logístico^{3p}. A partir desses modelos foi desenvolvido um programa para quantificar a excreção e eficiência de utilização do nitrogênio e fósforo em sistemas de produção de leite, através do balanço de massa de nutrientes. O programa foi desenvolvido em planilhas eletrônicas (Microsoft *Excel*), e é constituído pelas entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) de dados. Os *inputs* foram classificados como os dados que o usuário necessita fornecer ao programa, para que os *outputs*, que são os dados gerados pelo programa, possam ser calculados. Os *inputs* necessários foram: área do sistema de produção, número médio de animais por categoria animal, consumos médios de matéria seca, nitrogênio e fósforo, quantidades de alimentos utilizados na alimentação animal, quantidades de nitrogênio e fósforo utilizados na fertilização de culturas e pastagens, produção média de leite dos animais, porcentagem de proteína e fósforo no leite, número de animais comprados e vendidos. Os *outputs* gerados foram: excreção total de dejetos, excreção de nitrogênio e fósforo nas fezes e urina de vacas em lactação, excreção de nitrogênio nos dejetos de vacas secas e novilhas, balanço de nutrientes, eficiência de utilização do nitrogênio e fósforo de vacas em lactação e do sistema de produção. Após a construção do programa, foram realizados dois ensaios para a avaliação do balanço de nutrientes e eficiência de utilização do nitrogênio e fósforo. O conjunto de dados utilizados foi proveniente de dois sistemas de produção de leite. As maiores entradas de nitrogênio (N) foram na forma de alimentos, e de fósforo (P) na forma de fertilizantes. As maiores saídas de nutrientes foram na forma de perdas, representando 83,8 e 72,7% de perdas de N, e 28,4% e 37,5% de perdas de P. O balanço de nutrientes em kg/área foi de 67,8% e 73,5% para o N e 40,8% e 31,9% para o P. A eficiência de utilização do N dos sistemas foi de 32,3 % e 36,1%, e a eficiência de utilização do fósforo foi de 13,3% e 20,1%. Com os dados coletados nos sistemas de produção de leite foi possível avaliar e selecionar modelos matemáticos para predição da excreção de nitrogênio por vacas leiteiras. Os dados utilizados para excreção de nitrogênio na urina, não indicaram relação entre o consumo de nitrogênio e sua excreção na urina, o que pressupõe a necessidade de nova coleta de dados para estabelecer uma melhor relação entre essas suas variáveis. Os modelos matemáticos selecionados para excreção de nitrogênio no leite e nas fezes, e a excreção de fósforo no leite, nas fezes e na urina, podem ser utilizados para o estudo da eficiência de utilização e excreção de nitrogênio e fósforo em sistemas de produção de leite no Brasil. O programa desenvolvido foi capaz de quantificar a excreção, a eficiência de utilização e o balanço de N e P em sistemas de produção de leite.

ABSTRACT

BONATTI, Francine Kelli Quinhones, D.Sc., University of Viçosa, march 2014.
Evaluation of milk production on the use of nitrogen and phosphorus systems.
Advisor: José Carlos Pereira. Co-advisor: Ricardo Augusto Mendonça Vieira.

Aimed to evaluate mathematical models for excretion of nitrogen and phosphorus by dairy cows using data collected in milk production systems in the State of Minas Gerais. Data were collected in six systems of milk production in the regions of the inserted Zona da Mata and Campos das Vertentes, and performed six technical visits with an interval of 30 days, comprising the period from July to December 2009. The data collected were the number of dairy cows, milk production, quantity and composition of the diet. In each batch measured the body weight of the animals and collected samples of feces, urine, milk and food. In these samples the levels of nitrogen and phosphorus were analyzed and quantified from these values the consumption of nitrogen (CN) and phosphorus (CP), the excretion of nitrogen and phosphorus in feces (EN_F , EP_F) in milk (EN_L , EP_L) and urine (EN_U ; EP_U). The models used in the comparison were selected after exploratory data analysis using scatter plots and correlation tests, and evaluation of the behavior between the response variables and predictor variables, taking into account the biological realism of the model. The explanatory variable adopted for modeling the excretion of nitrogen was the consumption of nitrogen (CN), and for modeling phosphorus excretion was the consumption of phosphorus (CP). For nitrogen excretion in milk (EN_L) the asymptotic model Morgan-Mercer-Flodin was selected for nitrogen excretion in feces (EN_F) Exponential-Associação2p model and nitrogen excretion in the urine (EN_U) with the linear model Intercept. For phosphorus excretion in milk (EP_L) the asymptotic Weibull model was selected for the phosphorus excretion in feces (EP_F) and the Exponencial2p model for phosphorus excretion in the urine (EN_U) the asymptotic model Logístico3p. The models were estimated using the Akaike information criterion corrected (AICc) and its derived measures such as likelihood probability (W_i), and the relationship between the relative likelihood or evidence of likelihood (ER_i). Adjustments to the models stats packages, minpack.lm and AICcmodavg that are available in the software R were used (R Development Core Team, 2013). From these models a program was developed to quantify the excretion and utilization efficiency of nitrogen and phosphorus in milk production systems, through the mass balance of

nutrients. The program was developed in spreadsheets (Microsoft Excel), and consists of the inputs (inputs) and outputs (outputs) data. The inputs were ranked as the data that the user needs to provide the program, so that the outputs, which are the data generated by the program can be calculated. The inputs required are: the production system, the average number of animals per animal category, average intake of dry matter, nitrogen and phosphorus quantities of food used in animal feed, quantities of nitrogen and phosphorus used to fertilize crops and pasture area, average milk production of animals, percentage of protein and phosphorus in milk, number of animals bought and sold. The outputs generated were: total excretion of manure, nitrogen and phosphorus excretion in feces and urine of lactating cows, nitrogen excretion in manure from dry cows and heifers, nutrient balance, efficiency of utilization of nitrogen and phosphorus in dairy cows and the production system. After the construction of the program, two tests for the assessment of nutrient balance and efficiency of use of nitrogen and phosphorus were performed. The data set used was obtained from two systems of milk production. The major inputs of nitrogen (N) are in the form of food, and phosphorus (P) in the form of fertilizers. The major outputs of nutrients were in the form of losses, representing 83,8 and 72,7% N loss, and 28,4% and 37,5% losses of P. The balance of nutrients in kg/area was 67,8% and 73,5% N and 40,8% and 31,9% for P. The efficiency of N utilization of the systems was 32,3% and 36,1%, and the efficiency of P utilization was 13,3% and 20,1%. With the data collected in milk production systems was possible to evaluate and select mathematical models to predict nitrogen excretion by dairy cows. The data used for nitrogen excretion in the urine indicated no relationship between nitrogen intake and excretion in the urine, which implies the need for new data collection to establish a better relationship between these among their variables. The mathematical models selected for nitrogen excretion in milk and feces and the excretion of phosphorus in milk, feces and urine can be used to study the efficiency of utilization and excretion of nitrogen and phosphorus in milk production systems in Brazil. The software was able to quantify the excretion, the use efficiency and the balance of N and P in milk production systems.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Nos últimos anos, com o crescimento econômico mundial, cresceu também o setor agropecuário, e em especial, o setor lácteo. Entre 2000 e 2012, a oferta de leite no Brasil cresceu 62,4% (*Food and Agriculture Organization, 2013*), ultrapassando a marca de 32 bilhões de litros, colocando o País em 4º lugar no *ranking* mundial dos maiores produtores de leite no ano de 2013, ficando atrás somente dos Estados Unidos, Índia e China. Segundo a FAO (*Food and Agriculture Organization, 2013*), enquanto a produção de leite cresceu 62,4%, o número de animais lactantes no rebanho reduziu 2,7%. Portanto, o crescimento na produção de leite pode ser relacionado à adoção de técnicas mais avançadas de melhoramento genético, na qualidade da alimentação e no manejo dos animais (Carvalho e Oliveira, 2006).

A bovinocultura de leite, nos últimos anos vem sofrendo significativas modificações, e crescentes desafios vêm sendo impostos a pecuária leiteira mundial. Dentro deste cenário, onde se torna necessária a aplicação de novas tecnologias nos sistemas de produção e consolidação dos rebanhos em áreas cada vez menores, cria-se à necessidade de aumentar o fluxo de insumos no processo produtivo, o que pode levar ao uso desordenado e ineficiente dos fatores de produção, comprometendo seriamente a sustentabilidade dos sistemas.

Nos países onde a pecuária leiteira é considerada evoluída, existem maiores riscos de poluição ambiental, devido ao maior excedente de dejetos gerados pelo aumento do uso de insumos e alimentos destinados a produção animal. Nessas regiões tem sido observados esforços no sentido de desenvolver ações relacionadas à manutenção da sustentabilidade dos sistemas, redução da poluição por dejetos e excreção de nutrientes.

Um dos pontos de maior enfoque se refere à questão do manejo de nutrientes nos sistemas de produção, e as implicações relacionadas ao controle da contaminação dos solos e da água.

Segundo Oenema e Pietrzak (2002), a eficiência de uso dos nutrientes é um dos principais objetivos dos sistemas de agricultura sustentável, pois o uso ineficiente não somente resulta em perdas excessivas e potencialmente prejudiciais ao meio ambiente, como também, baixo desempenho econômico.

Pressões ambientais indicam a necessidade de redução da excreção de alguns nutrientes, entre eles, destacam-se o nitrogênio (N) e o fósforo (P), que em geral,

ocorrem em sistemas de produção que intensificam o uso de concentrados energéticos e protéicos, constituindo os poluentes mais preocupantes em águas de superfície, subterrâneas e solo, contaminando o ecossistema através da eutrofização e acúmulo de nitrato.

O nitrogênio é o elemento mais importante para os cultivos, e o mais difícil de ser manejado. O entendimento dos problemas ambientais associados a ele é importante no sentido de reconhecer os vários aspectos da sua dinâmica nos ecossistemas terrestres (Vendramini *et al.*, 2007). O nitrogênio está presente em grande quantidade nos dejetos dos animais e sua forma mineral é muito móvel no solo. O seu potencial poluente pode ser estimado pela volatilização de amônia, pelo escoamento superficial, pela lixiviação de nitrato e por desnitrificação.

O excesso de fósforo no meio ambiente não é considerado por muitos como um problema. Contudo, segundo Basso (2003), em algumas regiões, as perdas por escoamento superficial têm sido motivo de preocupação. Além disso, as reservas de rocha fosfatada de boa qualidade vêm se tornando cada vez mais escassas, o que certamente indica que, na perspectiva da sustentabilidade, atenção especial deve ser dada à eficiência com que os sistemas de produção utilizam esse mineral.

Os modelos mais recentes aplicados à nutrição de bovinos permitem calcular as exigências nutricionais dos animais, possibilitando a quantificação dos nutrientes que são secretados no leite, armazenados nos tecidos e excretados via urina e fezes. A aplicação adequada destes modelos pode reduzir significativamente a excreção de nutrientes por animais (Fox e Barry, 1995).

Segundo alguns autores existem uma relação linear entre o consumo de nitrogênio, e o nitrogênio encontrado nas fezes, urina e no leite de vacas em lactação. Weiss, *et al.* (2009) observaram que além do nitrogênio na dieta aumentar linearmente a excreção de nitrogênio nos dejetos, a redução do nitrogênio urinário, é a maneira mais eficiente de reduzir o nitrogênio de poluição ambiental, devido à redução das emissões de amônia.

Os estudos com fósforo na alimentação de vacas leiteiras também indicam relação direta entre consumo e excreção, principalmente nas fezes. Segundo Valk *et al.* (2002) quanto maior a produção de leite, maiores quantidades de fósforo são destinados para produção, diminuindo a excreção nos dejetos e aumentando a eficiência de utilização deste nutriente.

A maximização do aproveitamento das entradas de nitrogênio e fósforo em sistemas de produção de leite e a consequente minimização das perdas tem sido objetivo almejado por pesquisadores, extensionistas e produtores, pois a utilização ineficiente dos mesmos inegavelmente representa prejuízo econômico e ambiental.

Nesse sentido, o balanço de massa de nutrientes, pode ser adotado com sucesso na atividade leiteira. Ele é uma estimativa que usa os registros e dados de nutrientes da propriedade, contabilizando os nutrientes importados (*inputs*) ao sistema por meio da fixação de N (estimada), de fertilizantes, de alimentos e animais, e os exportados (*outputs*) do sistema, como venda de produtos (leite, carne), animais, grãos e dejetos. A diferença entre *inputs* e *outputs* representa o balanço de massa. De posse dessas informações produtores e técnicos podem adotar medidas que visem a reduzir as emissões e fontes de contaminação ambiental.

Aumentar a eficiência do uso do nitrogênio e fósforo pelos ruminantes, levando a menor excreção, está se tornando um indispensável atributo ambiental, de modo que, são encontrados inúmeros estudos em países considerados evoluídos no setor, visando à previsão da excreção do nitrogênio e fósforo por bovinos leiteiros utilizando a modelagem matemática.

A modelagem matemática aliada à simulação computacional vem ganhando destaque como ferramenta de síntese do conhecimento científico. Segundo Ehrlich (1985) 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.

A disponibilidade de modelos matemáticos para estimativa da predição de excreção de nutrientes possibilita a elaboração de modelos de simulação que podem ser utilizados como instrumentos orientadores de novas atividades empresariais e de pesquisa. A aplicação da técnica de modelagem e a interpretação dos resultados qualitativos e quantitativos em estudos de prevenção de possíveis impactos ambientais vêm ganhando destaque na literatura.

No Brasil, existem poucos estudos relacionados a sistemas de produção de leite com ênfase na utilização e excreção de nutrientes como o nitrogênio e fósforo aliados à modelagem matemática. No entanto, esses estudos utilizam modelos matemáticos que são ajustados para uma realidade diferente, no que diz respeito ao clima, alimentação e padrão racial.

Estudos que avaliem a eficiência de utilização e excreção do nitrogênio e fósforo em sistemas de produção de leite se mostram promissores, em vista da necessidade de prever impactos ambientais, uma vez que parte da poluição ambiental é proveniente das produções agrícolas intensivas, como em alguns sistemas de produção de bovinos leiteiros.

Assim, a disponibilidade de dados e informações relativas ao fluxo de nutrientes e controles zootécnicos de sistemas de produção de leite inseridos na mesorregião da Zona da Mata e Campos das Vertentes situados no estado de Minas Gerais, possibilita a avaliação de modelos matemáticos para estimativa da excreção de nitrogênio e fósforo por vacas leiteiras, e o desenvolvimento de cálculos para quantificar a excreção e eficiência de utilização do nitrogênio e fósforo em sistemas de produção de leite, através do balanço de massa, que poderá ser utilizado como sistema de apoio à decisão e instrumento orientador de novas atividades empresariais e de pesquisa.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Excreção de nitrogênio pelos ruminantes

Nos ruminantes, sob uma ampla gama de condições alimentares, a conversão de nitrogênio alimentar em produtos, tais como proteína do leite e carne é geralmente baixa. Em vacas leiteiras, somente 25 a 30% do nitrogênio da dieta é utilizado para síntese de proteína do leite, enquanto que 70 a 75% do nitrogênio da dieta é excretado via urina e fezes. Desta proporção, cerca de 12% são perdidos pela volatilização da amônia (Tamminga e Verstegen 1996; Marini e Van Amburgh, 2005).

Em estudos realizados por Castelo *et al.*, (2000) e Kebreab *et al.*, (2001), com vacas leiteiras, 28% do nitrogênio consumido foi excretado nas fezes, principalmente devido à fração proteica indigestível, e cerca de 38% do nitrogênio foi excretado na urina, principalmente na forma de uréia.

Da mesma forma, VandeHaar e St-Pierre (2006) relataram que para vacas leiteiras, a eficiência de conversão do nitrogênio ingerido em nitrogênio do leite, raramente excede 30%, e cerca de 70% do nitrogênio ingerido é perdido, dividindo-se em 30% nas fezes e aproximadamente 40% na urina. Os mesmo autores relacionam a excreção de nitrogênio nas fezes ao nitrogênio não digerido no rúmen, a proteína microbiana não digerida no intestino delgado e a fontes endógenas, enquanto o nitrogênio excretado na urina é relacionado predominantemente à perda de nitrogênio ruminal devido à extensa degradação de proteína no rúmen.

Segundo Baik *et al.* (2006) a quantidade de nitrogênio excretado na urina e nas fezes aumenta com o aumento do consumo de nitrogênio, sendo a excreção de nitrogênio na urina maior, quando comparada a excreção de nitrogênio nas fezes. No entanto, de acordo com o NRC (2001) a excreção de nitrogênio nas fezes só é maior do que na urina, quando vacas em lactação são alimentadas acima de suas exigências de proteína. Desta maneira, para cada 1% de aumento na proteína bruta (PB) da dieta ocorre um aumento de aproximadamente 9,6% na excreção de nitrogênio nas fezes por vacas em lactação.

Os microrganismos do rúmen, especialmente os celulolíticos, utilizam a amônia para a síntese de proteína microbiana. Assim, a presença do nitrogênio amoniacal (N-NH_3), no ambiente ruminal é inevitável. Quando há falta de sincronia entre a taxa de degradação dos carboidratos e proteínas durante o processo de síntese microbiana, a excreção dos compostos nitrogenados aumenta, ocorrendo também aumento na

produção de uréia, o que envolve um alto custo energético, além da perda de nitrogênio (Stern *et al.*, 1994).

Desta maneira, a amônia ruminal, resultante do processo de proteólise bacteriana que se encontra livre e em excesso no ambiente ruminal, é absorvida pela parede ruminal, rota principal para a amônia que não foi assimilada pelos microrganismos, e, posteriormente, é levada pela corrente sanguínea para o fígado, para formação da uréia por meio do ciclo da uréia (Russell *et al.*, 1992).

Segundo o mesmo autor, a diminuição da perda de nitrogênio no rúmen é possível através da redução do nível de nitrogênio dietético e degradação da proteína, ou então pela melhoria na eficiência de captura do nitrogênio degradado no rúmen por meio da síntese de proteína microbiana.

A principal forma de excreção de nitrogênio na urina é na forma de uréia, e sua concentração está correlacionada positivamente às concentrações de nitrogênio no plasma sanguíneo e com a ingestão de nitrogênio (Van Soest, 1994), constituindo-se um indicativo da eficiência de utilização do nitrogênio ruminal.

Segundo Harmeyer e Martens (1980), à quantidade de uréia formada no fígado é proporcional a amônia produzida no rúmen, e a concentração de uréia plasmática está diretamente relacionada ao aporte protéico e à relação proteína: energia da dieta. Os mesmos autores relataram que a quantidade de uréia excretada pelos rins depende de fatores como: concentração plasmática de uréia, taxa de filtração glomerular e reabsorção tubular de uréia, e o principal regulador da excreção da uréia pela urina é a concentração plasmática.

No intestino delgado ocorrem perdas endógenas (proteínas endógenas), que são provenientes da descamação epitelial, muco, enzimas digestivas e bile excretada. Sendo assim, as perdas fecais resultam da excreção do nitrogênio dietético não-digerido, do nitrogênio microbiano não-digerido, do nitrogênio endógeno e do nitrogênio amoniacal (Tamminga, 1996; Tamminga e Verstegen 1992).

Segundo Schwab *et al.* (2005), muitas estratégias vêm sendo utilizadas para aumentar a conversão do nitrogênio alimentar em proteína do leite, reduzindo deste modo a fração de nitrogênio excretado.

Uma das estratégias é aumentar a síntese de proteína microbiana, possibilitando assim a oportunidade de captura de nitrogênio reciclado e a quebra de proteína no rúmen. A segunda estratégia é balancear o fornecimento de proteína degradável no

rúmen (PDR) e proteína não-degradável no rúmen (PNDR), até que as exigências de ambas se encontrem. No entanto, em uma revisão de 108 trabalhos conduzidos de 1985 a 1997, Santos *et al.* (1998) observaram que a resposta em produção de leite aos suplementos com PNDR foi altamente variável, devido a sua qualidade.

A terceira estratégia seria balancear a dieta quanto às exigências de aminoácidos essenciais (AAE), utilizando o sistema de proteína metabolizável que determina uma combinação de alimentos e suplementos alimentares, que completam as exigências de nitrogênio para fermentação ruminal e aminoácidos exigidos pelo animal.

2.2. Excreção de fósforo pelos ruminantes

A excreção de fósforo (P) pode ser dividida em exógeno (P nas fezes) que não foi absorvido, proveniente da dieta, ou endógeno, principalmente oriundo da saliva, de descamações das células intestinais e das secreções digestivas (Playne, 1976).

Morse *et al.* (1992), relataram que vacas em lactação excretam 88,2% do fósforo consumido diariamente, dos quais 66,6% são excretados nas fezes, 1% na urina e 30,3% no leite. Portanto, a maior parte da excreção de fósforo ocorre nas fezes, e a excreção urinária tem pouca importância, não alcançando níveis significativos (Knowlton *et al.*, 2001; Valk *et al.*, 2002), não sendo contabilizada na maioria dos trabalhos.

Avaliando a excreção de fósforo no leite em vacas Holandesas, alguns autores verificaram que não há influência da quantidade de fósforo ingerido com a concentração de fósforo no leite (Wu *et al.*, 2000; Valk *et al.*, 2002). É aceitável a concentração de 0,9 g P/kg de leite em uma lactação completa (NRC, 2001).

A perda de fósforo fecal é inevitável e obrigatória, e mesmo os animais consumindo alimentos com baixa concentração de fósforo, não são capazes de reduzir a excreção para atingir o equilíbrio ou o balanço zero. Parte do fósforo presente nos alimentos possui uma fração indigestível, que está presente nas ligações químicas e não é absorvido, em consequência disso, essa fração é excretada. Quando a ingestão do fósforo absorvível excede a necessidade para o crescimento, reprodução e lactação, as perdas são inevitáveis, no sentido de manter a homeostase. Estas perdas não dependem somente da qualidade da dieta e da ingestão de fósforo, mas também da fisiologia do animal e do metabolismo (células de descamação e secreções digestivas) dos microrganismos ruminais (Pfeffer *et al.*, 2005).

A digestibilidade verdadeira do fósforo é considerada alta, mas grande quantidade do nutriente é reciclada pelo retículo-rúmen via saliva (Wu *et al.*, 2001).

A absorção no trato gastrointestinal é regulada para atender a demanda, ou seja, varia em função da exigência diária do animal. Quando a suplementação é maior que a quantidade requerida, a digestibilidade verdadeira do fósforo diminui, pois somente a quantidade demandada do nutriente é absorvida, sendo o excedente excretado via efluentes, principalmente nas fezes (Wu *et al.*, 2001; Rotz, 2004; Hanigan e Knowlton, 2010). De acordo com Chapuis-Lardy *et al.* (2004) a quantidade de fósforo na dieta é a variável de maior importância quanto à influência de excreção de fósforo nas fezes.

Em estudo realizado por Martz *et al.* (1990) com vacas Holandesas, verificou-se que 75 a 78% do fósforo fecal era de origem endógena. Sendo assim, as perdas endógenas fecais são a forma mais importante de perda de fósforo nos ruminantes, pois resulta principalmente da secreção das glândulas salivares (Breves e Schroder, 1991).

Segundo Tamminga *et al.* (1996), como o metabolismo e a excreção do fósforo, via fezes, são regulados principalmente pela ingestão (Morse *et al.*, 1992), a forma mais fácil para reduzir a perda do fósforo, é pela redução da concentração desse mineral na dieta.

2.3. Problemas ambientais causados pelo nitrogênio e fósforo

As principais fontes de nitrogênio (N) incorporadas ao ambiente devido ao processo produtivo são os fertilizantes utilizados nas lavouras e os dejetos dos animais (Tamminga, 1992).

A contribuição do nitrogênio para a poluição ambiental ocorre por duas vias: pela perda da amônia (NH₃), contaminando o ar, ou como nitrato (NO₃⁻) contaminando lençóis freáticos e solo. Em termos de poluição ambiental, o nitrogênio urinário tem maior impacto do que o nitrogênio fecal.

Segundo Castilho *et al.* (2001), com a diminuição da proteína degradada no rúmen (PDR) das dietas é possível diminuir a excreção de nitrogênio na urina e, conseqüentemente, a poluição ambiental.

Nos dejetos, a uréia excretada é convertida em amônia (NH₃) pela presença da enzima urease, secretada por microrganismos presentes nos dejetos. Em condições aeróbias, nas camadas superficiais do solo, a amônia (NH₃) é convertida em nitrato

(NO₃⁻), por nitrificação, e nas camadas mais profundas do solo, o nitrato (NO₃⁻) pode ser convertido em formas de nitrogênio gasoso por desnitrificação. Esta última pode causar escape para o ar de gases intermediários como o óxido nítrico (NO) e óxido nitroso (N₂O), sendo este último particularmente prejudicial à camada de ozônio.

No solo, o nitrogênio pode ser transformado em amônio (NH₄⁺) através do processo de decomposição da matéria orgânica. Este amônio (NH₄⁺) pode ser fixado no solo, imobilizado pelos microrganismos ou nitrificado, principalmente pelas bactérias *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, ou ainda ser absorvido pelas plantas (Mason e Williams, 1980).

No processo de nitrificação, além da acidificação do solo, resta ainda o ânion nitrato (NO₃⁻), forma móvel no solo, prontamente lixiviável, que pode ser absorvido em grandes quantidades pelas plantas, contaminando alimentos, ou ser lixiviado, causando grandes preocupações quanto à contaminação de água subterrânea ou superficial. A desnitrificação e a lixiviação, juntas, constituem as duas vias principais de perdas de nitrato (NO₃⁻). Embora a desnitrificação possa reduzir o potencial de contaminação de aquíferos por nitrato (NO₃⁻), constitui a perda de um nutriente essencial, de alto custo energético para sua produção (Gomes *et al.*, 2008).

O fósforo aplicado no solo nos sistemas de produção animal é, em parte, perdido por lixiviação e erosão, e em parte, exportado nos produtos agrícolas que saem das lavouras. A maior parte do fósforo carregado do solo nas águas de escoamento vai para os rios e depois para os oceanos, perdendo-se dos ecossistemas terrestres. Vê-se, portanto, que as atividades agrícolas podem levar à escassez de fósforo para a própria agricultura, no futuro (Gomes *et al.*, 2008).

Tanto o nitrogênio, como o fósforo excretado nas fezes podem causar poluição quando são lixiviados no solo e atingem as águas, causando a eutrofização. Este processo ocorre quando há o crescimento exagerado de organismos aquáticos autotróficos, particularmente algas planctônicas (fitoplâncton) e plantas aquáticas (macrófitas). Dentre os problemas causados pela eutrofização, pode-se citar a alteração da acidez da água (pH), pois consome gás carbônico pela absorção fotossintética variando do dia para a noite. A alteração na acidez pode causar a morte de determinadas formas de vida aquática, causa de grande desequilíbrio ecológico, com diminuição do número e quantidade das espécies aquáticas. Torna o meio impróprio para o lazer e pode diminuir a atividade piscícola (Correl, 1998).

2.4. Uso da modelagem matemática na eficiência de utilização e excreção de nitrogênio e fósforo em ruminantes

Aumentar a eficiência do uso de nitrogênio pelos ruminantes, levando a menor excreção, está se tornando um indispensável atributo ambiental, de modo que, nos países evoluídos na pecuária leiteira, são encontrados inúmeros estudos utilizando a modelagem matemática, visando à eficiência de utilização e excreção de nitrogênio.

Na literatura são encontrados vários trabalhos utilizando a modelagem matemática através de modelos empíricos, ou seja, apenas relacionam variações entre as entradas e saídas, geralmente tomando a forma de equações de regressão. Neste sentido, diversos estudos têm sido desenvolvidos para estabelecer indicações para o manejo e a eficiência de utilização do nitrogênio em sistemas intensivos de produção de leite. Dentre eles destacam-se os trabalhos de Wilkerson, *et al.*, (1997), Kohn, *et al.*, (1997), Jonker, *et al.*, (1998), Kauffman e St.-Pierre (2001), Kohn, *et al.*, (2002), Jonker, *et al.*, (2002), Nennich, *et al.*, (2005), Arriaga *et al.*, (2009).

Castillo *et al.* (2000) a partir de dados da literatura e, através da análise de regressão, descreveu as relações entre entradas e saídas de nitrogênio nas fezes, na urina e no leite de vacas em lactação. Por outro lado Kebreab *et al.* (2001) estudaram detalhadamente a relação entre o consumo de nitrogênio e a forma com que é excretado, através da modelagem. Os autores apresentaram, através do uso de modelos matemáticos, uma correlação linear entre nitrogênio consumido e o nitrogênio excretado.

Weiss *et al.* (2009) observaram que a proteína na dieta aumentou linearmente a excreção de nitrogênio nas fezes e na urina. Desta maneira, com a utilização de modelos lineares, descreveram a excreção de nitrogênio na urina como sendo 3,5 vezes a mais do que a excreção de nitrogênio nas fezes.

Kebreab *et al.* (2002) desenvolveram um modelo dinâmico, baseado em processos que predizem a quantidade e a forma de nitrogênio excretado por vacas leiteiras em diferentes estratégias nutricionais, e descreveram matematicamente que o nitrogênio da urina foi afetado pela proteína degradável no rúmen (PDR) e o nível de carboidratos da dieta. Os autores ainda, através da modelagem, mostraram que o aumento da concentração de energia fermentescível poderia potencialmente reduzir a excreção de nitrogênio na urina e as emissões de amônia por até 25%.

Mais tarde, Kebreab *et al.* (2004), incorporou um módulo de aproveitamento do nitrogênio no modelo de rúmen desenvolvido por Dijkstra *et al.*(1992). O modelo integrado foi capaz de representar detalhadamente a ação microbiana no rúmen, o que melhorou a previsão de utilização de nitrogênio em vacas em lactação. Esta representação permitiu a avaliação da manipulação da dieta para melhorar a utilização do nitrogênio.

Uma abordagem mecanicista é necessária para melhorar a previsão de utilização de nitrogênio em vacas leiteiras, uma vez que esta é afetada por vários fatores, tais como a concentração de nitrogênio na dieta, degradação microbiana, e sua interação com outros nutrientes.

Assim, melhorias na modelagem nas áreas de reciclagem de nutrientes no rúmen e pós-rúmen, processos de absorção e transformação de aminoácidos-base em nitrogênio, metabolismo intermediário e funções produtivas dos animais avançariam a compreensão e previsão de utilização de nitrogênio em ruminantes (Kebreab *et al.*, 2009; Kebreab *et al.*, 2010).

O fósforo é um nutriente essencial que recebeu atenção por razões ambientais, tais como o esgotamento de fontes de fósforo inorgânico (por exemplo, o fosfato bicálcico) e a poluição de lagos e córregos, causando eutrofização. Portanto, otimizando o consumo de fósforo e o entendimento de fatores que afetam a sua utilização resultará em benefícios ambientais e econômicos.

No passado o fósforo muitas vezes foi utilizado em excesso para o gado leiteiro, chegando de 20 a 40% além das exigências animais (Sink *et al.*, 2000).

Em vacas leiteiras, vários estudos indicam uma relação direta entre consumo e excreção de fósforo (Wu *et al.*, 2000; Wu *et al.*, 2001; Knowlton *et al.*, 2001), sendo que estudos realizados por Morse *et al.* (1992) foi um dos primeiros a descrever matematicamente esta relação.

Abordagens empíricas e mecanicistas têm sido utilizadas para a modelagem de utilização de fósforo em ruminantes, como nos trabalhos de Kebreab e Vitti (2005), e Kebreab *et al.* (2008).

Kebreab *et al.*(2005) descreveram uma relação linear positiva entre a ingestão e excreção de fósforo nas fezes. No entanto, esta relação linear foi função das fases de lactação dos animais.

Pesquisas baseadas em modelagem mecanicista, também conhecidas como modelagem cinética, tem sido um importante método de compreensão do metabolismo de fósforo em ruminantes. Vitti *et al.* (2000) descreveram modelos que regulam a homeostase de fósforo em ruminantes, através de dados obtidos com isótopo radioativo e técnicas de rastreamento. O modelo também foi usado para identificar a perda endógena de fósforo a partir da exigência animal.

Utilizando um modelo mecanicista integrando avaliação ambiental e econômica para redução da poluição de fósforo por vacas leiteiras, Kebreab *et al.* (2008) demonstraram que os produtores usavam, em média, 0,41% de fósforo na dieta, e sua redução em relação à recomendada pelo NRC (2001), pouparia os produtores em 20 dólares/vaca anualmente, e a excreção seria reduzida em 1,3 kg/ano.

Na construção de um modelo dinâmico e mecanicista da digestão e metabolismo de fósforo, Hill *et al.* (2008) estudaram a excreção de fósforo nos dejetos de vacas leiteiras, em especial, os montantes de fósforo orgânico, inorgânico, e fitatos. Porém, os valores preditos em comparação aos observados mostraram erro de 20%. Diante disto os autores justificaram a necessidade de dados adicionais para obtenção de resultados mais convergentes, e para isso haveria a necessidade de mais estudos associados à regulação e absorção, uma vez que a absorção óssea e o transporte de fósforo na parede intestinal são um importante local de regulação.

3. BIBLIOGRAFIA

- ARRIAGA, H.; PINTO, M; CALSAMIGLIA, S. *et al.* Nutritional and management strategies on nitrogen and phosphorus use efficiency of lactating dairy cattle on commercial farms: An environmental perspective. **Journal of Dairy Science**, v.92, p.204-215, 2009.
- BAIK, M.; ASCHENBACH, J. R.; VANDEHAAR, M. J.; LIESMAN, J. S. Effect of dietary protein levels on milk production and nitrogen efficiency in dairy cattle. **Journal of Animal Science**, v.84 (Supl.1), p.81, 2006.
- BARIONI L.G., VELOSO, R.F., MARTHA JÚNIOR, G.B. Modelos matemáticos aplicados a sistemas de produção animal em pastagens. In: Obeid, J.A., Pereira, O.G., Fonseca, D.F., Nascimento Júnior, D. **Simpósio sobre manejo estratégico da pastagem**, 2. 2002. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. p. 235-278.2002.
- BASSO, C.J. **Perdas de nitrogênio e fósforo com aplicações no solo de dejetos líquidos de suínos**. Tese (Doutorado). UFSM/ Programa de Pós-graduação em Agronomia. Universidade Federal de Santa Maria. 144p. 2003.
- BREVES, G.; SCHRODER, B. Comparative aspects of gastrointestinal phosphorus metabolism. **Nutrition Research Reviews**, v.4, p.125-140, 1991.
- BROCKINGTON, N.R. **Curso de modelos de simulação**. v.1, CNPGL (Embrapa), 1995.
- CARVALHO, G.R.; OLIVEIRA, A. F. **O setor lácteo em perspectiva**. [2006] Disponível em: http://www.cnpm.embrapa.br/conjuntura/0609_Leitederivados.pdf. Acesso: 16/10/ 2012.
- CASTILLO, A.R.; KEBREAB, E.; BEEVER, D.E. *et al.* Review of efficiency of nitrogen utilization in dairy cows and its relationship with the environmental pollution. **Journal of Animal and Feed Sciences**, v.9, p.1-32, 2000
- CEROSALETTI, P. E.; FOX, D. G.; CHASE, L. E. Phosphorus reduction through precision feeding of dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.87, p.2314-2323. 2004.
- CHAPUIS-LARDY, L.; FIORINI, J.; TOTH, J.; *et al.* Phosphorus concentration and solubility in dairy feces: variability and affecting factors. **Journal of Dairy Science**, v.87, p.4334-4341, 2004.
- CORREL, D.L. The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters; a review. **Journal of Environmental Quality**, v. 27, p. 251-261, 1998.
- DIJKSTRA, J.; NEAL, H. D. ST. C.; BEEVER, D. E.; FRANCE, J.. Simulation of nutrient digestion, absorption and outflow in the rumen: Model description. **Journal of Nutrition**, v.122, p. 2239-2256, 1992.
- DOU, Z.; FERGUSON, J.D.; FIORINI, J. *et al.* Phosphorus feeding levels and critical control points on dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v.86, p.3787-3795, 2003.

- EHRLICH, J.P. **Pesquisa operacional**: curso introdutório, 5. ed. São Paulo: Atlas, 1985.
- FOX, D.G., BARRY, M.C. Using whole animal models to evaluate and refine cattle diets under widely varying conditions. *Proceedings... Workshop Modeling Nutrition Utilization Farm Animal*. Page 143. National Institute Animal Science. 1995.
- GOMES, M.A. F.; SOUZA M.D.; BOEIRA, R.C. et al. [2008] **Nutrientes Vegetais no Meio Ambiente: ciclos bioquímicos, fertilizantes e corretivos**. Embrapa Meio Ambiente. Disponível em: www.cnpma.embrapa.br Acesso: 15/10/2012.
- HANIGAN, M.D., KNOWLTON, K.F. Nutritional approaches to maximize N and P efficiency. In: MID-SOUTH RUMINANT NUTRITION CONFERENCE. 2010. *Proceeding...* Arlington, Texas. 2010. p.27-38.
- HARMEYER, J.; MARTENS, H. Aspects of urea metabolism in ruminants with reference to the goat. **Journal of Dairy Science**, v.63, p.1707-1728, 1980.
- HARREL, C.R., MOTT, J.R.A., BATEMAN, R.E. et al. **Simulação: Otimizando os sistemas**. 2. ed. São Paulo: Iman. 136 p. 2002.
- HILL, S. R.; KNOWLTON, K. F.; KEBREAB, E. ; FRANCE, J. ; HANIGAN, M. D.. A model of phosphorus digestion and metabolism in the lactating dairy cow. **Journal of Dairy Science**, v.91, p.2021-2032, 2008.
- HRISTOV, A.N.; HAZEN, W.; ELLSWORTH, J.W. Efficiency of Use of Imported Nitrogen, Phosphorus, and Potassium and Potential for Reducing Phosphorus Imports on Idaho Dairy Farms. **Journal of Dairy Science**, v.89, p.3702-3712, 2006.
- JONKER, J.S.; KOHN, R.A.; HIGH, J. Dairy herd management practices that impact nitrogen utilization efficiency. **Journal of Dairy Science**, v. 85, p.1218-1226, 2002.
- JONKER, J.S; KOHN, R.A; ERDMAN, R.A. Using Milk urea nitrogen to predict nitrogen excretion and utilization efficiency in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.81, p. 2681-2692, 1998.
- KAUFFMAN, A. J., and ST-PIERRE, N. The relationship of milk urea nitrogen excretion in Holstein and Jersey cows. **Journal of Dairy Science**, v.84, p. 2284-2294, 2001.
- KEBREAB, E.; FRANCE, J.; BEEVER, D. E.; CASTILLO, A. R. Nitrogen pollution by dairy cows and its mitigation by dietary manipulation. **Nutrition Cycle Agroecosystem**, v.60, p.275-285, 2001.
- KEBREAB, E.; MILLS, J. A. N.; CROMPTON, L. A. et al. An integrated mathematical model to evaluate nutrient partition in dairy cattle between the animal and its environment. **Animal Feed Science and Technology**, v.112, p.131-154, 2004.

- KEBREAB, E., and VITTI, D. M. S. S. **Mineral metabolism**. In Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism. J. Dijkstra, J. M. Forbes, and J. France, ed. CAB International, Wallingford, UK. p. 469-486. 2005.
- KEBREAB, E., VITTI, D. M. S. S.; ODONGO, N. E.; CROMPTON, L. A.; FRANCE, J.. **Modeling phosphorus metabolism**. In Mathematical Modeling in Animal Nutrition. J. France and E. Kebreab, ed. CAB International, Wallingford, UK. P. 353-369. 2008.
- KEBREAB, E.; DIJKSTRA, J.; BANNINK, A.; FRANCE, J. Recent advances in modeling nutrient utilization in ruminants. **Journal of Animal Science**, v. 87, p. 111-122, 2009.
- KEBREAB, E.; STRATHE, A.; FADEL, J.; MORAES, L.; FRANCE, J.; Impact of dietary manipulation on nutrient flows and greenhouse gas emissions in cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.458-464 suplemento especial, 2010.
- KOHN, R. A.; DOU, Z.; FERGUSON, J. D.; BOSTON, R. C. A sensitivity analysis of nitrogen losses from dairy farms. **Journal of Environmental Management**, v. 50, p. 417-428, 1997.
- KHON, R.A, KAISCHEUR, N.F., RUSSEK-COHEN, E. Evaluation of models to estimative urinary and expected milk urea nitrogen. **Journal Dairy Science**, v.55, p.227-233. 2002.
- KNOWLTON, K.F.; HERBEIN, J.H.; MEISTER-WEISBARTH, M.A. *et al.* Nitrogen and phosphorus partitioning in lactating Holstein cows fed different sources of dietary protein and phosphorus. **Journal of Dairy Science**, v.84, p.1210-1217, 2001.
- LAW, A.M., KELTON, W.D. **Simulation models and analysis**. 3. ed. Boston: McGraw-Hill, 2000.
- MARINI, J. C., and VAN AMBURGH, M. E. Partition of nitrogen excretion in urine and the feces of Holstein replacement heifers. **Journal of Dairy Science**, v.88, p.1778-1784, 2005.
- MARTZ, F. A.; BELO, A. T.; WEISS, M. F. *et al.* True absorption of calcium and phosphorus from alfalfa and corn silage when fed to lactating cows. **Journal of Dairy Science**, v.73, p.1288-1295., 1990.
- MASON, M.G.; WILLIAMS, C.H. An investigation of reduction in wheat yields after use of a high level of ammonium sulphate for a number of years. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, v. 20, p.210-219, 1980.
- MORSE, D.; HEAD, H. H.; WILCOX, C.J. *et al.* Effects of concentration of dietary phosphorus on amount and route of excretion. **Journal of Dairy Science**, v.75, p.3039-3049, 1992.

- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient Requieriments of Dairy Cattle**. 7. ed. Washington, DC.: National Academy Press, 2001. 381p.
- NENNICH, T. D.; HARRISON, J. H.; VANWIERINGEN, L. M. D. *et al.* Prediction of manure and nutrient excretion from dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.88, p.3721-3733, 2005.
- OENEMA, O.; PIETRZAK, S. Nutrient management in food production: Achieving agronomic and environmental targets. **Ambio: A Journal of the Human Environment**, v.31, p.159-168, 2002.
- PFEFFER, E.; BEEDE, D.K.; VALK, H. Phosphorus Metabolism in Ruminants and Requirements of Cattle In: **Nitrogen and Phosphorus Nutrition of Cattle: Reducing the environmental impact of cattle operations**. Washington: Cabi Publishing 2005. p.195-224.
- PLAYNE, M.J. Availability of phosphorus in feed stuffs for utilization by ruminants. In: Blair, G.J. (ed.). *Reviews in Rural Sciences 3, Prospects for improving efficiency of phosphorus utilization*, 115-64 University of New England Publishing Unit, Armidale 1976.
- 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.
- RUSSELL, J.B.; O'CONNOR, J.D.; FOX, D.G. *et al.* A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminant fermentation. **Journal of Animal Science**, v.70, p.3551-3561, 1992.
- SANTOS, F.A.P; SANTOS, J.E.P; THEURER, C.B. *et al.* Effects of rumen undegradable protein on dairy cows performance: A 12 year literature review. **Journal Dairy Science**, v.81, p. 3182-3213, 1998.
- SCHWAB, C.G. Rumen-protected amino acids for dairy cattle: progress towards determining lysine and methionine requirements. **Animal Feed Science Technology**, v.59, p.87-101, 1996.
- SINK, S.E.; KNOWLTON, K.F.; HERBEIN, J.H. Economic and environmental implications of overfeeding phosphorus on Virginia dairy farms. **Journal of Animal Science**, v.78, (Supp. 2), p.4, 2000.
- STERN, M.D.; VARGA, G.A.; CLARK, J.H. *et al.* Evaluation of chemical and physical properties of feeds that affect protein metabolism in the rumen. **Journal of Dairy Science**, v.77, p.2762, 1994.
- SWCHAB, C.G.; HUHTANEN, P.; HUNT, C.W. Nitrogen Requieriments of Cattle. In: **Nitrogen and Phosphorus Nutrition of Cattle: Reducing the environmental impact of cattle operations**. Washington: Cabi Publishing, p.187-193, 2005.
- TAMMINGA, S.; VERSTEGEN, M.W.A.. Implications of nutrition of animals on environmental pollution. In: RECENT ADVANCES IN ANIMAL NUTRITION,

- 1992, Butterworth-Heinemann Ltd. Garnsworthy, P.C.; Haresign, W. Cole, D. J. A. 1992, 223p.
- TAMMINGA, S.A Review on Environmental Impacts of Nutritional Strategies in Ruminants. **Journal of Animal Science**, v.74, p.3112–3124, 1996.
- THORNLEY, J. H. M. and FRANCE, J. **Mathematical Models in Agriculture**. Role of mathematical models. 2nd. Edn. CAB International, Wallingford, UK, 2007, 887p.
- VALK, H.; SEBEK, L.B.J.; BEYNEN, A.C. Influence of phosphorus intake on excretion and blood plasma and saliva concentrations of phosphorus in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.85, p.2642-2649, 2002.
- VANDEHAAR, M.J.; ST-PIERRE, N. Major Advances in Nutrition: Relevance to the Sustainability of the Dairy Industry. **Journal of Dairy Science**, v.89, p.1280-1291, 2006.
- VENDRAMINE, J.N.B., SILVEIRA, M. L. A., DUBEUX, Jr. C. B., *et al.* **Environmental impacts and nutrient recycling on pastures by cattle**. In. Rezende K. T., Teixeira I.M.A., Berchielli, T.T. (ed.) anais da 44^a reunião anual da SBZ, Jaboticabal, SP. v36, p139-149. 2007.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2. ed. Ithaca: Cornell University, 1994.
- VITTI, D. M. S. S.; KEBREAB, E.; LOPES, J. B.; ABDALLA, A. L.; *et al.* Crompton, and J. France.. A kinetic model of phosphorus metabolism in growing goats. **Journal of Animal Science**, v. 78, p.2706-2712, 2000.
- WEISS, W.P.; WILLET, L.B.; ST-PIERRE, N.R. *et al.* Varying forage type, metabolizable protein concentration, and carbohydrate source affects manure excretion, manure ammonia, and nitrogen metabolism of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.92, 5607-5619, 2009.
- WEISS, W.P; WYATT, D.J. Macromineral Digestion by Lactating Dairy Cows: Estimating Phosphorus Excretion via Manure. **Journal of Dairy Science**, v. 87, p. 2158-2166, 2004.
- WILKERSON, V. A.; MERTENS, D. R.; CASPER, D. P. Prediction of excretion of manure and nitrogen by Holstein dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.80, p.3193-3204, 1997.
- WU, Z.; SATTER, L.D.; SOJO, R. Milk production, reproductive performance, and fecal excretion of phosphorus by dairy cows fed three amounts of phosphorus. **Journal of Dairy Science**, v.83, p.1028-1041, 2000.
- WU, Z.; SATTER, L.D.; SOJO, R. Milk production, reproductive performance, and fecal excretion of phosphorus by dairy cows fed three amounts of phosphorus. **Journal of Dairy Science**, v.83, p.1028-1041, 2001.

CAPÍTULO I

AVALIAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS DE EXCREÇÃO DE NITROGÊNIO E FÓSFORO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE LEITE

RESUMO

Objetivou-se avaliar modelos matemáticos, para a excreção de nitrogênio e fósforo por vacas leiteiras utilizando dados coletados em sistemas de produção de leite no Estado de Minas Gerais. Foram coletados dados em seis sistemas de produção de leite inseridos nas mesorregiões da Zona da Mata e Campo das Vertentes, e realizadas seis visitas técnicas com intervalo de 30 dias, compreendendo ao período de julho a dezembro de 2009. Os dados coletados foram número de vacas em lactação, produção de leite, quantidade e composição da dieta. Em cada lote de produção foi mensurado o peso vivo dos animais e coletado amostras de fezes, urina, leite e alimentos. Nessas amostras foram analisados os teores de nitrogênio e fósforo, e a partir desses valores quantificados o consumo de nitrogênio (CN) e fósforo (CP), as excreções de nitrogênio e fósforo nas fezes (EN_F ; EP_F) no leite (EN_L ; EP_L) e na urina (EN_U ; EP_U). Os modelos adotados nas comparações foram selecionados após a análise exploratória dos dados, através de gráficos de dispersão e testes de correlação, e avaliação do comportamento entre as variáveis respostas e variáveis preditoras, levando em consideração o realismo biológico do modelo. A variável explicativa adotada para a modelagem da excreção de nitrogênio foi o consumo de nitrogênio (CN), e para a modelagem da excreção de fósforo foi o consumo de fósforo (CP). Os modelos foram avaliados segundo o critério de Informação de Akaike corrigido (AICc) e suas medidas derivadas como a verossimilhança da probabilidade (W_i), e a relação entre a probabilidade relativa ou evidência da verossimilhança (ER_i). Para os ajustes dos modelos foram utilizados os pacotes *stats*, *minpack.lm* e *AICcmodavg* que estão disponíveis no software R (R Development Core Team, 2013). Para a excreção nitrogênio no leite (EN_L) foi

selecionado o modelo assintótico Morgan-Mercer-Flodin, para a excreção de nitrogênio nas fezes (EN_F) o modelo Exponencial-Associação^{2p} e para a excreção de nitrogênio na urina (EN_U) o modelo linear com intercepto. Para a excreção fósforo no leite (EP_L) foi selecionado o modelo assintótico de Weibull, para a excreção de fósforo nas fezes (EP_F) o modelo Exponencial^{2p} e para a excreção de fósforo na urina (EP_U) o modelo assintótico Logístico^{3p}. Os resíduos dos modelos de excreção de nitrogênio e fósforo nas fezes e no leite apresentam distribuição aproximadamente normal. A EN_U apresentou maior dispersão e a EP_U não apresentou boa distribuição aleatória. Com os dados coletados nos sistemas de produção de leite foi possível avaliar e selecionar modelos matemáticos para predição da excreção de nitrogênio por vacas leiteiras. Os dados utilizados para excreção de nitrogênio na urina, não indicaram relação entre o consumo de nitrogênio e sua excreção na urina, apresentando ajuste insatisfatório. Os modelos matemáticos selecionados para previsão da excreção de nitrogênio no leite e nas fezes, e a excreção de fósforo no leite, nas fezes e na urina de vacas leiteiras, podem ser utilizados para o estudo da eficiência de utilização e excreção de nitrogênio e fósforo em sistemas de produção de leite no Brasil.

1. INTRODUÇÃO

A moderna pecuária leiteira demanda a aplicação de novas tecnologias nos sistemas de produção, cria a necessidade de aumentar o fluxo de insumos no processo produtivo e criação dos animais em áreas cada vez menores. Em tal cenário, o uso desordenado e ineficiente dos fatores de produção pode comprometer seriamente a sustentabilidade dos sistemas, o que aumenta a produção de dejetos e a excreção de nutrientes para o meio ambiente que, originalmente, não possuía em seus estoques os nutrientes advindos da intensificação do processo produtivo.

Em diversos países considerados evoluídos na área de pecuária leiteira, tem sido observados esforços no sentido de desenvolver ações relacionadas à manutenção da sustentabilidade dos sistemas, redução da poluição por dejetos e emissões de gases de efeito estufa, resultando em acordos internacionais como o Protocolo de Quioto e o acordo de Copenhague, que têm como um dos objetivos reduzir as emissões de poluentes oriundos de sistemas agropecuários. Nesse sentido, pressões ambientais indicam a necessidade de redução da excreção de alguns nutrientes, principalmente o nitrogênio (N) e o fósforo (P), que em geral, ocorrem em sistemas de produção que intensificam o uso de concentrados energéticos e protéicos.

O nitrogênio (N) e o fósforo (P) são os poluentes mais preocupantes em águas de superfície, subterrâneas e solo, contaminando o ecossistema através do acúmulo de nitrato e a eutrofização (Nennich *et al.*, 2005; Hristov *et al.*, 2006; Kebreab, *et al.*, 2010).

Os sistemas de produção de leite, segundo Castilho *et al.* (2000), possuem alto potencial de poluição ambiental, pois são responsáveis pela maior parte das perdas de nutrientes nas fezes e urina, classificando-os como grandes emissores de nutrientes para o meio ambiente, principalmente o N e o P

Segundo pesquisas (Rotz, 2004; Linn *et al.*, 2007; Broderick, 2003), de 20 a 30% de todo o N consumido é retido no leite na forma de proteína, e o restante (entre 70 a 80%) é perdido na forma de efluentes sólidos e líquidos nas fezes e urina. No entanto, a retenção de P no leite é maior nos sistemas mais intensivos de produção leiteira, atingindo valores próximos de 45%, o restante (55%) é perdido via urina e fezes (Hanigan e Knowlton, 2010).

Aumentar a eficiência do uso de N e P pelos ruminantes, levando a menor excreção, está se tornando uma indispensável exigência ambiental. Com este intuito,

vários trabalhos vêm sendo realizados visando à previsão da excreção destes nutrientes por bovinos leiteiros (Wilkerson et al., 1997; Castilho *et al.*, 2001; Wu, et. al., 2001; Knowlton *et al.*, 2001; Jonker *et. al.*, 2002; Valk *et al.*, 2002; Weiss e Wyatt, 2004; Nennich *et al.*, 2005; VanderHarr e St. Pierre, 2006).

No Brasil, estudos relacionados aos sistemas de produção de leite com ênfase na excreção de nutrientes são escassos, e muitas vezes as avaliações são parciais ou equivocadas do verdadeiro impacto da atividade leiteira sobre o meio ambiente. Existe ausência de informações que quantifiquem adequadamente o consumo, a retenção e a excreção destes nutrientes no rebanho leiteiro brasileiro. No entanto este tipo de estudo se mostra promissor, em vista da necessidade de prever impactos ambientais, uma vez que parte da poluição ambiental é proveniente das produções agrícolas intensivas, como em alguns sistemas de produção de bovinos leiteiros.

A utilização de modelos matemáticos neste tipo de estudo se torna uma importante ferramenta, tanto para o gerenciamento de propriedades, já que podem auxiliar os administradores e técnicos extensionistas na tomada de decisão, quanto para pesquisa, pois podem ser usados para auxiliar a identificação de áreas prioritárias para investigação científica, onde ocorram lacunas de conhecimento.

Um modelo matemático pode ser definido como uma equação ou um conjunto de equações que representam o comportamento de um sistema (Thornley e France, 2007), ou então por representações mentais simplificadas da realidade, objetivando apresentar as principais características relevantes para compreensão de seu comportamento e para solução de problemas (Barioni *et al.*, 2002). Desta maneira, a excreção de nutrientes por bovinos leiteiros pode ser estudada e quantificada por meio de modelos matemáticos, uma vez que irão representar parte de um todo, ou de um sistema.

Nesse sentido, objetivou-se com este trabalho avaliar modelos matemáticos, para excreção de nitrogênio e fósforo por vacas leiteiras utilizando dados coletados em sistemas de produção de leite na mesorregião da Zona da Mata e Campos das Vertentes situadas no Estado de Minas Gerais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados foram coletados em seis sistemas de produção de leite inseridos nas regiões da Zona da Mata e Campo das Vertentes, no Estado de Minas Gerais. Foram realizadas seis visitas técnicas com intervalo de 30 dias, perfazendo o período de julho a dezembro de 2009.

Para melhor entendimento e clareza na distinção dos sistemas de produção estudados, foi adotada uma nomenclatura no sentido de identificar os sistemas, como sistemas A, B, C, D, E e F.

Os rebanhos dos sistemas de produção de leite eram compostos predominantemente por animais entre os grupos genéticos $7/8$ HZ e puros por origem, com número de vacas lactantes variando entre 40 a 65 animais, com produção média de 21 a 28 L/vaca/dia.

O sistema de ordenha utilizado era do tipo espinha de peixe ou túnel, compostos de quatro a seis conjuntos de teteiras, e acoplados com copo coletor para medição da produção leiteira. A ordenha era realizada duas vezes ao dia, e o controle leiteiro efetuado em um intervalo mínimo de 15 dias.

Os seis sistemas de produção foram classificados como sistemas intensivos em confinamento, onde os animais recebiam a dieta completa no cocho de alimentação. No entanto, no sistema A, parte da alimentação volumosa era à base de pasto, e o restante fornecido no cocho de alimentação.

O balanceamento das dietas era realizado, em um intervalo máximo de 45 dias, conforme as exigências nutricionais de cada lote de produção, levando em consideração a média de produção dos lotes.

As dietas oferecidas aos animais apresentavam ingredientes diversificados em sua composição e que variavam em função do lote de produção, sendo compostas por volumosos como silagem de milho, silagem de capim elefante, cana-de-açúcar e capim elefante picado, e pasto de *Panicum maximum* cv. Mombaça; e concentrados como milho moído, farelo de soja, farelo de algodão, sorgo moído, polpa cítrica, torta de algodão, caroço de algodão, e mistura mineral.

Foram coletadas amostras dos ingredientes das dietas, armazenadas em sacos plásticos e refrigeradas em caixas térmicas a aproximadamente 5°C. Após o retorno de cada visita técnica estas amostras foram pré-secas em estufa de circulação forçada de ar a 55°C por 72 horas e moídas em moinhos tipo “Willey”. Posteriormente foram

determinados os teores de matéria seca (MS) e proteína bruta (PB) segundo a metodologia descrita pela *American of Official Analytical Chemists* (AOAC, 1990), e fósforo (P) segundo Braga e Defelipo (1974).

O consumo de matéria seca (CMS) foi expresso pelo quociente entre a quantidade de alimento (kg/dia) fornecido para cada lote de produção dividido pela quantidade de vacas lactantes existentes no lote; os consumos de nitrogênio (CN) e fósforo (CP) foram calculados multiplicando-se a porcentagem de nitrogênio (N) e fósforo (P) na dieta pelo CMS .

O número de animais amostrados foi de acordo com o número de lotes em cada sistema de produção. Para cada lote de produção foram coletados: dados relativos ao peso vivo, número de vacas em lactação, produção de leite, quantidade e composição da dieta oferecida por lote; e em cada lote foram coletadas, aleatoriamente, três amostras de fezes, urina e leite.

A mensuração do peso vivo foi realizada através de fita barimétrica, e a produção de leite obtida pelo controle leiteiro realizado por cada sistema de produção.

As amostras de fezes e urina foram coletadas quando os animais encontravam-se na sala de espera, antes da ordenha, por defecação e micção espontânea, o que levou a coleta de fezes não ser necessariamente realizada no mesmo animal que foi coletada a amostra de urina. Caso não houvesse o total de três amostras de fezes e urina, então era realizada a coleta através de estimulação retal ou vaginal.

Na coleta de fezes por defecação espontânea, as amostras foram coletadas antes de caírem no solo e acondicionadas em sacos plásticos. Essas amostras foram refrigeradas em caixas térmicas a aproximadamente 5°C, e após o retorno de cada visita técnica foram pré-secas em estufa de circulação forçada de ar a 55°C por 72 horas e moídas em moinhos tipo “Willey”. Posteriormente foram determinados os teores de matéria seca (MS) e proteína bruta (PB) (AOAC, 1990), e fósforo (Braga e Defelipo, 1974).

A excreção de matéria seca fecal foi estimada para cada animal através do modelo matemático descrito por Nennich *et al.* (2005) (1).

$$EMS_f = CMS * 0,356 + 0,80 \quad (1)$$

Onde: EMS_f (kg/dia) = excreção de matéria seca fecal;
 CMS (kg/dia) = consumo de matéria seca.

As excreções fecais de N e P foram determinadas multiplicando-se a produção fecal (g/dia) pela porcentagem de N e P presentes nas fezes.

Também foi estimada a produção de dejetos para cada animal utilizando o modelo matemático descrito por Nennich *et al.* (2005). Nesse modelo, a excreção de dejetos é considerada como a quantidade de fezes e urina excretada por vacas em lactação (2).

$$PD = CMS * 2,63 + 9,4 \quad (2)$$

Onde:

PD (kg/dia) = produção de dejetos.

As amostras de urina por micção espontânea ou estimulação vaginal, foram coletadas em recipientes plásticos de aproximadamente 250 mL. Depois de serem homogeneizadas e filtradas, foram obtidas alíquotas de 40 mL de urina, armazenadas em potes plásticos e refrigeradas em caixas térmicas a aproximadamente 5°C, e após o retorno de cada visita técnica estas amostras eram congeladas a -15°C. Posteriormente foram realizadas as análises para determinação do nitrogênio total (AOAC,1990), fósforo (Braga e Defelipo, 1974), e análise de creatinina seguindo o método diacetil modificado, com uso de picrato e acidificante por *kits* comercial (Labtest Diagnostica S.A.).

O volume urinário total foi estimado multiplicando-se o peso vivo (PV) pela excreção diária de creatinina (mg/kg de PV) e dividindo esse produto pela concentração de creatinina (mg/L) na amostra de urina conforme Fujihara *et al.* (1987).

A excreção urinária de N e P foi determinada multiplicando-se o volume urinário (L/dia) pela porcentagem de N e P presentes na urina.

As amostras de leite foram coletadas somente de uma ordenha do dia. Foram obtidas alíquotas de 20 mL de leite retiradas do copo coletor acoplado ao sistema de ordenha, acondicionadas em frascos plástico contendo conservante 2-bromo-2-nitropropano-1,3 diol (Bronopol®) e mantidos sob refrigeração a aproximadamente 5°C. Posteriormente foram realizadas análises de composição, nitrogênio ureico do leite (NUL) e fósforo. Na análise da composição do leite foram estimados os teores de proteína, gordura, lactose e extrato seco total pelo método de espectrometria de infravermelho através do analisador Bentley 2000 (*Bentley Instruments*). Para a análise do nitrogênio ureico do leite (NUL), foi utilizada a metodologia descrita por Oliveira *et.*

al. (2001) onde o leite foi desproteínizado com ácido tricloroacético a 25% (10 mL de leite misturados com 5 mL de ácido tricloroacético a 25%) e filtrado em papel-filtro quantitativo. O filtrado foi armazenado a -15°C para determinação da uréia por *kits* comercial (*kits* UREA CE - Labtest Diagnóstica S.A.). Para a determinação do fósforo no leite, foi utilizada a metodologia descrita por Braga e Defelipo (1974).

A excreção de N no leite foi calculada a partir dos valores de proteína do leite obtidos na análise de composição, e o P excretado no leite foi determinado multiplicando-se a produção de leite (L/dia) pela sua porcentagem no leite.

2.1. Modelos

Os modelos adotados nas comparações foram selecionados após a análise exploratória dos dados, através de gráficos de dispersão e testes de correlação, e avaliação do comportamento entre as variáveis respostas e variáveis preditoras, levando em consideração o realismo biológico do modelo.

Um modelo apenas com o intercepto ($y = \beta_1 + e$) também foi incluído para servir como base para comparação conforme Burnham *et al.* (2011). Após a seleção, alguns modelos foram excluídos da comparação, fato que ocorreu devido a não convergência do modelo no ajuste ou pela baixa qualidade de ajuste, a qual foi verificada pela raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) e pela análise gráfica dos resíduos do modelo.

A variável explicativa adotada para a modelagem da excreção de nitrogênio foi o consumo total de nitrogênio (CN), e para a modelagem da excreção de fósforo foi o consumo total de fósforo (CP) em g/dia. Estas variáveis foram as variáveis explicativas que melhor caracterizaram o comportamento das variáveis respostas. O CN e o CP também foram utilizados como variáveis explicativas por diversos autores (Jonker, *et al.*, 1998; Castilho *et al.*, 2000; Kebreab *et al.*, 2001; Arriaga *et al.*, 2009) que trabalharam com modelos de excreção de nutrientes.

Além disso, o CN e CP são, segundo Jonker *et al.* (1998) e Wu *et al.* (2001) variáveis que predizem melhor a excreção de N e P do que a porcentagem de proteína bruta (PB) e P contidos na dieta. O CN e CP são de fácil mensuração, o que facilitaria a utilização destes modelos por pesquisadores, extensionistas, administradores e produtores de bovinos de leite.

Para modelar a excreção de nitrogênio no leite (EN_L), excreção de nitrogênio nas fezes (EN_F) e excreção de fósforo no leite (EP_L) foram utilizados treze modelos na comparação. Para excreção de fósforo na urina (EP_U) foram utilizados oito modelos. Já para excreção de fósforo nas fezes (EP_F) foram sete modelos. E apenas três modelos para excreção de nitrogênio na urina (EN_U). Muitos modelos foram utilizados para modelar mais de uma variável resposta, totalizando dezessete modelos diferentes empregados nesse estudo (tabela 1).

Os modelos Linear Quadrático, Linear Simples e o Intercepto são os representantes da classe de modelos lineares. Os demais modelos são de regressão não linear.

Os modelos Assintótico, Michaelis-Menten, Exponencial Modificado, Associação Exponencial 2 e 3 parâmetros são modelos de crescimento monotônicos, que são caracterizados por um crescimento monotônico a partir de um valor fixo até uma assíntota. Esses modelos possuem interpretação biológica dos parâmetros. O parâmetro β_1 desses modelos representa a assíntota quando $x \rightarrow +\infty$, ou seja, o máximo valor teórico de $y(x)$. O parâmetro β_2 do modelo Michaelis-Menten é igual ao valor de x correspondente à metade de $y(x)$ máximo teórico, ou seja, o valor de x correspondente $\beta_1/2$. Esta estimativa é muito utilizada em cinética enzimática, sendo conhecida como tempo de “meia-vida”. Essa estimativa também pode ser obtida de forma indireta nos outros modelos. O tempo de “meia-vida” para os modelos Associação Exponencial 2 e 3 parâmetros pode ser obtido por $\ln(2)/\beta_2$ e $\ln(2)/\beta_3$ respectivamente. Já para o Assintótico basta calcular $\ln(2)/\exp(-\beta_3)$. O β_2 do Assintótico corresponde ao valor de y quando x é igual à zero, similar ao intercepto da regressão linear simples.

Os modelos de Gompertz, Morgan-Mercer-Flodin, Weibull, Logístico 3 e 4 parâmetros são modelos de crescimento sigmoidal (forma de “S”). Estas curvas iniciam em um ponto fixo e depois aumentam a taxa de crescimento monotônico até chegar a um ponto de inflexão. Depois disso, a taxa de crescimento se aproxima de um valor final assintoticamente (assíntota). O parâmetro β_3 do modelo de Morgan-Mercer-Flodin representa a assíntota quando $x \rightarrow +\infty$, ou seja, o máximo valor teórico de $y(x)$. Já para o modelo Logístico 4p a assíntota é representada pelo β_3 , para os demais modelos a assíntota é representada por β_1 . O parâmetro β_4 está relacionado com a taxa de crescimento médio de $y(x)$ dos modelos Logísticos 4 parâmetros Morgan-Mercer-

Flodin, para o Logístico 3 parâmetros essa taxa é representada por β_3 . O parâmetro β_1 do modelo Logístico de 4 parâmetros representa a assíntota quando $x \rightarrow -\infty$, ou seja, o mínimo valor teórico de $y(x)$, e o β_3 representa o valor médio entre as duas assíntotas (β_1, β_2). O parâmetro β_2 do Logístico 3 parâmetros representa o tempo de “meia-vida”, ou seja, o valor de x correspondente $\beta_1/2$, para o Morgan-Mercer-Flodin essa estimativa pode ser obtida por β_2^{1/β_4} . Os parâmetros β_2 e β_4 representam a alteração da assíntota ao intercepto de y e a potência em que x é incrementada respectivamente no modelo de Weibull.

Os modelos Exponencial 2 e 3 parâmetros são representantes da classe de modelos exponencial. Os modelos Racional e Harris são flexíveis e se ajustam a diferentes tendências de crescimento, inclusive a exponencial. Esses quatro modelos junto com os três lineares foram utilizados para tentar modelar a variável resposta EP_F .

Para as variáveis EN_L, EN_F, EP_L , foram utilizados os modelos Int, LS, LQ, EM, MM, AE2, AE3, Ass, L3, L4, Gom, Wei e MMF. Já para a EP_U , foram utilizados os modelos Int, LS, LQ, EM, MM, AE3, L3 e MMF. E por fim, para a EN_U , foram utilizados apenas os modelos lineares.

Tabela 1: Modelos avaliados.

Sigla	Modelo
1 Int	$y = \beta_1 + e$
2 LS	$y = \beta_1 * x + \beta_2 + e$
3 LQ	$y = \beta_1 * x^2 + \beta_2 * x + \beta_3 + e$
4 EM	$y = \beta_1 * \exp(\beta_2/x) + e$
5 MM	$y = \beta_1 * x/(\beta_2 + x) + e$
6 AE3	$y = \beta_1 * (b - \exp(-\beta_2 * x)) + e$
7 AE2	$y = \beta_1 * (1 - \exp(-\beta_2 * x)) + e$
8 Ass	$y = \beta_1 + (\beta_2 - \beta_1) * \exp(-\exp(\beta_3) * x) + e$
9 L3p	$y = \beta_1 / (1 + \exp((\beta_2 - x)/\beta_3)) + e$
10 Gom	$y = \beta_1 * \exp(-\beta_2 * \beta_3^x) + e$
11 L4p	$y = \beta_1 + (\beta_2 - \beta_1) / (1 + \exp((\beta_3 - x)/\beta_4)) + e$
12 MMF	$y = (\beta_1 * \beta_2 + \beta_3 * x^{\beta_4}) / (\beta_2 + x^{\beta_4}) + e$
13 Wei	$y = \beta_1 - \beta_2 * \exp(-\exp(\beta_3) * x^{\beta_4}) + e$
14 Exp2	$y = \beta_1 * \exp(x * \beta_2) + e$
15 Exp3	$y = \beta_1 + \beta_2 * \exp(x/\beta_3) + e$
16 Har	$y = 1/(\beta_1 + \beta_2 * x^{\beta_3}) + e$
17 Rac	$y = (\beta_1 + \beta_2 * x) / (1 + \beta_3 * x + \beta_4 * x^2) + e$

$y = EN_L, EN_F, EN_U, EP_L, EP_F$ ou EN_U ; $x = CN$ ou CP ; $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ = parâmetros do modelo; Int = Intercepto; LS = Linear Simples; LQ = Linear Quadrático; EM = Exponencial Modificado, MM = Michaelis-Menten [Michaelis & Menten (1913)]; AE2 = Associação Exponencial 2 parâmetro, [Hyams (1997)]; AE3 = Associação Exponencial 3 parâmetro, [Hyams (1997)]; Ass = Assintótico [Pinheiro & Bates (2000)]; L3p = Logístico 3 parâmetros [Verhulst (1845)]; Gom = Gompertz [Gompertz (1825)]; L4p = Logístico 4 parâmetros [Pinheiro & Bates (2000)]; MMF = Morgan-Mercer-Flodin [MORGAN et al (1975)]; Wei = Weibull [Ratkowsky (1983)]; Har = Harris [Harris (1951)]; Rac = Racional [Hyams (1997)].

2.2. Avaliação dos modelos e procedimentos estatísticos

Os modelos foram avaliados baseando-se na informação de Kullback-Leibler (K-L). A K-L representa a informação perdida quando um modelo g_i é usado para representar um fenômeno real f , ou seja, a “distância” entre o modelo g_i e a realidade (Burnham e Anderson, 2002; Burnham e Anderson, 2004). Porém o fenômeno real f pode ser não conhecido na prática, o que impossibilitaria o uso dessa informação. Entretanto, Akaike, (1974), demonstra uma relação formal entre K-L e a teoria da verossimilhança e propõe o Critério de Informação de Akaike (AIC) (3) que fornece uma medida quantitativa relativa de força de evidência para cada modelo. Ao invés de avaliar a “distância” de cada modelo g em relação à f , avalia-se a “distância” entre o melhor modelo g e os demais.

$$AIC = 2 * k - 2 * \ln(L) \quad (3)$$

Em que:

k é o número de parâmetros do modelo, incluindo o intercepto e a variância ($\hat{\sigma}$);
 \ln é o logaritmo neperiano; e L é o maximizado valor da função de verossimilhança.

A estimativa de AIC só é válida assintoticamente, ou seja, para grandes amostras. Para amostras menores é necessário fazer correções no critério, como as encontradas no Critério de Informação de Akaike corrigido (AICc) (4) proposto por Hurvich & Tsai (1989). Esse método apresenta uma correção para amostras de tamanho finito e à medida que o número de amostras aumenta o AICc converge para o AIC. Esses autores recomendam usar o AICc principalmente em modelos de regressão não-linear e modelos auto-regressivos.

$$AICc = AIC + \frac{2 * k * (k + 1)}{n - k - 1} \quad (4)$$

Em que:

k é o número de parâmetros do modelo, incluindo o intercepto e a variância ($\hat{\sigma}$);
 n é tamanho da amostra.

No caso de regressão por mínimos quadrados ou análise de variância, tem-se:

$$\ln(L) = -\left(\frac{n}{2}\right) * \ln\left(\frac{RSS}{n}\right) \quad (5)$$

Desse modo:

$$AICc = n * \ln\left(\frac{RSS}{n}\right) + 2 * k + \frac{2 * k * (k + 1)}{n - k - 1} \quad (6)$$

Em que:

k é o número de parâmetros do modelo, incluindo o intercepto e a variância ($\hat{\sigma}$);
 \ln é o logaritmo neperiano; L é o maximizado valor da função de verossimilhança;
 n é tamanho da amostra; e RSS é a soma de quadrado do resíduo do modelo ajustado.

Para auxiliar no processo inferencial algumas medidas derivadas do AICc foram calculadas. As diferenças entre os valores de AICc (Δ_i), os pesos de Akaike ou verossimilhança da probabilidade (W_i), e a relação entre a probabilidade relativa ou evidência da verossimilhança (ER_i).

$$\Delta_i = AICc_i - AICc_{min} \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, R \quad (7)$$

$$W_i = \frac{\exp(-\Delta_i/2)}{\sum_{i=1}^R \exp(-\Delta_i/2)} \quad (8)$$

$$ER_i = \frac{\max W_i}{W_i} \quad (9)$$

Também foi realizada a análise gráfica do comportamento das variáveis e tendência das curvas ajustadas através de gráficos de dispersão, e análise dos resíduos, apresentados na forma de histograma de frequência. Nos gráficos foram plotados os intervalos de confiança ao nível de 95% de probabilidade (IC 95%) e o intervalo de predição ao nível de 95% de probabilidade (IP 95%).

Para os ajustes dos modelos lineares foi utilizada a função *lm* (*Linear Models*) do pacote *Stats*. Já para o ajuste dos modelos não-lineares foi utilizada a função *nls LM* (*nonlinear least-squares by Levenberg-Marquardt algorithm*) do pacote *minpack.lm* (Timur *et al.* 2013). Essa função possui interface para o pacote *MINPACK* (Moré *et al.*, 1984), que utiliza uma implementação do algoritmo de Levenberg-Marquardt modificado para resolver o problema de mínimos quadrados não-lineares (Moré, 1978). Para o cálculo do AICc e suas medidas derivadas foi utilizado o pacote *AICcmodavg* (Mazerolle, 2013). Os pacotes *stats*, *minpack.lm* e *AICcmodavg* estão disponíveis no software R (R Development Core Team, 2013).

3. RESULTADOS

3.1. Descrição dos dados coletados nos sistemas de produção

O número de vacas em lactação variou de 40 a 65 animais (tabela 2), sendo o sistema B, C e F os que apresentaram o maior número de vacas ordenhadas. A produção de leite variou de 21,1 a 27,9 L/vaca/d e a produção por área de 17372,8 a 25662,4 L/ha/ano.

Os sistemas C, E, e F, apresentaram os maiores valores de produção média por animal, e os sistemas A, E e F apresentam os melhores indicadores de produtividade da terra.

A porcentagem de vacas em lactação por vacas do rebanho foi maior no sistema B, D e F, o que pode levar a consideração de que nos sistemas A, C e E, o manejo reprodutivo não está sendo eficiente, pois o número de vacas secas foi alto.

Ainda na tabela 2, observa-se que a área efetiva, apresenta-se na faixa de 31 à 43%. Ressalta-se que nesta estimativa não foi contabilizada a área de pastagem destinada a recria de animais. A área destinada a pastagem variou de 10 a 16 ha e a área destinada a produção, onde se tem o cultivo do milho para silagem e produção de grãos, e o cultivo de capim elefante para produção de silagem, variou de 7 a 13 ha. A taxa de lotação encontra-se entre 2,09 a 2,63 vacas/ha.

Nos sistemas de produção estudados, o sistema de criação, foi considerado como intensivo pois os animais recebem a dieta completa no cocho de alimentação após a ordenha e posteriormente são mantidos em pastagens manejadas. Todos os sistemas de produção possuem suas pastagens compostas por *Brachiária decumbens*, exceto o sistema de produção A, que além das pastagens de *Brachiária decumbens*, possui uma área de 5 ha de *Panicum maximum* cv. Mombaça.

Tabela 2. Composição do rebanho, área e índices de produtividade dos sistemas de produção.

Itens	Sistemas					
	A	B	C	D	E	F
Vacas Lactantes	58	65	60	56	40	63
Vacas Secas	28	18	21	14	19	12
Novilhas	91	75	39	62	40	44
Total do Rebanho	177	158	120	132	99	119
Área Total (ha)	52	90	90	62	50	57
Pastagem (ha)	13	16	15	12	10	15
Cultivo (ha)	9	15	13	10	7	10
Área Efetiva (%)	42,30	34,44	31,11	35,48	34,00	43,85
VL/Total Vacas (%)	67,44	78,31	74,07	80,00	67,80	84,00
VL/Total Rebanho (%)	32,77	41,14	50,00	42,42	40,40	52,94
Produção média (L/vaca/dia)	22,6	22,7	26,3	21,1	25,7	27,9
Produção/área (L/ha/ano)	21747,4	17372,8	20570,3	19603,8	22071,8	25662,4
Taxa Lotação (vacas/ha)	2,63	2,09	2,14	2,54	2,35	2,52

A principal fonte de alimento volumoso utilizada nos sistemas de produção A, B, C, D, e E foi a silagem de milho (tabela 3). Somente o sistema de produção F utiliza a silagem de capim elefante. No entanto, o sistema A além de utilizar a silagem de milho também utiliza capim mombaça na forma de pastejo, o sistema B capim elefante picado fornecido no cocho, e o sistema E capim elefante picado e cana-de-açúcar picada mais mistura de sulfato de amônio e uréia, na proporção 9:1.

Os sistemas de produção A e F, além do fornecimento de volumoso e ração concentrada, incluíam no cocho de alimentação farelo de milho e farelo de soja. Da mesma maneira, o sistema C incluía farelo de milho e polpa cítrica, o sistema D torta de algodão, e o sistema E caroço de algodão (tabela 3).

Em todos os sistemas de produção, a ração concentrada era composta por milho moído, farelo de soja, uréia e mistura mineral no entanto, o sistema de produção F além desses ingredientes, também utilizava polpa cítrica e grão de sorgo moído (tabela 4).

Os sistemas de produção B, D, E e F formulavam, dentro da propriedade, a ração concentrada fornecida aos animais, já os sistemas A e C utilizavam ração concentrada comercial.

Os ingredientes das rações concentradas eram adquiridos através de compra, no entanto, os sistemas de produção B e C produziam o milho utilizado na alimentação dos animais.

A relação volumoso:concentrado (Vol:Conc) variou de 58:42 a 38:62, (tabela 5) apresentando-se semelhantes nos sistemas de produção A, B, C e D. Os sistemas E e F apresentaram as maiores quantidades de concentrado fornecida aos animais, destacando-se o sistema F, com mais de 60% de concentrado. Essa alta relação deve-se as altas produções de leite dos animais nesses sistemas.

Tabela 3. Teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB) e fósforo (P) dos alimentos utilizados nos sistemas de produção.

Sistemas	Alimentos	Componentes (%)		
		MS	PB	P
A	Silagem de Milho	27,21	7,18	0,23
	Capim Mombaça	30,37	9,45	0,33
	Farelo de Milho	87,37	7,21	0,33
	Farelo de Soja	89,02	48,78	0,74
B	Silagem de Milho	31,06	8,22	0,23
	Capim Elefante	15,02	10,72	0,25
	Farelo de Milho	88,73	8,85	0,35
	Farelo de Soja	88,90	51,89	0,72
C	Silagem de Milho	31,22	7,61	0,22
	Polpa Cítrica	90,04	7,18	0,11
	Farelo de Milho	91,64	8,85	0,33
	Farelo de Soja	90,52	51,82	0,76
D	Silagem de Milho	29,71	8,74	0,25
	Torta de Algodão	93,26	30,70	1,06
	Farelo de Milho	87,99	9,11	0,32
	Farelo de Soja	89,48	49,41	0,70
E	Silagem de Milho	26,22	7,26	0,27
	Capim Elefante	14,95	8,67	0,27
	Cana-de-açúcar	24,85	5,44	0,16
	Farelo de Milho	86,75	8,29	0,25
	Farelo de Soja	89,11	50,29	0,68
	Caroço de Algodão	94,16	20,85	0,57
F	Silagem de Capim	20,16	10,48	0,35
	Polpa Cítrica	86,82	6,46	0,12
	Farelo de Milho	88,33	8,84	0,34
	Farelo de Soja	86,41	51,14	0,72
	Sorgo grão	87,29	9,63	0,28

Tabela 4. Ingredientes das rações concentradas.

Sistemas	Ingredientes	Kg MN¹
A	Ração Comercial	100
	Farelo de Milho	56
B	Farelo de Soja	37
	Uréia	2
	Mistura Mineral	2
C	Ração Comercial	100
D	Farelo de Milho	69
	Farelo de Soja	26
	Uréia	2
	Mistura Mineral	3
E	Farelo de Milho	64
	Farelo de Soja	32
	Uréia	2
	Mistura Mineral	2
F	Farelo de Milho	26
	Farelo de Soja	15
	Sorgo	30
	Polpa Cítrica	25
	Uréia	1
	Mistura Mineral	3

¹ MN= Matéria Natural

Tabela 5. Relação volumoso:concentrado (Vol:Con) e teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB) e fósforo (P) das rações concentradas.

Sistemas	Vol:Con	Componentes (%)		
		MS	PB	P
A	53:47	88,65	24,81	0,65
B	58:42	88,65	26,87	0,62
C	54:46	92,28	29,86	0,75
D	53:47	87,27	26,69	0,40
E	41:59	89,31	27,13	0,48
F	38:62	87,36	21,14	0,62

O consumo de matéria seca (CMS) variou entre 16,23 a 20,79 kg/d, correspondendo ao sistema A e F respectivamente (tabela 6). O que pode ser explicado pela produção de leite dos animais e consequentemente a relação vol:conc nesses dois sistemas.

O sistema de produção F apresentou o maior teor de PB da dieta e o sistema D o menor (tabela 6), uma vez que esses sistemas possuem a maior e menor produção/animal respectivamente.

O teor de P nas dietas foi elevado nos sistemas A, C, D, E e F, com destaque para os sistemas A e F (tabela 6). Isso pode ser explicado pela adição de farelo de milho, farelo de soja, polpa cítrica, torta de algodão e caroço de algodão no cocho de alimentação dos animais. Já o sistema B apresentou o menor teor de P na dieta, sendo o único onde não eram adicionados outros ingredientes no cocho além do volumoso e ração concentrada.

Tabela 6. Valores médios de consumos de matéria seca (CMS) e teores de proteína bruta (PB) e fósforo (P) das dietas.

Itens	Sistemas											
	A		B		C		D		E		F	
	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP
CMS (kg)	16,23	1,85	17,27	1,55	16,93	1,77	16,70	1,74	18,52	3,60	20,79	3,00
PB (%)	15,73	0,84	15,25	1,08	16,25	1,78	15,10	1,31	15,44	1,49	16,77	1,35
P (%)	0,49	0,03	0,38	0,03	0,43	0,03	0,46	0,09	0,48	0,06	0,49	0,06

\bar{X} = média; DP= desvio padrão.

As exigências nutricionais foram calculadas segundo o NRC (2001), e obtidas através das médias do peso vivo, produção de leite e porcentagem de gordura e proteína do leite das vacas em lactação em cada sistema de produção. De posse desses dados, foi elaborada a tabela 7, onde pode ser observado se as dietas fornecidas aos animais nos sistemas de produção estão suprindo os requerimentos nutricionais exigidos pelos animais.

Tabela 7. Valores médios de consumo de matéria seca (CMS), exigências nutricionais de proteína bruta (PB) e fósforo (P) segundo o NRC (2001), e a diferença (\neq) entre o balanceamento das rações e as exigências nutricionais nos sistemas de produção.

Itens	Sistemas											
	A		B		C		D		E		F	
	\bar{X}	\neq	\bar{X}	\neq	\bar{X}	\neq	\bar{X}	\neq	\bar{X}	\neq	\bar{X}	\neq
CMS (kg)	16,9	-0,67	16,9	0,37	17,0	-0,07	16,6	0,10	17,8	0,72	17,9	2,86
PB (%)	12,7	3,03	12,8	2,45	13,3	2,95	12,5	2,60	14,2	1,24	15,5	1,27
P (%)	0,32	0,17	0,32	0,06	0,33	0,1	0,30	0,16	0,35	0,13	0,37	0,12

Pode-se observar, que em todos os sistemas, o CMS e as exigências de PB e P estão sendo atendidas. No entanto, o balanceamento da PB e do P estão acima das

exigências recomendadas, o que representa perda de nitrogênio e fósforo por parte dos animais.

Deve-se considerar que, os valores apresentados nas tabelas 6 e 7, foram obtidos através das médias de peso vivo, produção de leite e porcentagem de gordura e proteína do leite das vacas em lactação. Esse fato, pode levar a consideração de que o fornecimento dos nutrientes acima das exigências, apresentados na tabela 7, possa não representar uma perda considerável por parte dos animais.

Os sistemas de produção A, D e E apresentaram as menores produções de dejetos (tabela 8), no entanto, esses sistemas possuem os menores números de vacas em lactação, uma vez que, nos cálculos para essa estimativa, levou-se em consideração o número de animais em lactação.

Os dejetos produzidos, pelas vacas em lactação, eram retirados uma vez ao dia, através de raspagem, e distribuído nas pastagens, capineiras, ou utilizados para outros fins dentro da propriedade.

Tabela 8. Produção de dejetos (PD) estimada nos sistemas de produção.

Itens	Sistemas					
	A	B	C	D	E	F
PD (ton/dia)	2,94	3,36	3,02	2,72	2,31	3,96

Somente o sistema B não possuía sistema de armazenamento de dejetos, e a quantidade produzida era escoada diretamente ao meio ambiente, ocasionando a perda de nutrientes. Esse fator, pode levar ao aumento do potencial de poluição desse sistema, uma vez que, no local de escoamento está havendo um depósito contínuo de nutrientes. O contrário, acontece nos outros sistemas, pois existe sistema de armazenamento de dejetos, que é distribuído nas pastagens, não havendo acúmulo em um só ponto da propriedade.

3.2. Excreção de nitrogênio na urina, nas fezes e no leite.

A média do consumo de nitrogênio (CN) variou de 405,85 a 562,77 g/d (tabela 9). Isso mostra que os sistemas de produção de leite estudados apresentaram CN menor do que os sistemas de produção utilizados para a realização de estudos relacionados a excreção de nitrogênio encontrados na literatura, que variam de 500 até 650 g/d.

A EN na urina apresentou as maiores médias nos sistemas E e F, e as menores nos sistema A e D. A EN nas fezes, apresentou o mesmo comportamento, apresentando a maior média no sistema F e as menores nos sistemas A e D (tabela 9).

A EN no leite, apresentou a maior média no sistema F e a menor no sistema D.

Analisando essas três excreções, podemos observar que houve um padrão entre os sistemas, e que as excreções de N aumentam com o aumento da ingestão de N.

Isso também pode ser observado, analisando-se a EN nos dejetos em relação ao CN (tabela 9), que variou de 61,10 a 63,32%. Dentro desta variação, a EN nas fezes representou a maior proporção, de 32,65 a 34,94%, e a EN na urina a menor, de 28,38 a 29,13%.

O nitrogênio ureico do leite (NUL) apresentou variações de 11,30 a 15,52% (tabela 9), correspondendo ao sistema D e F respectivamente, demonstrando, que o NUL apresenta o mesmo comportamento que a EN em relação ao CN.

A eficiência de utilização do nitrogênio (EUN) foi maior no sistema C e menor no sistema F (tabela 9), demonstrando que o aumento da EUN esta associado ao consumo de nitrogênio, e que o aumento da produção de leite nem sempre define o aumento da EUN.

Em ordem decrescente, as melhores EUN foram dos sistemas C, E, B, A, D e F.

Tabela 9. Valores médios de consumo, excreção e eficiência de utilização de nitrogênio nos sistemas de produção.

Item	Sistemas											
	A		B		C		D		E		F	
	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP
CN (g/dia)	409,90	60,42	421,83	52,00	442,46	76,14	405,85	69,23	452,46	96,66	562,77	111,67
EN (g/d)												
urina	119,42	37,88	122,78	42,30	125,90	50,47	116,91	56,35	130,64	39,66	159,71	28,49
fezes	137,57	33,13	138,67	23,87	144,48	22,63	137,02	20,54	148,06	36,97	196,65	39,75
leite	109,51	20,16	114,61	15,94	125,71	22,05	100,72	20,42	124,58	40,07	131,27	26,38
EN, % CN												
urina	29,13	-	29,10	-	28,45	-	28,80	-	28,87	-	28,38	-
fezes	33,56	-	32,87	-	32,65	-	33,76	-	32,72	-	34,94	-
Total dejetos	62,69	-	61,97	-	61,10	-	62,56	-	61,59	-	63,32	-
EUN (%)	26,71	-	27,16	-	28,40	-	24,82	-	27,53	-	23,33	-
NUL (mg/dl)	12,28	5,17	12,85	3,99	13,04	7,27	11,30	4,42	13,08	5,65	15,52	4,83

\bar{X} = média; DP= desvio padrão; CN= consumo de nitrogênio; EN= excreção de nitrogênio; EUN= eficiência de utilização de nitrogênio; NUL= nitrogênio ureico do leite;

Nos sistemas A, B, C e D, os maiores consumos de nitrogênio foram provenientes do volumoso, no entanto, nos sistemas E e F foram provenientes do concentrado (tabela 10).

O sistema C apresentou as menores quantidades de concentrado, proteína bruta e nitrogênio consumidos por litro de leite produzido, e o sistema F as maiores quantidades (tabela 11). Isso justifica a maior e a menor EUN do sistema C e F respectivamente.

Tabela 10. Quantidade de nitrogênio (N) consumido, proveniente do volumoso e do concentrado.

Sistemas	Volumoso	Concentrado
	g/d	
A	216,7	192,2
B	244,2	176,8
C	237,8	202,6
D	214,0	189,8
E	187,5	269,8
F	211,7	345,4

Tabela 11. Quantidades de concentrado, proteína bruta (PB) e nitrogênio (N) consumidos por litro (L) de leite produzido.

Sistemas	Concentrado	PB	N
	g/L		
A	336	113	18,1
B	322	116	18,5
C	297	105	16,7
D	365	119	19,1
E	424	111	17,8
F	466	125	20,0

Para a avaliação dos modelos de excreção de nitrogênio no leite, nas fezes e na urina, os modelos foram ranqueados (melhor → pior) de acordo com o AIC e suas medidas derivadas (tabela 12, 13 e 14).

De acordo com o AICc e suas medidas derivadas a classe de modelos mais adequada para representar a variável excreção de nitrogênio no leite é a sigmoidal (forma de “S”) (tabela 12). Os cinco primeiros modelos ranqueados por Δ fazem parte desta classe, e juntos representam 99% de probabilidade de verossimilhança (W) dos modelos comparados. Essa probabilidade pode ser interpretada como uma medida de força de evidência.

A escolha do modelo foi baseada na probabilidade de verossimilhança relativa (ER). Para a variável excreção de nitrogênio no leite, o modelo Morgan-Mercer-Flodin foi o selecionado, pois apresentou ER=1.

Tabela 12. AICc e suas medidas derivadas calculados para os modelos de excreção de nitrogênio no leite.

Modelos	K	AICc	Δ	W	ER	LL
Morgan-Mercer-Flodin	5	4069,948	0,000	0,340	1,000	-2029,91
Logístico3p	4	4070,453	0,505	0,264	1,287	-2031,19
Logístico4p	5	4070,793	0,845	0,223	1,526	-2030,33
Weibull	5	4071,587	1,639	0,150	2,269	-2030,73
Gompertz	4	4075,403	5,455	0,022	15,311	-2033,66
Linear-Quadrático	4	4081,627	11,679	0,001	339,900	-2036,77
Exponencial-Associação3p	4	4086,815	16,867	0,000	3399,000	-2039,37
Assintótico	4	4086,815	16,867	0,000	3399,000	-2039,37
Exponencial-Modificado	3	4088,860	18,912	0,000	Inf	-2041,41
Exponencial-Associação2p	3	4101,674	31,726	0,000	Inf	-2047,81
Michaelis-Menten	3	4103,521	33,573	0,000	Inf	-2048,74
Linear-Simples	3	4131,183	61,235	0,000	Inf	-2062,57
Intercepto	2	4728,532	658,584	0,000	Inf	-2365,27

K= número de parâmetros; LL= logaritmo de verossimilhança; Inf= sem informação.

Para a variável excreção de nitrogênio nas fezes, a classe de modelos mais adequada foi a de modelos de crescimento monotônicos, que são caracterizados por um crescimento monotônico a partir de um valor fixo até uma assíntota (tabela 13). Os dois primeiros modelos ranqueados por Δ fazem parte desta classe, e juntos representam aproximadamente 43% de probabilidade de verossimilhança (W) dos modelos comparados.

A escolha do modelo foi baseada na probabilidade de verossimilhança relativa (ER). Para a variável excreção de nitrogênio nas fezes, o modelo Exponencial-Associação2p foi selecionado, pois apresentou ER=1.

Embora o modelo Gompertz apresente maior valor de verossimilhança (menor quadrado médio do resíduo), esse modelo não foi selecionado, pois apresenta maior quantidade de parâmetros que o modelo selecionado, e o AICc penaliza o modelo devido a quantidade de parâmetros, buscando um modelo mais parcimonioso, ou seja, o modelo mais simples possível e que represente bem os dados.

Tabela 13. AICc e suas medidas derivadas calculados para os modelos de excreção de nitrogênio nas fezes.

Modelos	K	AICc	Δ	W	ER	LL
Exponencial-Associação2p	3	4527,190	0	0,217	1	-2260,57
Michaelis-Menten	3	4527,207	0,017	0,215	1,009	-2260,58
Gompertz	4	4528,609	1,419	0,106	2,034	-2260,26
Linear-Quadrático	4	4528,869	1,679	0,093	2,316	-2260,39
Exponencial-Associação3p	4	4529,033	1,843	0,086	2,513	-2260,48
Assintótico	4	4529,033	1,843	0,086	2,513	-2260,48
Logístico3p	4	4529,450	2,260	0,070	3,094	-2260,68
Morgan-Mercer-Flodin	5	4530,165	2,975	0,049	4,429	-2260,02
Weibull	5	4530,578	3,388	0,039	5,442	-2260,23
Logístico4p	5	4530,786	3,596	0,036	6,033	-2260,33
Linear-Simples	3	4537,259	10,069	0,001	154,714	-2265,6
Exponencial-Modificado	3	4540,188	12,998	0,001	722,000	-2267,07
Intercepto	2	4916,105	388,915	0	Inf	-2459,05

K= número de parâmetros; LL= logaritmo de verossimilhança; Inf= sem informação.

A excreção de nitrogênio na urina, apresentou a classe de modelos lineares como a mais adequada (tabela 14). O modelo selecionado para representar essa excreção foi o com apenas o intercepto, pois apresentou ER=1. A escolha desse modelo indica a inexistência de associação entre a variável explicativa e a variável resposta, demonstrando, que neste estudo a excreção de nitrogênio na urina não é explicada pelo consumo de nitrogênio.

Tabela 14. AICc e suas medidas derivadas calculados para os modelos de excreção de nitrogênio na urina.

Modelos	K	AICc	Δ	W	ER	LL
Intercepto	2	4980,002	0	0,975	1	-2491,00
Linear-Simples	3	4988,040	8,037	0,017	55,748	-2491,00
Linear-Quadrático	4	4989,921	9,918	0,007	143,470	-2490,92

K= número de parâmetros; LL= logaritmo de verossimilhança.

As estimativas dos parâmetros dos modelos selecionados (Morgan-Mercer-Flodin, Exponencial-Associação2p e Intercepto) e seus intervalos de confiança são apresentadas na tabela 15. Observa-se que o zero está fora do intervalo de confiança para a maioria das estimativas dos parâmetros. Somente o parâmetro B_2 do modelo Morgan-Mercer-Flodin contém o valor zero dentro do intervalo de confiança. Apesar desse parâmetro possuir elevado valor, pode-se dizer que é estatisticamente igual a zero,

contudo ainda é útil para o cálculo do valor do consumo de nitrogênio (CN) correspondente à metade da excreção de nitrogênio no leite (EN_L), ou seja, o valor de CN correspondente a $\beta_1/2$. (tempo de meia-vida). O cálculo é realizado por β_2^{1/β_4} , o que resulta em $CN_{0,5} = 179,2E + 9^{1/3,583} = 382,4434$.

Tabela 15. Estimativas dos parâmetros e intervalos de confiança de 95% para os modelos ajustados para excreção de nitrogênio.

Excreção	Parâmetro	Estimativa	Limite inferior	Limite superior
EN _L	B ₁	41,700	35,195	48,204
	B ₂	1,792E+9	-3,961E+9	7,545E+9
	B ₃	165,000	157,048	172,952
	B ₄	3,583	3,039	4,126
EN _F	B ₁	274,500	242,600	320,300
	B ₂	1,783E-3	1,404E-3	2,141E-3
EN _U	B ₁	116,063	112,257	119,869

EN_F= excreção de nitrogênio nas fezes; EN_L= excreção de nitrogênio no leite;EN_U= excreção de nitrogênio na urina.

Tabela 16. Modelos selecionados para excreção de nitrogênio.

Excreção	Modelo	Equação
EN _L	Morgan-Mercer-Flodin	$y = (\beta_1 * \beta_2 + \beta_3 * x^{\beta_4}) / (\beta_2 + x^{\beta_4}) + e$
EN _F	Exponencial Associação2p	$y = \beta_1 * (1 - \exp(-\beta_2 * x)) + e$
EN _U	Intercepto	$y = \beta_1 + e$

Na figura 1 é apresentado ajuste dos modelos utilizados para estimar a excreção de nitrogênio no leite (EN_L) e nas fezes (EN_F) de vacas leiteiras em função do consumo de nitrogênio (CN). Observa-se que a EN_F e a EN_L aumentam com o aumento do CN e tendem a se estabilizar.

O ajuste do modelo de excreção de nitrogênio na urina (EN_U) é apresentado na figura 2. Como pode ser observado, o modelo utilizado não se ajustou de forma satisfatória aos dados, esse fato pode ser explicado pela falta de resposta de EN_U em função do CN, porém outras variáveis testadas (ex: peso vivo do animal, NUL) também não apresentaram correlação com EN_U.

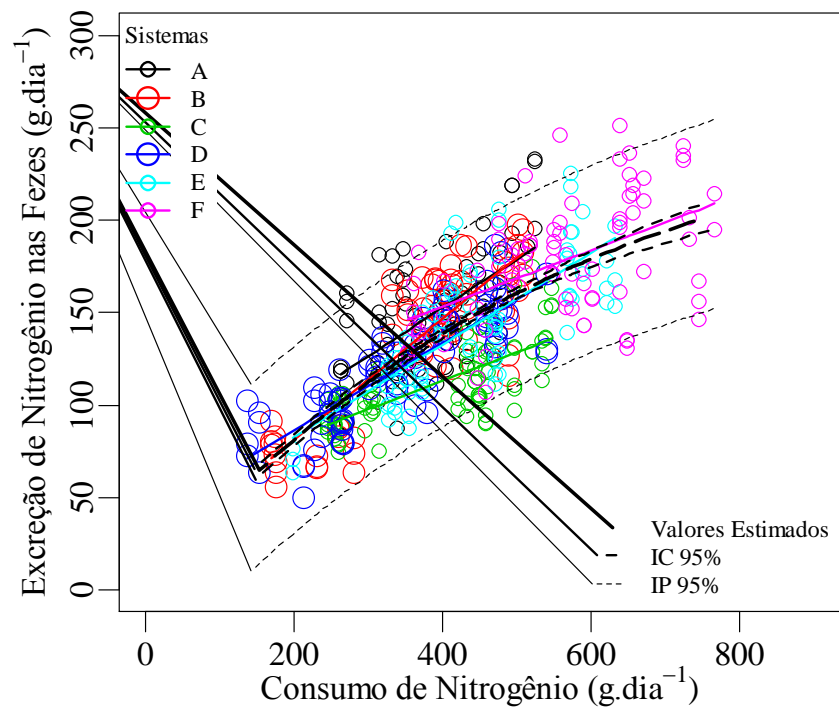
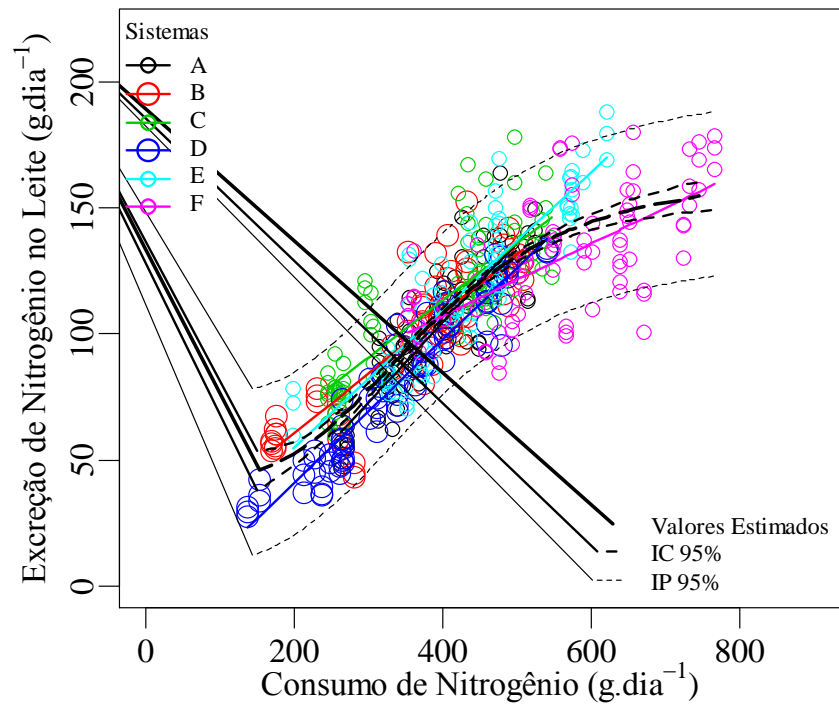


Figura 1. Ajuste dos modelos de excreção de nitrogênio no leite e nas fezes em função do consumo de nitrogênio.

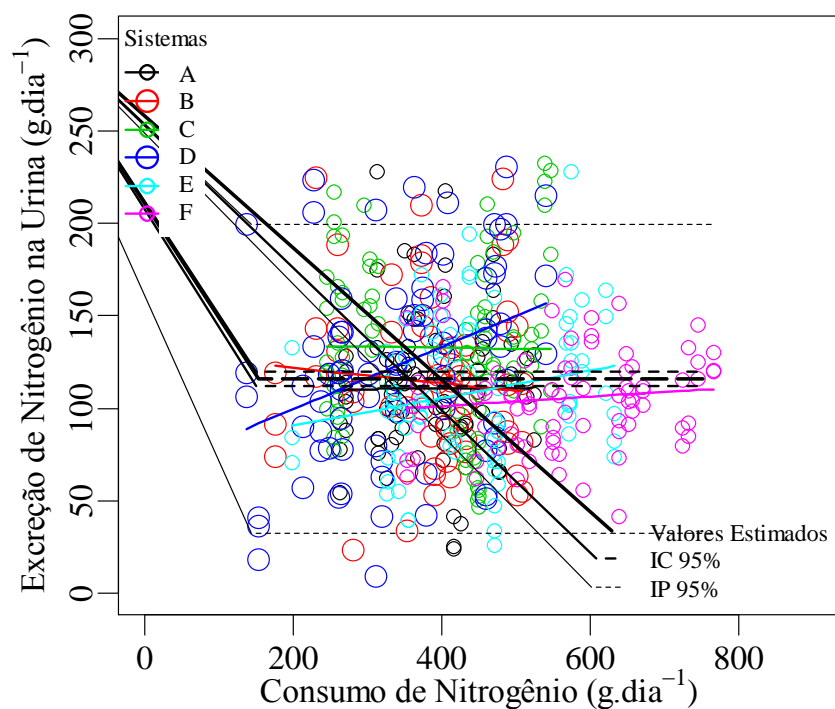


Figura 2. Ajuste do modelo de excreção de nitrogênio na urina em função do consumo de nitrogênio.

A análise gráfica dos resíduos dos modelos de EN_F , EN_L e EN_U é apresentada na figura 4. Pode-se observar que os resíduos dos três modelos de excreção de nitrogênio (EN_F , EN_L e EN_U) apresentam maior distribuição de frequência em torno de zero, aproximando-se da distribuição densidade de probabilidade normal. No entanto, a EN_U apresentou uma maior dispersão.

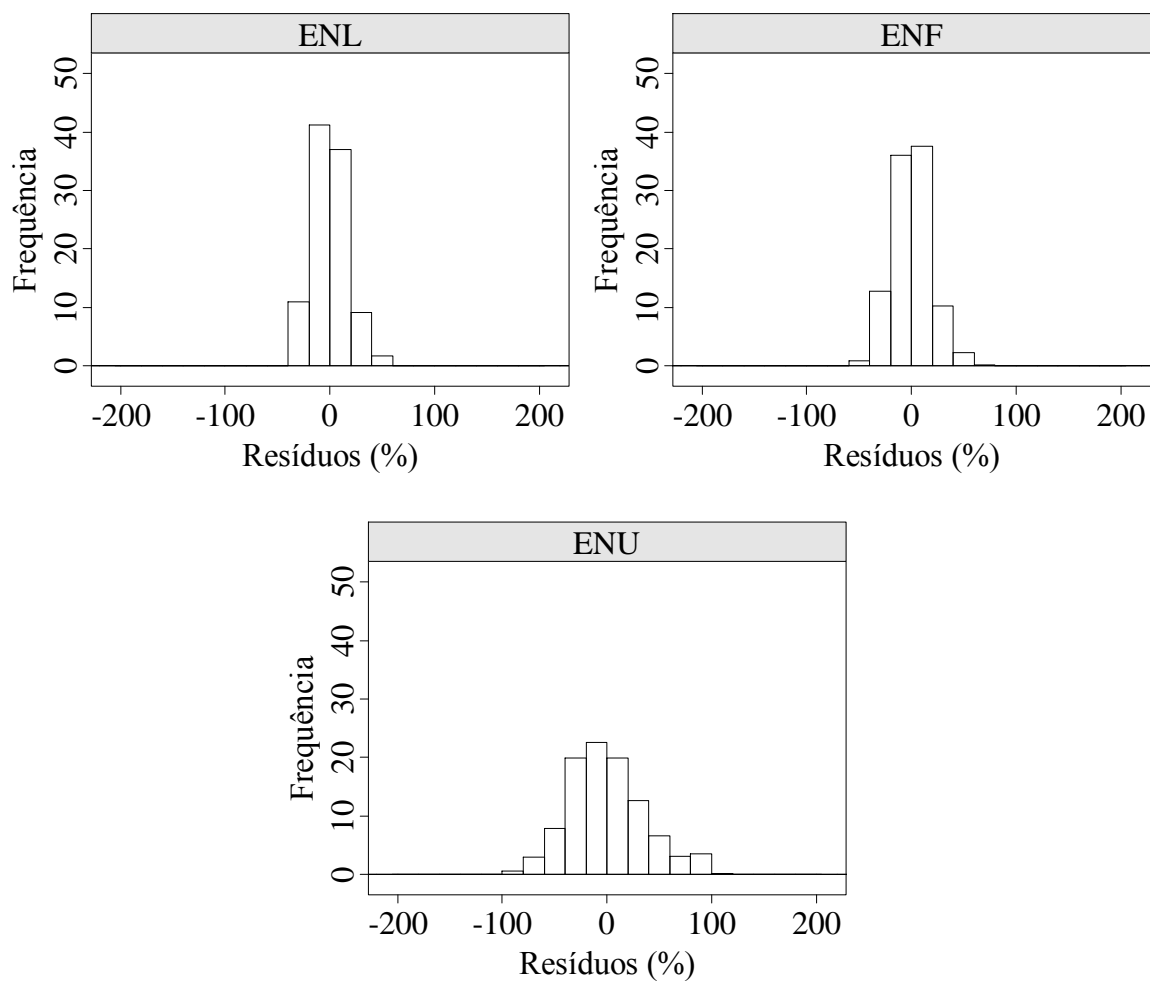


Figura 3. Análise gráfica dos resíduos dos modelos de excreção de nitrogênio nas fezes (ENF) no leite (ENL) e na urina (ENU).

3.3. Excreção de fósforo na urina, nas fezes e no leite

A média do consumo de fósforo (CP) nos sistemas de produção de leite variou de 65,82 a 102,34 g/d (tabela 17), valores que se assemelham aos dos sistemas de produção utilizados para a realização de estudos relacionados a excreção de fósforo encontrados na literatura.

A EP na urina, foi baixa em todos os sistemas de produção (tabela 17). O sistema E apresentou a maior média, e o sistema B a menor. Já a EP nas fezes foi alta, apresentando a maior média no sistema F e a menor no sistema B.

A EP no leite foi semelhante entre os sistemas, apresentando a maior média no sistema F e a menor nos sistemas B e D.

Analisando essas três excreções, observa-se que houve um padrão entre os sistemas, e que as excreções de P aumentaram com o aumento da ingestão de P.

Isso também pode ser observado, analisando-se a EP nos dejetos em relação ao CP, que variou de 56,48 a 64,63% (tabela 17). Dentro desta variação, a EP nas fezes representou a maior proporção, de 54,90 a 62,11%, e a EP na urina a menor, de 1,58 a 2,52%.

A eficiência de utilização do fósforo (EUP) foi maior no sistema C e menor no sistema F (tabela 17), demonstrando que o aumento da EUP esta associado ao consumo de fósforo, e que o aumento da produção de leite não define o aumento da EUN.

Em ordem decrescente, as melhores EUP foram dos sistemas C, B, A, E, F e D.

Nos sistemas A, B, C e D, os maiores consumos de fósforo foram provenientes do volumoso, no entanto, nos sistemas E e F foram provenientes do concentrado (tabela 18).

O sistema C apresentou as menores quantidades de concentrado e fósforo consumidos por litro de leite produzido, e o sistema F as maiores quantidades (tabela 19). Isso justifica a maior e a menor EUP do sistema C e F respectivamente.

Tabela 17. Valores médios de consumo, excreção e eficiência de utilização de fósforo nos sistemas de produção.

Item	Sistemas											
	A		B		C		D		E		F	
	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP
CP (g/dia)	79,40	10,72	65,82	8,06	73,26	46,91	77,36	18,23	88,21	25,37	102,34	20,66
EP (g/d)												
urina	1,39	0,90	1,04	1,69	1,16	1,79	1,24	3,62	2,01	5,02	2,58	2,72
fezes	45,13	12,06	36,17	10,93	40,39	9,08	43,11	11,54	54,17	24,78	63,56	27,40
leite	22,77	8,83	19,46	6,30	22,72	3,09	19,14	7,10	22,39	9,71	25,53	9,29
EP, % CN												
urina	1,75	-	1,58	-	1,58	-	1,60	-	2,28	-	2,52	-
fezes	56,83	-	54,90	-	55,13	-	55,72	-	61,41	-	62,11	-
Total dejetos	58,58	-	56,48	-	56,71	-	57,32	-	63,69	-	64,63	-
EUP (%)	28,68	-	29,56	-	31,01	-	24,74	-	25,38	-	24,95	-

\bar{X} = média; DP= desvio padrão; CP= consumo de fósforo; EP= excreção de fósforo; EUP= eficiência de utilização de fósforo.

Tabela 18. Quantidade de fósforo (P) consumido, proveniente do volumoso e do concentrado.

Sistemas	Volumoso	Concentrado
	(g/d)	
A	42,1	37,3
B	38,2	27,6
C	39,4	33,5
D	40,6	36,0
E	36,4	52,4
F	38,5	62,9

Tabela 19. Quantidades de concentrado e fósforo (P) consumidos por litro (L) de leite produzido.

Sistemas	Concentrado	P
	g/L	
A	336	3,5
B	322	2,9
C	297	2,8
D	365	3,6
E	424	3,4
F	466	3,6

Para a avaliação dos modelos de excreção de fósforo no leite, nas fezes e na urina, os modelos foram ranqueados (melhor → pior) de acordo com o AICc (Critério de Akaike corrigido) e suas medidas derivadas (tabela 20, 21 e 22).

De acordo com o AICc e suas medidas derivadas a classe de modelos mais adequada para representar a variável excreção de fósforo no leite é a sigmoidal (forma de “S”) (tabela 20). Os cinco primeiros modelos ranqueados por Δ fazem parte desta classe, e juntos representam 100% de probabilidade de verossimilhança (W) dos modelos comparados.

A escolha do modelo foi baseada na probabilidade de verossimilhança relativa (ER). Para a variável excreção de fósforo no leite, o modelo Weibull foi selecionado, pois apresentou ER=1.

Tabela 20. AICc e suas medidas derivadas calculados para os modelos de excreção de fósforo no leite.

Modelos	K	AICc	Δ	W	ER	LL
Weibull	5	3218,112	0	0,675	1	-1603,99
Logístico4p	5	3220,378	2,266	0,217	3,105	-1605,13
Logístico3p	4	3223,110	4,997	0,055	12,165	-1607,51
Morgan-Mercer-Flodin	5	3223,326	5,214	0,049	13,558	-1606,60
Gompertz	4	3229,607	11,495	0,002	306,909	-1610,76
Linear-Quadrático	4	3238,152	20,040	0	Inf	-1615,03
Exponencial-Modificado	3	3238,197	20,085	0	Inf	-1616,07
Exponencial-Associação3p	4	3245,008	26,896	0	Inf	-1618,46
Assintótico	4	3245,008	26,896	0	Inf	-1618,46
Exponencial-Associação2p	3	3256,555	38,443	0	Inf	-1625,25
Michaelis-Menten	3	3257,001	38,889	0	Inf	-1625,48
Linear-Simples	3	3263,636	45,524	0	Inf	-1628,79
Intercepto	2	3532,35	314,238	0	Inf	-1767,18

K= número de parâmetros; LL= logaritmo de verossimilhança; Inf= sem informação.

Para a variável excreção de fósforo nas fezes, a classe de modelos mais adequada foi a de modelos exponenciais, os modelos Racional e Harris são flexíveis e se ajustam a diferentes tendências de crescimento, inclusive a exponencial (tabela 21). Os quatro primeiros modelos ranqueados por Δ fazem parte desta classe, e juntos representam aproximadamente 89% de probabilidade de verossimilhança (W) dos modelos comparados.

A escolha do modelo foi baseada na probabilidade de verossimilhança relativa (ER). Para a variável excreção de fósforo nas fezes, o modelo Exponencial2p foi selecionado, pois apresentou ER=1.

Tabela 21. AICc e suas medidas derivadas calculados para os modelos de excreção de fósforo nas fezes.

Modelos	K	AICc	Δ	W	ER	LL
Exponencial2p	3	3858,669	0	0,468	1	-1926,31
Exponencial3p	4	3860,600	1,931	0,178	2,625	-1926,26
Racional	5	3861,298	2,628	0,125	3,721	-1925,59
Harris	4	3861,388	2,718	0,120	3,895	-1926,65
Linear-Quadrático	4	3861,647	2,977	0,105	4,429	-1926,78
Linear-Simples	3	3869,762	11,092	0,002	260,111	-1931,86
Intercepto	2	4129,445	270,776	0	Inf	-2065,72

K= número de parâmetros; LL= logaritmo de verossimilhança; Inf= sem informação.

Os modelos mais adequados para representar a variável excreção de fósforo na urina foi a sigmoideal (forma de “S”) (tabela 22). O modelo selecionado para representar essa excreção foi o Logístico3p, pois apresentou ER=1.

Tabela 22. AICc e suas medidas derivadas calculados para os modelos de excreção de fósforo na urina.

Modelos	K	AICc	Δ	W	ER	LL
Logístico3p	4	1355,648	0	0,385	1	-673,77
Linear-Quadrático	4	1357,022	1,374	0,193	1,988	-674,46
Linear-Simples	3	1357,188	1,540	0,178	2,159	-675,56
Exponencial-Associação3p	4	1357,723	2,075	0,136	2,822	-674,81
Michaelis-Menten	3	1358,541	2,893	0,090	4,248	-676,24
Exponencial-Modificado	3	1363,337	7,689	0,008	46,987	-678,64
Morgan-Mercer-Flodin	5	1363,662	8,014	0,007	55,042	-676,76
Intercepto	2	1372,562	16,910	0,0001	3853,000	-687,28

K= número de parâmetros; LL= logaritmo de verossimilhança.

As estimativas dos parâmetros dos modelos selecionados (Weibull, Exponencial3p e Logístico3p) e seus intervalos de confiança são apresentadas na tabela 23. Observa-se que o zero esta fora do intervalo de confiança para todas as estimativas dos parâmetros.

Tabela 23. Estimativas dos parâmetros e intervalos de confiança de 95% para os modelos ajustados para excreção de fósforo.

Excreção	Parâmetro	Estimativa	Limite inferior	Limite superior
EP_L	B_1	28,7809	27,3028	30,5908
	B_2	21,5827	18,3765	26,0563
	B_3	-16,4239	-22,5983	-11,6274
	B_4	3,8101	2,7147	5,2201
EP_F	B_1	22,43	20,5798	24,4121
	B_2	0,0096	0,008	0,0106
EP_U	B_1	2,8592	2,0647	4,8861
	B_2	72,7197	28,5875	183,9748
	B_3	63,0908	35,7618	135,9810

EP_F= excreção de fósforo nas fezes; EP_L= excreção de fósforo no leite; EP_U= excreção de fósforo na urina

Tabela 24. Modelos selecionados para excreção de fósforo.

Excreção	Modelo	Equação
EP_L	Weibull	$y = \beta_1 - \beta_2 * \exp(-\exp(\beta_3) * x^{\beta_4}) + e$
EP_F	Exponencial 2p	$y = \beta_1 * \exp(x * \beta_2) + e$
EP_U	Logístico 3p	$y = \beta_1 / (1 + \exp((\beta_2 - x) / \beta_3)) + e$

O ajuste dos modelos de excreção de fósforo nas fezes (EP_F) e no leite (EP_L) de vacas leiteiras em função do consumo de fósforo (CP) é apresentado na figura 4. Como pode-se observar a EP_F apresenta um comportamento exponencial em função do CP, ou seja, à medida que o CP aumenta, a EP_F aumenta exponencialmente. Já a EP_L aumenta com o aumento do consumo de fósforo (CP) e tendem a se estabilizar.

Na figura 5 é apresentado o ajuste do modelo de excreção de fósforo na urina (EP_U) de vacas leiteiras em função do consumo de fósforo (CP). Observa-se que este modelo não se ajustou adequadamente aos dados, no entanto, foi o modelo que melhor explicou a EP_U em função do CP.

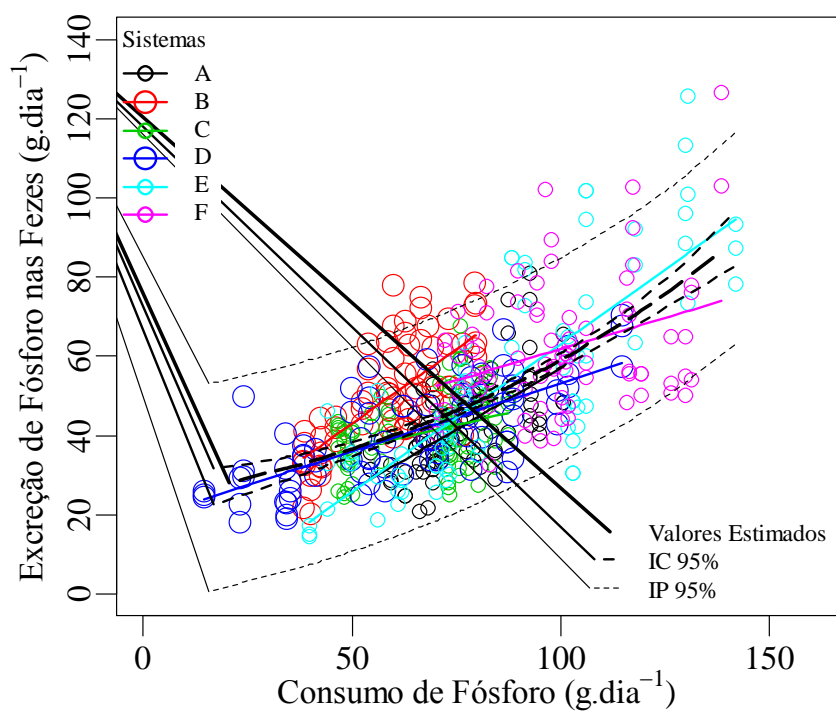
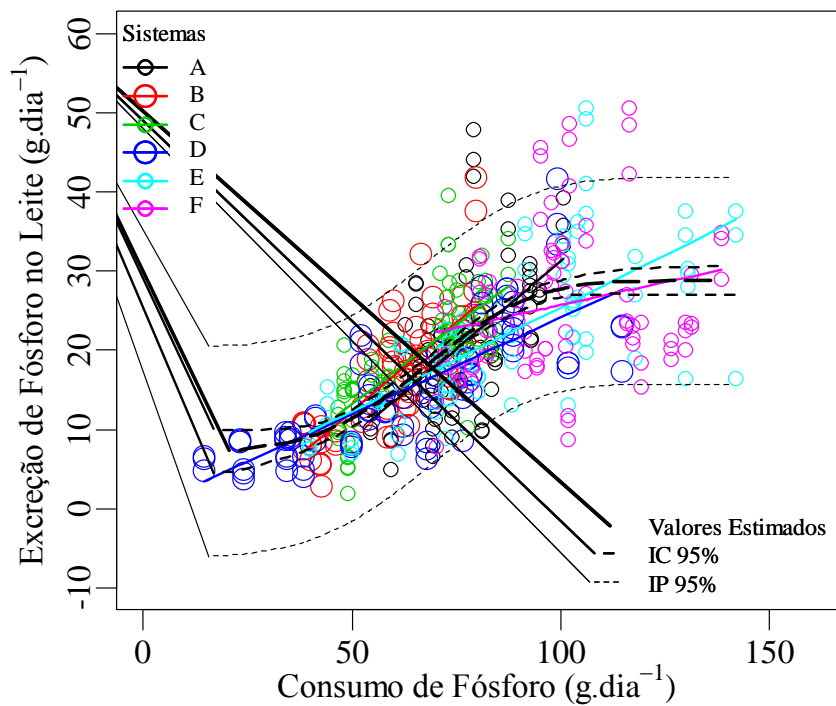


Figura 4. Ajuste dos modelos de excreção de fósforo no leite e nas fezes em função do consumo de fósforo.

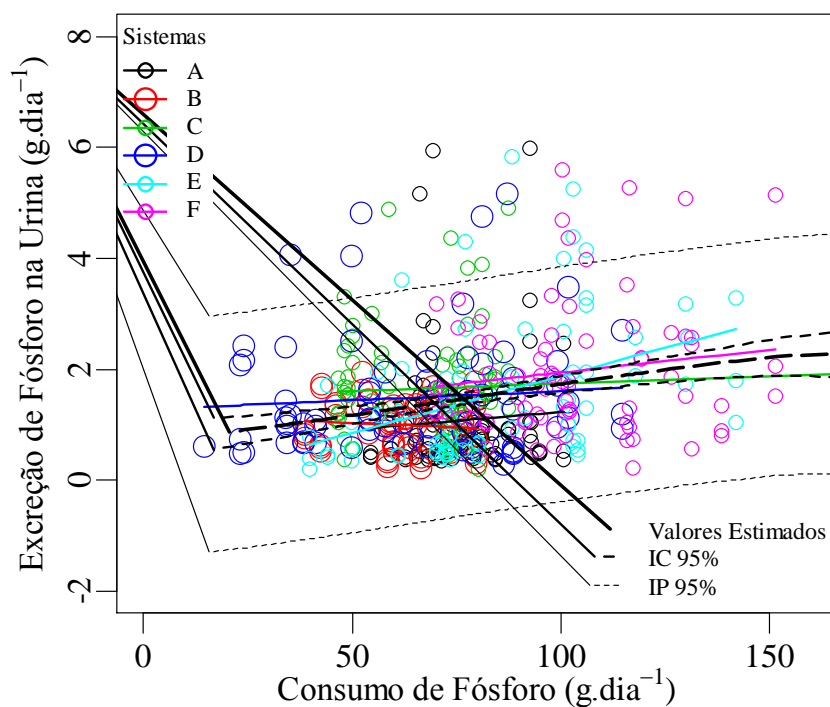


Figura 5. Ajuste dos modelos de excreção de fósforo na urina em função do consumo de fósforo.

A análise gráfica dos resíduos dos modelos de EP_F , EP_L e EP_U é apresentado na figura 6. Pode-se observar que, somente os resíduos da EP_U não apresentam distribuição de frequência de resíduos aproximadamente normal.

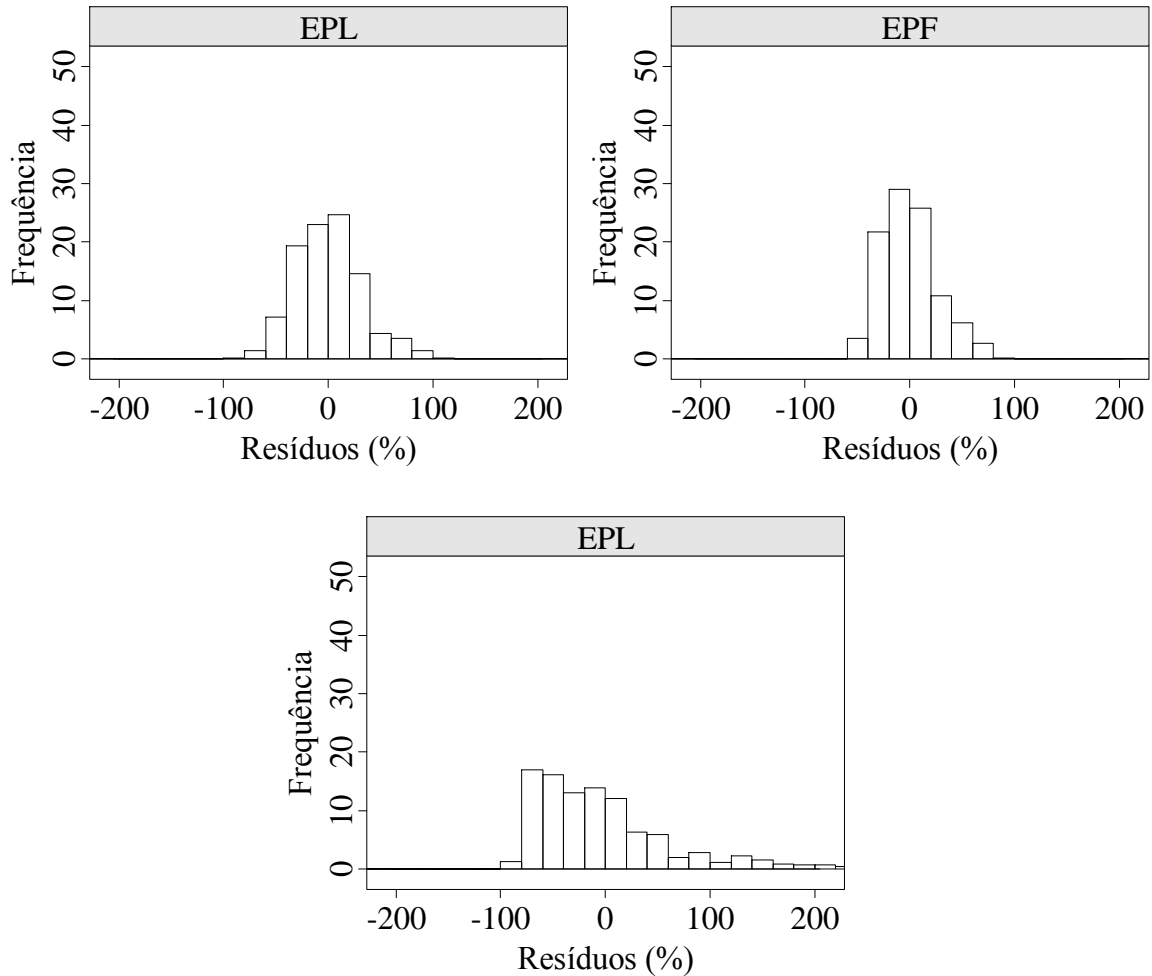


Figura 6. Análise gráfica dos resíduos dos modelos de excreção de fósforo no leite, nas fezes e na urina.

4. DISCUSSÃO

Em levantamento realizado no ano de 2008, a região do Campos das Vertentes apresentou uma produção de leite anual maior do que a região da Zona da Mata, no entanto, a Zona da Mata se destacou na produtividade anual (2094 l/vaca/d) em relação ao Campo das Vertentes (1585 l/vaca/d). Esta diferença deve-se ao maior número de vacas ordenhadas na região do Campos das Vertentes (Fonseca e Zoccal, 2009). Com isso, fazendo uma comparação, os seis sistemas de produção estudados destacam-se na produtividade, apresentando valores superiores aos encontrados na literatura para estas regiões.

Diante disto, os sistemas de produção de leite estudados, representam o perfil dos sistemas especializados na produção de leite existentes na região da Zona da Mata e

Campos das Vertentes, podendo ser comparados à estudos realizados nos países americanos e europeus considerados desenvolvidos na pecuária leiteira, como por exemplo no estudo realizado por Arriaga *et al.*, (2009).

De acordo com Berentsen e Tiessink (2003), os sistemas de produção de leite podem ser classificados de acordo com a produção de leite por área (L/ha/ano), sendo como: baixa tecnificação <12000 L/ha/ano; média tecnificação de 12000 a 15000 L/ha/ano; e alta tecnificação > 15000 L/ha/ano. Assim, utilizando esta classificação, os sistemas B, C e D estão classificados como sistemas de produção de leite de média tecnificação, já os sistemas A, E e F estão classificados como sistemas de alta tecnificação.

O teor de proteína bruta (PB) das dietas encontra-se dentro dos padrões estabelecidos por pesquisas realizadas por Broderick (2003), Colmenero e Broderick (2003) e Ipharraguerre e Clark, (2005) onde teores de PB de 16,5 a 17% são suficientes para produções de leite superiores a 30 l/d. Observa-se que o maior teor de PB na dieta encontra-se no sistema F, que esta associado a maior produção de leite e consequentemente ao maior uso de concentrado. No entanto, todas as dietas possuem o teor de PB capaz de suprir os requerimentos nutricionais dos animais segundo o NRC (2001).

Dentre os constituintes das dietas (volumoso e concentrado), o responsável pela maior variação no teor de PB é a ração concentrada (24 a 29%PB). Em trabalho realizado por Arriaga *et al.*, (2009) a maior variação no teor de PB da dieta também foi devido a variação no teor de PB do concentrado, atingindo uma variação ainda maior, de 17 a 24%PB.

A excreção de nitrogênio na urina (EN_U) e nas fezes (EN_F) nos seis sistemas de produção, foi menor em comparação aos estudos de Wilkerson *et al.* (1997), Jonker *et al.* (1998), Kebreab *et al.* (2001), Jonker *et al.* (2002), Nennich *et al.* (2005), Cabrera *et al.* (2006), Hristov *et al.* (2006), Yan *et al.* (2006), Arriaga *et al.* (2009), Jerszurki *et al.* (2010a) e Souza (2010).

Nestes trabalhos, a variação da EN_U foi de 141 a 289 g/vaca/d e a EN_F foi de 142 a 270 g/vaca/d. A baixa excreção de nitrogênio na urina e nas fezes, provavelmente é devido ao baixo consumo de nitrogênio (CN). Arriaga *et al.* (2009) consideram que o N ingerido é um bom estimador para o N excretado, bem como Yan *et al.*, (2006). Esses autores obtiveram uma relação linear entre essas duas variáveis, e desta maneira,

quando tem-se baixo CN, espera-se que a excreção de nitrogênio na urina e nas fezes também seja baixa.

A partição do nitrogênio excretado na urina e nas fezes, depende do CN, da digestibilidade da PB, da degradabilidade da proteína no rúmen e do uso dos aminoácidos pelo animal para fins produtivo (Castilho *et al.*, 2000; 2001; Marini e Van Amburgh, 2005).

Estudando a excreção de nitrogênio em vacas leiteiras, Wilkerson *et al.* (1997) e Nennich *et al.* (2005) observaram que 50% do nitrogênio consumido foi excretado na urina. Já Castilho *et al.* (2001) e VanderHarr e St. Pierre (2006) apresentaram valores de excreção de nitrogênio na urina de vacas leiteiras superiores, de 58 e 63% respectivamente. Segundo Baik *et al.* (2006) a quantidade de nitrogênio excretado na urina e nas fezes aumenta com o aumento do CN, sendo a excreção de nitrogênio na urina maior, quando comparada a excreção de nitrogênio nas fezes. No entanto, de acordo com o NRC (2001) a excreção de nitrogênio nas fezes é maior do que na urina, quando vacas em lactação são alimentadas acima de suas exigências de proteína. Desta maneira, para cada 1% de aumento na proteína bruta (PB) da dieta ocorre um aumento de aproximadamente 9,6% na excreção de nitrogênio nas fezes por vacas em lactação.

Assim, pode-se dizer que o particionamento da excreção de nitrogênio depende da quantidade total de nitrogênio excretado, que é correlacionado com o CN, que depende da composição da dieta e de fatores relacionados ao animal.

No presente estudo, observa-se uma inconstância perante este particionamento, pois a excreção de nitrogênio nas fezes, apresentou-se maior em relação a excreção de nitrogênio na urina em todos os sistemas.

No entanto, para uma explicação mais detalhada deste comportamento seria necessário estudos sobre degradabilidade e digestibilidade dos alimentos utilizados, bem como o direcionamento dos aminoácidos para a produção, como citado anteriormente por Castilho *et al.* (2000 e 2001) e Marini & Van Amburgh, (2005), ou então, assumir que os animais estão recebendo dietas com níveis de proteína acima de suas exigências, conforme descrito pelo NRC (2001).

Porém, esta última alternativa se tornaria incoerente, uma vez que os resultados de nitrogênio ureico do leite (NUL) encontram-se dentro da faixa estabelecida por Jonker *et al.*, (1998) e Ferguson, (2010) de 10 a 15 mg/dL, evidenciando que não houve consumo excessivo de nitrogênio.

Outra indicação utilizada na excreção de nitrogênio, é a sua excreção nos dejetos, que compreende a excreção na urina e nas fezes em relação ao consumo total. Segundo Yan *et al.* (2006) a excreção de nitrogênio nos dejetos é de aproximadamente 72%, no entanto, Arriaga *et al.* (2009) reportam indicações de 76,4%.

Recentemente no Brasil, Souza (2010) apresentou valores de excreção de nitrogênio nos dejetos mais baixos, de 59 e 62%, valores que estão próximos aos encontrados neste estudo. Dessa maneira, nos seis sistemas de produção estudados, observa-se um melhor aproveitamento do nitrogênio, quando comparado aos trabalhos de Yan *et al.* (2006) e Arriaga *et al.* (2009).

Uma das formas de reduzir a excreção de nitrogênio nos dejetos em sistemas de produção de leite, segundo Rotz (2004) e Linn *et al.* (2007), é aumentando a eficiência de utilização do nitrogênio (EUN).

Segundo pesquisas (Broderick, 2003; Rotz, 2004; Linn *et al.*, 2007;), a EUN em vacas leiteiras varia entre 20 a 30%, ou seja, de 20 a 30% de todo o N consumido é retido no leite (proteína do leite). No presente estudo a EUN variou de 23,78 a 28,83%.

Jonker *et al.* (2002) avaliando 372 rebanhos nos Estados Unidos obtiveram valores de 28,4%, já Arriaga *et al.* (2009) obtiveram valores mais baixos, 25,8% de EUN em rebanhos comerciais da Espanha. No entanto, Jerszurki *et al.* (2010a) avaliaram 27 rebanhos leiteiros no município de Arapoti - PR, e apresentaram valores de EUN de 26,6%.

O teor médio de fósforo (P) encontrado nas dietas dos sistemas de produção estudados é superior ao recomendado pelo NRC (2001) de 0,32 a 0,38%, demonstrando que nos sistemas de produção de leite especializados do Brasil, pode haver indícios de que são fornecidas quantidades de P acima das exigências dos animais, o que também foi relatado por Souza (2010) e Jerszurki *et al.* (2010b). O mesmo ocorre em sistemas de produção de leite especializados nos EUA, como apresentado nos trabalhos de Spears *et al.* (2003), Hristov *et al.* (2006), Kebreab *et al.* (2008) e Arriaga *et al.* (2009).

Animais em lactação recebem em suas dietas duas classes de alimentos, volumosos geralmente pobres em P e concentrados, normalmente com teores mais elevados de P. Nesse último, merece destaque os concentrados protéicos, como derivados da soja e algodão, cujas concentrações de P são altas.

Para Rotz (2004), a suplementação de P para vacas em lactação não deveria ser realizada, visto que as exigências diárias desse nutriente são, na maioria das vezes, 100% atendidas somente com a utilização de alimentos rotineiramente utilizados na

alimentação, tais como a silagem de milho, farelo de milho e farelo de soja. Esse fato também é observado nas formulações de dietas pelo NRC (2001), pois raramente há necessidade de suplementação de P.

Em trabalhos realizados por Powell *et al.* (2002), Dou *et al.* (2003) e Arriaga *et al.* (2009), a variação do teor de P nas dietas foi atribuída à variação do teor de P presente na silagem de capim (SC), e segundo Dou *et al.* (2003) e Cerosaletti *et al.* (2004), a substituição da SC pela silagem de milho (SM), e o maior uso de subprodutos substituindo o farelo de trigo ou farelo de soja pode contribuir para a diminuição do conteúdo de P da dieta total.

Nos sistemas de produção de leite estudados, o elevado teor de P das dietas, pode estar relacionado ao uso de ingredientes concentrados, como o farelo de soja (FS), caroço de algodão (CRA) e torta de algodão (TA), associados ao uso da mistura mineral (MM). O sistema de produção B, foi o que apresentou o menor teor de P na dieta, atribuindo veracidade a hipótese citada acima, pois neste sistema tem-se um menor uso de ingredientes concentrados que possuem elevado teor de P.

A digestibilidade verdadeira do P é considerada alta, mas grande quantidade do nutriente é reciclado pelo retículo-rúmen via saliva. A absorção no trato gastrintestinal é regulada para atender à demanda, ou seja, varia em função da exigência diária do animal. Quando a suplementação é maior que a quantidade requerida, a digestibilidade verdadeira do P diminui, pois somente a quantidade demandada do nutriente é absorvida, sendo o excedente excretado via efluentes, principalmente nas fezes (Wu *et al.*, 2001; Rotz, 2004; Hanigan & Knowlton, 2010).

De acordo com Chapuis-Lardy *et al.* (2004) a quantidade de P na dieta é a variável de maior importância quanto à influência de excreção de P nas fezes. Da mesma forma, outros trabalhos demonstram que o consumo de P é um bom estimador para concentração de P fecal (Wu, 2001; Valk *et al.*, 2002; Weiss e Wyatt, 2004).

Segundo Knowlton *et al.* (2001) e Valk *et al.* (2002) a excreção urinária do P tem pouca importância, não alcançando valores significativos, portanto não é contabilizada na maioria das pesquisas, o que pode ser observado no presente estudo.

A excreção de P na urina apresentou-se baixa em relação ao consumo de P (1,58 a 2,52%). Já a excreção de P nas fezes apresentou valores (55,13 a 62,11%) próximos aos apresentados por Valk *et al.* (2002) de 44,5 e 54,6% e valores inferiores aos de Arriaga *et al.* (2009) de 69,9%, e aos de Souza (2010) de 68,3%.

A eficiência de utilização do fósforo (EUP) é numericamente maior do que a eficiência de utilização do nitrogênio (EUN), e segundo Hanigan e Knowlton (2010) pode chegar a valores próximos a 45%. Neste estudo, os sistemas de produção apresentaram valores de EUP (24,73 a 30,04%) próximos aos relatados por Hristov *et al.* (2006) de 27,6% e Jerszurki *et al.* (2010b) de 28,5%. No entanto, ao estudar a EUP em 76 propriedades especializadas na produção de leite, Arriaga *et al.* (2009) verificaram valores superiores, com média de 32%, o que se aproxima dos dados apresentados por Souza (2010) com EUP de 30,5 e 32,6%.

Dentre os sistemas de produção estudados, observa-se que a EUP foi maior nos sistemas B e C, sistemas os quais possuíam baixo teor de P nas dietas. No entanto, não são os sistemas que apresentam os maiores índices de produção, uma vez que, segundo Valk *et al.* (2002) quanto maior a produção de leite, maiores quantidades de P são destinados para produção, diminuindo a excreção e aumentando a eficiência de utilização deste nutriente.

A modelagem de sistemas reais é uma tarefa complexa, pois não é possível controlar a maioria das variáveis como em experimentos usuais. Com isso, a proporção da variação explicada pelos modelos é relativamente baixa em estudos dessa natureza (Jonker *et al.*, 2002). Tal fato pode ser observado no ajuste dos modelos de excreção de nitrogênio e fósforo, apresentados nas figuras 1, 2, 5 e 6.

A avaliação de modelos através da avaliação combinada do critério de Akaike corrigido (AICc) e suas medidas derivadas, segundo Burnham e Anderson (2002) e Burnham e Anderson (2004) é uma ferramenta razoável para a seleção de modelos e fornecem provas suficientes para a escolha de um determinado modelo em relação a outros.

De acordo com Vieira *et al.* (2012), a relação entre a probabilidade relativa ou evidência da verossimilhança (ER) igual a um, é considerada a melhor escolha, ou seja, modelos que apresentem ER=1, são os modelos que melhor representam o conjunto de dados, ou a realidade; já ER contida entre (1,20] são modelos menos prováveis, e modelos com ER > 20 são consideradas escolhas mais pobres no conjunto de modelos.

As diferenças entre os valores de AICc (Δ) além de ser o ponto chave para ranquear os modelos, também pode ser utilizado para determinar pontos de corte entre modelos mais prováveis e menos prováveis. Porém de acordo com Burnham *et al.* (2011) essa é uma estratégia pobre, pois as áreas de corte são inconclusivas. A maioria

dos trabalhos indicam que modelos com $\Delta > 2$ são improváveis, contudo, Burnham *et al.* (2011) mostram que os modelos improváveis possuem $\Delta > 14$.

Nos trabalhos encontrados na literatura, as estimativas de excreção de nitrogênio e fósforo, são modelados a partir de modelos de regressão linear simples. Neste estudo, somente a avaliação de modelos para a EN_U apresentou a classe de modelos lineares como a mais adequada (tabela 14), e selecionou o modelo com apenas o intercepto, indicando inexistência de associação entre a variável explicativa e a variável resposta, demonstrando que, neste estudo, a excreção de nitrogênio na urina não foi explicada pelo consumo de nitrogênio.

A EN_U inicialmente foi modelada por Jonker e colaboradores no ano de 1998. Esses autores demonstraram alta relação entre EN_U e o nitrogênio ureico no leite (NUL). Posteriormente Kauffman e St-Pierre (2001) apresentaram um novo modelo, que também descreve a relação entre EN_U e NUL. No entanto este modelo leva em consideração o peso vivo do animal (PV) como fator multiplicativo a NU_L .

Acredita-se que esta relação está associada a excreção diária de urina, pois o volume urinário nesses estudos foi estimado através dos valores de creatina na urina, que leva em consideração o peso vivo do animal, o que pode estar condicionando a relação apresentada entre EN_U e o PV.

No presente estudo, não foi observada relação entre a EN_U e o NUL.

A não ocorrência do ajuste apresentado na EN_U , e a relação não encontrada entre CN e EN_U no presente estudo, podem ser atribuídas a perdas por volatilização e erros nos modelos de predição de volume urinário.

Na literatura não foram encontrados modelos que estimem a EP_U , e como já citado, a excreção urinária do P tem pouca importância, não alcançando valores consideráveis (Knowlton *et al.*, 2001 e Valk *et al.*, 2002).

Em 2006, Yan e colaboradores estimaram a EN_L . Estes autores apresentaram três equações de predição, utilizando como variáveis explicativas a ingestão de matéria-seca, a produção de leite e a concentração de PB da dieta. É inexistente a predição de equações de EN_L utilizando o CN, da mesma maneira que não é encontrado equações de predição de EP_L utilizando o CP.

Normalmente, os valores de EN_L é proveniente da média da concentração de proteína do leite, obtida na análise de composição, já a EP_L é obtida assumindo valores de 0,09% de P/litro de leite produzido, segundo NRC (2001).

5. CONCLUSÃO

Com a utilização dos dados coletados nos sistemas de produção de leite localizados na mesorregião da Zona da Mata e Campos das Vertentes situadas no Estado de Minas Gerais foi possível avaliar e selecionar modelos matemáticos para predição da excreção de nitrogênio por vacas leiteiras. No entanto, os dados utilizados para excreção de nitrogênio na urina, não indicam relação entre o consumo de nitrogênio e sua excreção na urina, apresentando um ajuste insatisfatório e incoerente, o que pressupõe a necessidade de mais estudos relacionados a este tipo de excreção.

Os modelos matemáticos selecionados para previsão da excreção de nitrogênio no leite e nas fezes, e a excreção de fósforo no leite, nas fezes e na urina de vacas leiteiras, podem ser utilizados para o estudo da eficiência de utilização e excreção de nitrogênio e fósforo em sistemas de produção de leite no Brasil.

6. BIBLIOGRAFIA

- AOAC. Official Methods of Analysis, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, 1990.
- AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Trans. Automat. Contr.** v.19, p.716-723, 1974.
- ARRIAGA, H.; PINTO, M; CALSAMIGLIA, S. *et al.* Nutritional and management strategies on nitrogen and phosphorus use efficiency of lactating dairy cattle on commercial farms: An environmental perspective. **Journal of Dairy Science**, v.92, p.204-215, 2009.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALITICAL CHEMISTS - AOAC. **Official Methods of Analysis**. 15 ed. Arlington, V.A., 1990.
- BAIK, M.; ASCHENBACH, J. R.; VANDEHAAR, M. J.; LIESMAN, J. S. Effect of dietary protein levels on milk production and nitrogen efficiency in dairy cattle. **Journal of Animal Science**, v.84 (Suppl.1), p.81, 2006.
- BARIONI L.G., VELOSO, R.F., MARTHA JÚNIOR, G.B. Modelos matemáticos aplicados a sistemas de produção animal em pastagens. In: Obeid, J.A., Pereira, O.G., Fonseca, D.F., Nascimento Júnior, D. **Simpósio sobre manejo estratégico da pastagem**, 2. 2002. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. p. 235-278.2002.
- BERENTSEN, P. B. M., and TIESSINK, M. Potential effects of accumulating environmental policies on Dutch dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v.86, p.1019-1028, 2003.
- BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, v.21, p.73-85, 1974.
- BRODERICK, G. A. Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating cows. **Journal of Dairy Science**, v.86, p.1370-1381, 2003.
- BRODERICK, G.A. Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.86, p.1370-1381, 2003.
- BURNHAM, K.P.; ANDERSON, D.R. Multimodel inference: understanding AIC and BIC in model selection. *Sociol Methods Res.* v.33, p.261-304, 2004.
- BURNHAM, K.P.; ANDERSON, D.R.; HUYVAERT, K.P.. AIC model selection in the ecological and behavioral sciences: some background, observations and comparisons. **Behav. Ecol. Sociobiol.** v.65, p.23-35, 2011
- BURNHAM, K.P; ANDERSON, D.R. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach, 2nd edn. Springer, New York. 2002.
- CABRERA, V.E; VRIES, A.; HILDEBRAND, P.E. Prediction of nitrogen excretion in dairy farms located in north Florida: A comparison of three models. **Journal of Dairy Science**, v.89, p. 1830-1841, 2006.

- CASTILLO, A.R.; KEBREAB, E.; BEEVER, D.E. *et al.* Review of efficiency of nitrogen utilization in dairy cows and its relationship with the environmental pollution. **Journal of Animal and Feed Sciences**, v.9, p.1-32, 2000
- CASTILLO, A.R.; KEBREAB, E.; BEEVER, D.E. *et al.* The effect of energy supplementation on nitrogen utilization in lactating dairy cows fed grass silage diets. **Journal of Animal Science**, v.79, p.240–246, 2001.
- CEROSALETTI, P. E.; FOX, D. G.; CHASE, L. E. Phosphorus reduction through precision feeding of dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.87, p.2314-2323. 2004.
- CHAPUIS-LARDY, L.; FIORINI, J.; TOTH, J.; *et al.* Phosphorus concentration and solubility in dairy feces: variability and affecting factors. **Journal of Dairy Science**, v.87, p.4334-4341, 2004.
- COLMENERO, J. J., and BRODERICK, G. A. Effect of dietary crude protein concentration on milk production and nitrogen utilization in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.89, p.1704-1712, 2006.
- DOU, Z.; FERGUSON, J.D.; FIORINI, J. *et al.* Phosphorus feeding levels and critical control points on dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v.86, p.3787-3795, 2003.
- FERGUSON, J.D. [2010] Introdução to MUN. Disponível em: <http://cahpwww.vet.upenn.edu/node/73> Acesso: 4/11/2012
- FONSECA, R. A.; ZOCCAL, R. [2009] Produção de leite em Minas Gerais e Zona da Mata. Disponível em: <http://www.cileite.com.br/panorama/especial27.html> Acesso: 15/06/13.
- FOX, D.G., BARRY, M.C. Using whole animal models to evaluate and refine cattle diets under widely varying conditions. *Proceedings...Workshop Modelig Nutrition Utilization Farm Animal*. Page 143. National Institute Animal Science. 1995.
- FUJIHARA, T.; ORSKOV, E.R.; REEDS, P.J. *ET AL.* The effect of protein infusion on urinary excretion of purine derivatives in ruminants nourished by intragastric nutrition. **Journal of Agriculture Science**, v.109, n.1, p.7-12, 1987.
- GOMPERTZ, B. "On the Nature of the Function Expressive of the Law of Human Mortality, and on a New Mode of Determining the Value of Life Contingencies". **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**. v.115, p. 513-585, 1825.
- HANIGAN, M.D., KNOWLTON, K.F. Nutritional approaches to maximize N and P efficiency. In: MID-SOUTH RUMINANT NUTRITION CONFERENCE. 2010. *Proceeding...* Arlington, Texas. 2010. p.27-38.
- HARRIS, T. E. Some Mathematical Models for Branching Processes. *Proceedings of the Second Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, 305--328, University of California Press, Berkeley, Calif., 1951.

- HRISTOV, A.N.; HAZEN, W.; ELLSWORTH, J.W. Efficiency of Use of Imported Nitrogen, Phosphorus, and Potassium and Potential for Reducing Phosphorus Imports on Idaho Dairy Farms. **Journal of Dairy Science**, v.89, p.3702-3712, 2006.
- HURVICH, C. M.; TSAI, C.-L. Regression and time series model selection in small samples. **Biometrika**.v.76, p.297-307, 1989.
- HYAMS, D.G. Curve Expert: A comprehensive curve fitting system for windows. 1997
- IPHARRAGUERRE, I. R., and CLARK, J. H. Varying protein and starch in the diet of dairy cows. II. Effects on performance and nitrogen utilization for milk production. **Journal of Dairy Science**, v.88, p.2556-2570, 2005.
- JERSZURKI, D.; NAVARRO, R.B.; SANTOS, G.T. *et al.* Eficiência na utilização do nitrogênio dietético em rebanhos leiteiros especializados e suas implicações ambientais. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 47, 2010a. Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Zootecnia/Gmosis, [2010]. (CD-ROM).
- JERSZURKI, D.; NAVARRO, R.B.; SANTOS, G.T. *et al.* Eficiência na utilização do fósforo dietético em rebanhos leiteiros especializados na região de Arapoti, Estado do Paraná. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 47, 2010b. Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Zootecnia/Gmosis, [2010]. (CD-ROM)..
- JONKER, J.S.; KOHN, R.A.; HIGH, J. Dairy herd management practices that impact nitrogen utilization efficiency. **Journal of Dairy Science**, v. 85, p.1218-1226, 2002.
- JONKER, J.S; KOHN, R.A; ERDMAN, R.A. Using Milk urea nitrogen to predict nitrogen excretion and utilization efficiency in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.81, p. 2681-2692, 1998.
- KAUFFMAN, A. J., and ST-PIERRE, N. The relationship of milk urea nitrogen excretion in Holstein and Jersey cows. **Journal of Dairy Science**, v.84, p. 2284-2294, 2001.
- KEBREAB, E.; FRANCE, J.; BEEVER, D. E.; CASTILLO, A. R. Nitrogen pollution by dairy cows and its mitigation by dietary manipulation. **Nutrition Cycle Agroecosystem**, v.60, p.275-285, 2001.
- KEBREAB, E.; STRATHE, A.; FADEL, J.; MORAES, L.; FRANCE, J.; Impact of dietary manipulation on nutrient flows and greenhouse gas emissions in cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.39, p.458-464 suplemento especial, 2010.
- KEBREAB, E; ODONGO, N.E.; McBRIDE, B.W.; *et al.* Phosphorus utilization and environmental and economic implications of reducing phosphorus pollution from Ontario dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.91, p.241-246, 2008.
- KNOWLTON, K.F.; HERBEIN, J.H.; MEISTER-WEISBARTH, M.A. *et al.* Nitrogen and phosphorus partitioning in lactating Holstein cows fed different sources of dietary protein and phosphorus. **Journal of Dairy Science**, v.84, p.1210-1217, 2001.

- KUHN, M. Building predictive models in R using the caret package. **Journal of Statistical Software**, v.28, -1-26, 2008
- LINN, J., RAETH-KNIGHT, M., FREDIN, S. et al. Feed efficiency in lactating dairy cows. In: PROCEEDING OF THE 2007 COLORADO DAIRY NUTRITION CONFERENCE. 2007. *Proceeding...* 2007. 10p.
- MARC J. MAZEROLLE. AICcmodavg: Model selection and multimodel inference based on (Q)AIC(c). R package version 1.33. 2013.
- MARINI, J. C., and VAN AMBURGH, M. E. Partition of nitrogen excretion in urine and the feces of Holstein replacement heifers. **Journal of Dairy Science**, v.88, p.1778-1784, 2005.
- MICHAELIS, L.; MENTEN, M.L. "Die Kinetik der Invertinwirkung", **Biochem.**v.49, p.333-369, 1913.
- MORÉ, J.J. The Levenberg-Marquardt algorithm: implementation and theory. **Lecture Notes in Mathematics 630: Numerical Analysis**. G.A. Watson (Ed.), Springer-Verlag: Berlin, p. 105-116, 1978,
- MORÉ, J.J.; Sorensen, D. C.; Hillstrom, K. E.; Garbow, B. S. **The MINPACK Project, in Sources and Development of Mathematical Software**. W. J. Cowell, ed., Prentice-Hall, p. 88-111, 1984.
- MORGAN, P. H.; MERCER, L. P.; FLODIN, N.W. General model for nutritional responses of higher organisms. **Proc. Nat. Acad. Sci.**, v.72, n.11, p.4327-31, 1975.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. 7. ed. Washington, DC.: National Academy Press, 2001. 381p.
- NENNICH, T. D.; HARRISON, J. H.; VANWIERINGEN, L. M. D. *et al.* Prediction of manure and nutrient excretion from dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.88, p.3721-3733, 2005.
- PINHEIRO, J.C., AND BATES, D.M. "Mixed-Effects Models in S and S- PLUS", Springer, 2000.
- POWELL, J. M.; JACKSON-SMITH, D. B.; SATTER, L. D. Phosphorus feeding and manure nutrient recycling on Wisconsin dairy farms. **Nutrition Cycle Agroecosystem**, v.62, p.277-286, 2002.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria, 2012
- RATKOWSKY, D. A. Nonlinear Regression Modeling, Dekker. 1983,
- ROTZ, C. A. Management to reduce nitrogen losses in animal production. **Journal of Animal Science**, v.82, (Suppl.) p.E119-E137, 2004.

- 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.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2002, 235p.
- SOUZA, D. G. **Algumas considerações sobre regressão não linear**. São Paulo, SP: Universidade de São Paulo, 1986. 122p. Dissertação (Mestrado em Estatística) – Universidade de São Paulo, 1986.
- SOUZA, J. S. **Eficiência de utilização de nitrogênio e fósforo em rebanhos leiteiros**. Maringá, PR: Universidade Estadual de Maringá, 2010. 54p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual de Maringá, 2010.
- SPEARS, R. A.; YOUNG, A. J.; KOHN, R. A. Whole-farm phosphorus balance on western dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v.86, p.688-695, 2003.
- TAMMINGA, S. Pollution due to nutrient losses and its control in European animal production. **Livestock Production Science**, v.84, p.101-111, 2003.
- THORNLEY, J. H. M. and FRANCE, J. **Mathematical Models in Agriculture**. Role of mathematical models. 2nd. Edn. CAB International, Wallingford, UK, 2007, 887p.
- TIMUR V. ELZHOV, KATHARINE M. MULLEN, ANDREJ-NIKOLAI SPIESS AND BEN BOLKER. minpack.lm: R interface to the Levenberg-Marquardt nonlinear least-squares algorithm found in MINPACK, plus support for bounds. R package version 1.1-8. 2013.
- VALK, H.; SEBEK, L.B.J.; BEYNEN, A.C. Influence of phosphorus intake on excretion and blood plasma and saliva concentrations of phosphorus in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.85, p.2642-2649, 2002.
- VANDEHAAR, M.J.; ST-PIERRE, N. Major Advances in Nutrition: Relevance to the Sustainability of the Dairy Industry. **Journal of Dairy Science**, v.89, p.1280-1291, 2006.
- VERHULST, P.F. "Recherches mathématiques sur la loi d'accroissement de la population". **Nouveaux Mémoires de l'Académie Royale des Sciences et Belles-Lettres de Bruxelles**. v.18, p.1-42, 1845.
- VIEIRA, R. A. M.; CAMPOS, P. R. S. S.; SILVA, J. F. C.; TEDESCHI, L. O.; TAMY, W. P. Heterogeneity of the digestible insoluble fiber of selected forages in situ. **Animal Feed Sci. and Tech.** v. 171, p. 154-166, 2012.
- WEISS, W.P.; WILLET, L.B.; ST-PIERRE, N.R. *et al.* Varying forage type, metabolizable protein concentration, and carbohydrate source affects manure excretion, manure ammonia, and nitrogen metabolism of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.92, 5607-5619, 2009.

- WEISS, W.P; WYATT, D.J. Macromineral Digestion by Lactating Dairy Cows: Estimating Phosphorus Excretion via Manure. **Journal of Dairy Science**, v. 87, p. 2158-2166, 2004.
- WILKERSON, V. A.; MERTENS, D. R.; CASPER, D. P. Prediction of excretion of manure and nitrogen by Holstein dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.80, p.3193-3204, 1997.
- WU, Z.; SATTER, L.D.; SOJO, R. Milk production, reproductive performance, and fecal excretion of phosphorus by dairy cows fed three amounts of phosphorus. **Journal of Dairy Science**, v.83, p.1028-1041, 2001.
- YAN, T., FROST, J.P., AGNEW, R.E., BINNIE, R.C. *et al.* Relationships Among Manure Nitrogen Output and Dietary and Animal Factors in Lacting Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v.89, p.3981-3991, 2006.

CAPÍTULO 2

EXCREÇÃO E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO NITROGÊNIO E FÓSFORO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE LEITE

RESUMO

Objetivou-se desenvolver um programa para quantificar a excreção e eficiência de utilização do nitrogênio e fósforo em sistemas de produção de leite, através do balanço de massa de nutrientes. O programa foi desenvolvido em planilhas eletrônicas (Microsoft *Excel*), e com a utilização dos modelos matemáticos propostos no capítulo 1 e modelos encontrados na literatura. É constituído pelas entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) de dados. Os *inputs* foram classificados como os dados que o usuário necessita fornecer ao programa, para que os *outputs*, que são os dados gerados pelo programa, possam ser calculados. Os *inputs* necessários foram: área do sistema de produção, número médio de animais por categoria animal, consumos médios de matéria seca, nitrogênio e fósforo, quantidades de alimentos utilizados na alimentação animal, quantidades de nitrogênio e fósforo utilizados na fertilização de culturas e pastagens, produção média de leite dos animais, porcentagem de proteína e fósforo no leite, número de animais comprados e vendidos. Os *outputs* gerados foram: excreção total de dejetos, excreção de nitrogênio e fósforo nas fezes e urina de vacas em lactação, excreção de nitrogênio nos dejetos de vacas secas e novilhas, balanço de nutrientes, eficiência de utilização do nitrogênio e fósforo de vacas em lactação e do sistema de produção. Após a construção do programa, foram realizados dois ensaios para a avaliação do balanço de nutrientes e eficiência de utilização do nitrogênio e fósforo. O conjunto de dados utilizados foi proveniente de dois sistemas de produção de leite localizados na mesorregião da Zona da Mata do estado de Minas Gerais. As maiores entradas de nitrogênio (N) foram na forma de alimentos, e de fósforo (P) na forma de fertilizantes. As maiores saídas de nutrientes foram na forma de perdas, representando 83,8 e 72,7% de perdas de N, e 28,4% e 37,5% de perdas de P. O balanço de nutrientes em kg/área foi de 67,8% e 73,5% para o N e 40,8% e 31,9% para o P. A eficiência de

utilização do N dos sistemas foi de 32,3 % e 36,1%, e a eficiência de utilização do fósforo foi de 13,3% e 20,1%. O programa foi capaz de quantificar a excreção, a eficiência de utilização e o balanço de N e P nos sistemas de produção de leite. De posse dessas informações foi possível indicar estratégias que visem a redução das emissões e fontes de contaminação ambiental, tornando possível administrar de forma mais eficiente os sistemas de produção de leite, deixando-os mais sustentáveis e competitivos.

1. INTRODUÇÃO

A gestão ambiental vem ganhando destaque na pecuária leiteira, tornando-se uma demanda crescente na atualidade. Em geral, ela consiste em administrar a atividade de forma responsável, utilizando racionalmente os recursos, sejam eles renováveis ou não, valendo-se de práticas que visem a diminuição do impacto negativo gerado ao ambiente.

Sistemas de produção que buscam a adequação dentro da questão ambiental, se destacam e tornam-se mais competitivos, visto que, esta questão tem ganhado impulso e despertado a atenção de diferentes grupos de interesse, como autoridades, organizações ambientais e comunidade em geral.

Para alcançar mudanças que transformem a atividade leiteira em negócio sustentável e competitivo é necessário aos produtores uma nova visão de gestão de sua propriedade, implementando um processo administrativo moderno e profissional, buscando maior agilidade e acerto nas decisões (Yamaguchi, 2004 citado por Cunha, 2008). Neste contexto, fica evidente o potencial do uso da informática como ferramenta indispensável a organização e gestão dos sistemas produtivos, auxiliando o processo de tomada de decisão.

Dentre os resíduos gerados na produção leiteira, destaca-se a alta produção de dejetos e a excreção de nutrientes. Na maioria das vezes, esses resíduos não recebem tratamento adequado, e são a maior fonte de contaminação dos recursos hídricos. Estudos têm demonstrado que em países onde a pecuária leiteira é altamente intensiva, o nitrogênio e o fósforo proveniente dos dejetos dos animais são os maiores responsáveis por processos de eutrofização de águas superficiais (Taminga, 1996; Taminga, 2003; Hristov *et. al.*, 2006; Hanigan e Knowlton, 2010).

A eficiência do uso dos nutrientes é um dos maiores trunfos do sistema de agricultura sustentável, pois o uso ineficiente desses nutrientes não somente resulta em perdas excessivas e potencialmente prejudiciais ao meio ambiente, mas também em baixo desempenho econômico (Oenema & Pietrzak, 2002). Aumentar a eficiência do uso de nutrientes pelos ruminantes, principalmente o nitrogênio e o fósforo, levando a menor excreção, está se tornando um indispensável atributo ambiental.

A disponibilidade de dados e informações relativas ao fluxo de nutrientes e controles zootécnicos de sistemas de produção de leite, aliada à disponibilidade de modelos matemáticos, possibilita a estimativa do volume de produção de dejetos,

excreção de nutrientes e a eficiência de utilização do nitrogênio e fósforo em sistemas de produção de leite, o que poderá ser utilizado como instrumento orientador de novas atividades empresariais e de pesquisa.

Em países da Europa e Estados Unidos, são encontrados inúmeros estudos visando a previsão da excreção de nitrogênio e fósforo por bovinos leiteiros utilizando a modelagem matemática. (Wilkerson *et. al.*, 1992; Jonker *et. al.*, 2002; Nennich *et. al.*, 2005).

Nesse sentido, o balanço de massa de nutrientes, pode ser adotado com sucesso na atividade leiteira. O balanço de massa de nutrientes é uma estimativa da diferença entre entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) do sistema de produção. São utilizados os registros e dados dos teores de nutrientes presentes no sistema, contabilizando os nutrientes importados ao sistema por meio da fixação de nitrogênio (estimada), de fertilizantes, de alimentos e animais, e os exportados do sistema, como venda de produtos (leite, carne), animais, grãos e dejetos (Rasmussen *et. al.*, 2011). De posse dessas informações produtores e técnicos podem adotar medidas que visem reduzir as emissões e fontes de contaminação ambiental.

Aplicativos para sistemas de produção de leite que visam a excreção e eficiência de utilização de nutrientes são inexistentes no Brasil. No entanto programas computacionais destinados a este propósito se tornam promissores, em vista da necessidade de prever impactos ambientais.

O objetivo foi desenvolver um programa de fácil utilização, para quantificar a excreção e eficiência de utilização do nitrogênio e fósforo em sistemas de produção de leite, através do balanço de massa de nutrientes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O programa foi desenvolvido em planilhas eletrônicas (Microsoft *Excel*), e com a utilização dos modelos matemáticos propostos no capítulo 1 e encontrados na literatura, recebendo o nome de *QeeNP* (quantificação da excreção e eficiência de utilização do nitrogênio e fósforo).

Para a construção do programa, foi levado em consideração as interações entre os componentes do sistema, representadas na figura 7.

Os ALIMENTOS e os ANIMAIS adquiridos, interagem com o componente “ANIMAIS”, que possui três saídas, sendo duas para fora do sistema, na forma de LEITE produzido e ANIMAIS vendidos, e uma interna ao sistema, o componente “DEJETOS”. Esse por sua vez, possui PERDAS, na forma de volatilização da amônia (NH_3^+) durante o processo de coleta e armazenamento, e interage com o componente “SOLO”, que interage com os FERTILIZANTES adquiridos. O componente “SOLO”, possui uma saída na forma de PERDAS, através da volatilização da amônia (NH_3^+), desnitrificação, lixiviação e escoamento do nitrato (NO_3^-) e fósforo.

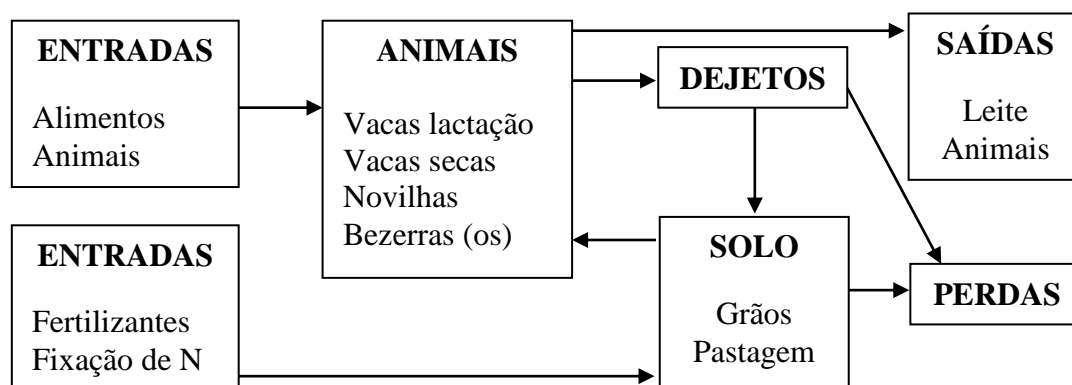


Figura 7. Interações entre os componentes do sistema.

O programa foi constituído pelas entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) de dados. Os *inputs* foram classificados como os dados que o usuário necessita fornecer ao programa, para que os *outputs*, que são os dados gerados pelo programa, possam ser calculados.

Os *inputs* necessários foram: área do sistema de produção, número médio de animais por categoria animal, consumos médios de matéria seca, nitrogênio e fósforo, quantidades de alimentos utilizados na alimentação animal, quantidades de nitrogênio e

fósforo utilizados na fertilização das culturas, produção média de leite dos animais, porcentagem de proteína e fósforo no leite, número de animais comprados e vendidos.

Os *outputs* gerados foram: excreção total de dejetos, excreção de nitrogênio e fósforo nas fezes e urina de vacas em lactação, excreção de nitrogênio nos dejetos das vacas secas e novilhas, balanço de nutrientes, eficiência de utilização do nitrogênio e fósforo das vacas em lactação e do sistema de produção.

Os cálculos para os *outputs* gerados foram:

Nitrogênio e fósforo dos alimentos:

$$N = \sum \frac{(kg \text{ alimento utilizado} * \%MS * \%PB)}{6.25} \quad (9)$$

$$P = \sum (kg \text{ alimento utilizado} * \%MS * \%P) \quad (10)$$

Nitrogênio e fósforo dos fertilizantes:

$$N = \sum (kg \text{ fertilizante utilizado} * \%N) \quad (11)$$

$$P = \sum (kg \text{ fertilizante utilizado} * \%P) \quad (12)$$

Nitrogênio e fósforo dos animais:

$$N = \sum \frac{(n^{\circ} \text{ animais comprados} * \text{peso vivo médio}) * (\%N / \text{peso vivo})}{100} \quad (13)$$

$$P = \sum \frac{(n^{\circ} \text{ animais comprados} * \text{peso vivo médio}) * (\%P / \text{peso vivo})}{100} \quad (14)$$

Os valores utilizados para a quantidade de nitrogênio e fósforo por quilograma de peso vivo (% N e P/ kg peso vivo) foram os descritos por Rasmussen *et. al.* (2011), como sendo 2,9% de N e 0,7% de P.

A produção total de leite do sistema foi calculada pelo quociente entre a média de produção de leite multiplicada pelo número médio de vacas em lactação e o período, contabilizado como dias em que o balanço foi realizado.

A quantidade de nitrogênio e fósforo excretado no leite foi calculada multiplicando-se a produção total de leite pela porcentagem de proteína e fósforo presentes no leite.

As estimativas da produção de dejetos para as vacas em lactação, novilhas e bezerras foram calculadas segundo o modelo descrito por Nennich *et. al.* (2005):

Excreção de dejetos das vacas em lactação (E_{Dvl}):

$$E_{Dvl} = CMS * 2.63 + 9.4 \quad (15)$$

Excreção de dejetos das novilhas (E_{Dn}):

$$E_{Dn} = CMS * 4.158 - PV * 0.0246 \quad (16)$$

Excreção de dejetos das bezerras (E_{Db}):

$$E_{Db} = CMS * 3.45 \quad (17)$$

Onde:

CMS = Consumo de matéria seca (kg);

PV = Peso vivo do animal (kg).

Já para as vacas secas, a produção de dejetos foi calculada segundo o modelo descrito por Wilkerson *et. al.* (1997):

Excreção de dejetos das vacas secas (E_{Dvs}):

$$E_{Dvs} = (0.00711 * PV) + (32.4 * PBd) + (25.9 * FDNd) + 8,05 \quad (18)$$

Onde:

PBd = Proteína bruta da dieta (g/gMS);

$FDNd$ = Fibra em detergente neutro da dieta (g/gMS).

A excreção total de dejetos produzidos pelos animais foi calculada pelo somatório da excreção de dejetos das categorias animais, multiplicado pelo período, contabilizado como dias em que o balanço foi realizado.

A excreção de nitrogênio e fósforo nas fezes e urina das vacas em lactação foi calculada segundo os modelos descritos no capítulo 1:

Excreção de nitrogênio nas fezes (EN_F):

$$EN_F = 274,5 * (1 - \exp(-1,783E - 3 * CN)) \quad (19)$$

Excreção de nitrogênio na urina (EN_U):

$$EN_U = 116,063 + e \quad (20)$$

Excreção de fósforo nas fezes (EP_F):

$$EP_F = 22,43 * \exp(CP * 0,0096) \quad (21)$$

Excreção de fósforo na urina (EP_U):

$$EP_U = 2,85 / (1 + \exp((72,71 - CP) / 63,09)) \quad (22)$$

A excreção de nitrogênio nos dejetos das vacas secas e novilhas foram calculadas segundo a equação descrita por Wilkerson *et. al.* (1997), e a excreção de nitrogênio nos dejetos das bezerras, segundo as equações descritas por Nennich *et. al.* (2005).

Nitrogênio nos dejetos de vacas secas (N_{Dvs}):

$$N_{Dvs} = (0.000107 * PV) + (1.11 * PBd) + (0.170 * FDNd) - 0.135 \quad (23)$$

Nitrogênio nos dejetos de novilhas (N_{Dn}):

$$N_{Dn} = (0.000471 * PV) + (0.867 * PBd) + (0.0109 * FDNd) - 0.135 \quad (24)$$

Nitrogênio nos dejetos de bezerras (N_{Db}):

$$N_{Db} = CMS * PBd * 112.55 \quad (25)$$

A estimativa da excreção total de nitrogênio (N) nos dejetos foi calculada pelo somatório das excreções de N nos dejetos das categorias animais, multiplicado pelo período, contabilizado como dias em que o balanço foi realizado.

A excreção de fósforo pelas vacas secas e novilhas, não foram calculadas devido à inexistência de modelos que estimem esta excreção. Desta maneira, considerou-se que o fósforo consumido foi utilizado para o crescimento das novilhas e gestação das vacas secas, não havendo excreção considerável desse nutriente através das fezes e urina.

No entanto, a excreção de fósforo nos dejetos das bezerras foi calculado pela equação descrita por Nennich *et. al.* (2005).

Fósforo nos dejetos de bezerras (P_{Db}):

$$P_{Db} = CMS * Pd * 112.55 \quad (26)$$

Onde:

Pd = Fósforo na dieta (g/g MS).

O balanço dos nutrientes foi calculado pela diferença entre a quantidade de nitrogênio e fósforo que entra no sistema de produção através dos alimentos, fertilizantes e animais, e a saída de nitrogênio e fósforo através da produção de leite, venda de animais e perdas. As perdas compreenderam ao nitrogênio e fósforo que são perdidos através da volatilização da amônia (NH_3), lixiviação e escoamento do nitrato (NO_3^-) e fósforo.

As eficiências de utilização do nitrogênio (N) e fósforo (P) para vacas em lactação foram calculadas de acordo com as equações:

Eficiência de utilização do nitrogênio para vacas em lactação (EUN_{vl}):

$$EUN_{vl} = 100 * \left(\frac{N \text{ no leite}(kg)}{\text{consumo de N}(kg)} \right) \quad (27)$$

Eficiência de utilização do fósforo para vacas em lactação (EUP_{vl}):

$$EUP_{vl} = 100 * \left(\frac{P \text{ no leite}(kg)}{\text{consumo de P}(kg)} \right) \quad (28)$$

Já a eficiência de utilização do N e P para o sistema de produção foram calculadas pelas seguintes equações:

Eficiência de utilização do nitrogênio para sistema de produção (EUN_S):

$$EUN_S = 100 * \left(\frac{N_{\text{leite}}(kg) + N_{\text{animais vendidos}}(kg) + N_{\text{outros}}(kg)}{N_{\text{alimentos}}(kg) + N_{\text{animais comprados}}(kg) + N_{\text{fertilizantes}}(kg)} \right) \quad (29)$$

Eficiência de utilização do fósforo para sistema de produção (EUP_S):

$$EUP_S = 100 * \left(\frac{P_{\text{leite}}(kg) + P_{\text{animais vendidos}}(kg) + P_{\text{outros}}(kg)}{P_{\text{alimentos}}(kg) + P_{\text{animais comprados}}(kg) + P_{\text{fertilizantes}}(kg)} \right) \quad (30)$$

Após a construção do programa, foram realizados dois ensaios para a avaliação do balanço de nutrientes e eficiência de utilização do nitrogênio e fósforo, utilizando dados provenientes de dois sistemas de produção de leite localizados na mesorregião da Zona da Mata do estado de Minas Gerais.

Os sistemas de produção de leite utilizados foram classificados como A e B, sendo os seus dados de produção apresentados na tabela 24.

Tabela 24. Dados dos sistemas de produção.

Itens	Sistemas	
	A	B
Período do balanço (dias)	365	365
Área da propriedade (ha)	85	70
Área pastagens e culturas (ha)	67	50
Reaproveitamento dos dejetos (%)	100	100
Produção de leite (l/vaca/d)	21,1	25,7
Vacas lactação (n°)	52	41
Vacas secas (n°)	31	14
Novilhas (n°)	36	54
Bezerras (os) (n°)	8	8
Peso corporal médio das vacas lactação (kg)	580	580
Peso corporal médio das vacas secas (kg)	650	650
Peso corporal médio das novilhas (kg)	300	300
Peso corporal médio das bezerras (kg)	50	50
Coefficientes técnicos (Eficiência)	A	B
N do adubo químico (%)	70	70
P do adubo químico (%)	70	70
N dos dejetos (%)	40	40
P dos dejetos (%)	40	40
Consumos	A	B
CMS ¹ vacas lactação (kg/d)	16.7	17.8
CN ² vacas lactação (g/d)	406	452
CP ³ vacas lactação (g/d)	77	88
CMS vacas secas (kg/d)	9.5	9.1
CN vacas secas (g/d)	194	202
CP vacas secas (g/d)	29	31
CMS novilhas (kg/d)	6.5	6.8
CN novilhas (g/d)	130	126
CP novilhas (g/d)	25	25
CMS bezerras (kg/d)	1.5	1.5
CN bezerras (g/d)	39	42
CP bezerras (g/d)	7	9
Compras	A	B
Farelo Milho (kg)	41400	57823
Farelo Soja (kg)	15600	35379
Torta de Algodão (kg)	38800	18500
Uréia (kg)	1200	1500
Núcleo (kg)	5000	5200
Sal Mineral (kg)	1800	5290
N adubo químico (kg)	2870	1080
P adubo químico (kg)	2167	840
Animais (n°)	0	0
Vendas	A	B
Vacas (n°)	13	12
Novilhas (n°)	2	3
Bezerras (os) (n°)	12	5

1= Consumo de Matéria Seca; 2= Consumo de nitrogênio; 3= Consumo de fósforo.

3. RESULTADOS

3.1. Apresentação do programa

As três primeiras telas de interação são: a página inicial, entradas e saídas dos nutrientes no sistema; que estão classificadas como *inputs* do programa.

Na tela inicial do programa (figura 8), são inseridas informações relativas a identificação e características do sistema de produção de leite. As informações são divididas em: gerais, com nome da propriedade, período em que o balanço será realizado, área total da propriedade, área de agricultura e pecuária e reaproveitamento dos dejetos; animais, composto pelas categorias vacas em lactação, vacas secas, novilhas e bezerras, peso vivo médio, e consumos de matéria seca, nitrogênio e fósforo.

No item que se refere aos coeficientes técnicos, é necessário o preenchimento da eficiência com que será utilizado o nitrogênio e o fósforo pelas pastagens e culturas em relação aos fertilizantes e dejetos utilizado. Observa-se que é apresentado uma faixa pré-estabelecida para os fertilizantes e dejetos, as quais foram sugeridas segundo estudo realizado por Kohn *et. al.* (1997).

Segundo os autores, a utilização desses nutrientes pelas plantas depende do tipo de solo e inclinação do terreno, onde em solos arenosos há maior perda de nitrogênio e fósforo por lixiviação, e menor utilização pelas plantas. O mesmo acontece em terras mais inclinadas, havendo uma maior perda por escoamento. Esses coeficientes também podem refletir na qualidade técnica alcançada nas práticas de adubação e distribuição de dejetos nas propriedades. Quanto menor a qualidade das práticas adotadas, menor deverá ser o coeficiente técnico utilizado.

Na tela de entradas dos nutrientes no sistema (figura 9), o usuário preencherá os dados relativos a quantidade de alimentos destinados a alimentação animal, quantidade de nitrogênio e fósforo provenientes dos fertilizantes destinados a fertilização das culturas e pastagens, e número de animais comprados e/ou adquiridos.

Vale ressaltar que, as células na cor cinza, requerem valores, em que o usuário deverá informar os dados, e nas células de cor amarela, o usuário receberá os resultados.

No ítem compra de alimentos, já encontram-se listados alguns alimentos com suas respectivas composições bromatológicas. Caso o usuário disponha dos valores de composição, poderá substituí-lo. Para isso basta clicar sobre o número na cor vermelha, e substituir o valor correspondente.

Na compra de animais será necessário o preenchimento do número de animais e o peso vivo médio. Dessa maneira, aparecerá a quantidade total de nitrogênio e fósforo que entra no sistema através da compra ou aquisição de animais.

Na tela de saídas dos nutrientes no sistema (figura 10), será necessário o preenchimento da média de produção de leite dos animais, proteína e fósforo do leite, número de animais vendidos, e o peso vivo médio dos animais vendidos.

INICIAL - INPUT					
INFORMAÇÕES GERAIS					
Nome da Fazenda:	A				
Balaço:	2013				
Período (dias)	365				
Área da Fazenda (ha):	90				
Área de Agricultura e Pastagens (ha):	67				
Reaproveitamento dos dejetos (%)	100				
ANIMAIS					
	Número de Animais	Média Peso (Kg)	Médias Consumo		
			MS (Kg/dia)	N (g/dia)	P (g/dia)
Vacas Lactação	52	580	16,7	406	77
Vacas Secas	31	650	9,5	194	29
Novilhas	36	300	6,5	148	25
Bezerros	8	50	1,5	39	7
COEFICIENTES TÉCNICOS					
Eficiência					
N do Adubo Químico (0,5 - 0,75)	0,7				
P do Adubo Químico (0,5 - 0,75)	0,7				
N do Esterco (0,25 - 0,5)	0,4				
P do Esterco (0,25 - 0,5)	0,4				

Figura 8. Tela inicial do programa.

ENTRADA - INPUT						
COMPRA DE ALIMENTOS						
Tipos	Kg	MS (%)	PB (%)	P (%)	N (Kg)	P (Kg)
Farelo de Milho:	41400	89	8	0,33	471,63	121,59
Farelo de Soja:	15600	89	50	0,72	1110,72	99,96
Torta de Algodão:	38800	93	30	1,05	1732,03	378,88
Uréia:	1200	99	280	0	532,22	0,00
Nucleos	5000	100	0	6	0,00	300,00
Sal Mineral	1800	100	0	5	0,00	90,00
Ração:	0	0	0	0	0,00	0,00
Outro Alimento:	0	0	0	0	0,00	0,00
Total					3846,60	990,44
COMPRA DE ANIMAIS						
	Quantidade	Peso Médio (kg)	N (Kg)	P (Kg)		
Vacas	0	0	0,00	0,00		
Novilhas	0	0	0,00	0,00		
Bezerros	0	0	0,00	0,00		
Total			0,00	0,00		
UTILIZAÇÃO DE FERTILIZANTES						
N (Kg)	2870,00					
P205 (Kg)	2167,00					
OUTROS						
	Kg	N (%)	P (%)			
Tipo	0	0	0			
	N (Kg)	P (kg)				
Total	0,00	0,00				
TOTAL GERAL IMPORTADO						
	N (Kg)	P (Kg)				
Total	6716,60	3157,44				

Figura 9. Tela de entradas dos nutrientes no sistema.

SAÍDA - INPUT				
PRODUÇÃO DE LEITE				
	Média	Total		
Leite (Litros)	21,1	400478,00		
Proteína do leite (%)	3,00			
Fósforo do leite (%)	0,09			
	N (Kg)	P (kg)		
Total	1922,29	360,43		
VENDA DE ANIMAIS				
	Quantidade	Peso Médio (kg)	N(Kg)	P(Kg)
Vacas	13	560	211,12	50,96
Novilhas	2	300	17,40	4,20
Bezerros	12	50	17,40	4,20
Total			245,92	59,36
OUTROS				
	Kg	N (%)	P (%)	
Tipo	0	0	0	
	N (Kg)	P (kg)		
Total	0,00	0,00		
TOTAL GERAL EXPORTADO				
	N (Kg)	P (kg)		
Total	2168,21	419,79		

Figura 10. Tela de saídas dos nutrientes no sistema.

As próximas telas de interação do programa são: excreção de nutrientes dos animais, balanço de nutrientes e eficiência de utilização dos nutrientes, classificadas como *outputs* do programa.

Na tela de excreção de nutrientes dos animais (figura 11), são apresentadas as excreções de dejetos de cada categoria animal com sua respectiva excreção de nitrogênio (N) e fósforo (P). Na categoria vacas em lactação é possível visualizar, separadamente, a excreção estimada desses nutrientes na urina e nas fezes.

No final da tela, o usuário poderá visualizar a quantidade de N e P que está disponível no sistema na forma de dejetos. Assim poderá procurar estratégias para um melhor manejo de dejetos, e como aproveitá-los de forma mais eficiente.

Na tela de balanço de nutrientes (figura 12), é apresentando a quantidade de N e P que entra e sai do sistema de produção, e o balanço desses nutrientes em kg/período, kg/unidade animal (UA) e kg/área.

Na contabilização das saídas do sistema, pode-se observar, que é apresentado a estimativa das perdas de N e P relacionadas aos fertilizantes e dejetos aplicados nas pastagens e culturas. Nessa estimativa, é levado em consideração os coeficientes técnicos, e o reaproveitamento dos dejetos dentro do sistema. Os valores apresentados representam as estimativas do N e P que não ficam no sistema, e são perdidos na forma de volatilização da amônia (NH_3), lixiviação e escoamento do nitrato (NO_3^-) e fósforo.

A quantificação do balanço de nutrientes em kg/período será um indicativo de que se devem ou não ser propostos ajustes ao sistema a fim de reduzir seu potencial poluidor relacionado á eutrofização das águas, poluição do solo e emissão de gases.

O balanço de nutrientes em kg/UA será um indicativo de melhorias no manejo nutricional, reduzindo a necessidade de entradas de alimentos ou a substituição dos mesmo no sistema

O balanço dos nutrientes em kg/área indicará a quantidade de nutrientes disponíveis para as culturas. Isso será um indicativo de que deve-se reduzir a utilização de fertilizantes químicos, e levar em consideração a utilização dos dejetos produzido no sistema para a adubação das culturas. Com isso tem-se indicativos da necessidade da implantação de manejo de dejetos, e estabelecimento do aporte de nutrientes químicos somente em áreas de maior demanda.

Na tela de eficiência de utilização dos nutrientes é apresentado a eficiência de utilização do N e P das vacas em lactação, e do sistema de produção (figura 13).

A eficiência de utilização do N e P pelas vacas em lactação dará um indicativo do manejo nutricional, e a eficiência de utilização do sistema de produção mostrará se o sistema aproveita de forma eficiente o N e o P. Com isso reafirmará a necessidade ou não do manjo de dejetos e sua melhor utilização dentro do sistema.

Nesta tela também será apresentado as porcentagens de N e P que saem do sistema na forma de vendas e perdas, e o que permanece no sistema.

EXCREÇÃO - OUTPUT						
VACAS LACTAÇÃO						
	Animal	Total				
Produção de Dejetos (Kg)	53,321	1012032,58				
	N (Kg)	P (Kg)				
Fezes	2652,47	895,92				
Urina	2202,13	27,95				
Total	4854,61	923,87				
VACAS SECAS						
	Animal	Total				
Produção de Dejetos (Kg)	27,17	307391,93				
	N (Kg)	P (Kg)				
Total	1631,86					
NOVILHAS						
	Animal	Total				
Produção de Dejetos (Kg)	19,647	258161,58				
	N (Kg)	P (Kg)				
Total	1334,22					
BEZERROS						
	Animal	Total				
Produção de Dejetos (Kg)	5,18	15111,00				
	N (Kg)	P (Kg)				
Total	80,11	12,71				
RESUMO						
	Dejetos (Kg)	N (Kg)	P (Kg)	Dejetos (%)	N (%)	P (%)
Vacas Lactação	1012032,58	4854,61	923,87	63,54	61,44	98,64
Vacas Secas	307391,93	1631,86	0,00	19,30	20,65	0,00
Novilhas	258161,58	1334,22	0,00	16,21	16,89	0,00
Bezerros	15111,00	80,11	12,71	0,95	1,01	1,36
Totais	1592697,09	7900,80	936,58	100,00	100,00	100,00

Figura 11. Tela de excreção de nutrientes dos animais do sistema.

BALANÇO - OUTPUT									
ENTRADA	ENTRADA	Kg/periodo		%		Kg/UA; UA = 484,33		Kg/Área; Área = 67	
		N	P	N	P	N	P	N	P
	Alimento	3846,60	990,44	57,27	31,37	7,94	2,04	57,41	14,78
	Fertilizantes	2870,00	2167,00	42,73	68,63	5,93	4,47	42,84	32,34
	Compra de Animais	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Outros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	6716,60	3157,44	100,00	100,00	13,87	6,52	100,25	47,13
SAÍDA	SAÍDA	Kg/periodo		%		Kg/UA; UA = 484,33		Kg/Área; Área = 67	
		N	P	N	P	N	P	N	P
	Produção de Leite	1922,29	360,43	24,74	22,09	3,97	0,74	28,69	5,38
	Fertilizantes (perdas)	861,00	650,10	11,08	39,84	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dejetos (perdas)	4740,48	561,95	61,01	34,44	0,00	0,00	0,00	0,00
	Venda de Animais	245,92	59,36	3,17	3,64	0,51	0,12	3,67	0,89
	Outros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	7769,69	1631,84	100,00	100,00	4,48	0,87	32,36	6,27
SALDO	SALDO (Fica no Sistema)	Kg/periodo		---		Kg/UA		Kg/Área	
		N	P			N	P	N	P
	ENTRADA - SAÍDA	4548,39	2737,65			9,39	5,65	67,89	40,86

Figura 12. Tela de balanço dos nutrientes.

EFICIÊNCIA - OUTPUT		
SISTEMA		
	N	P
Total Geral Importado (Kg)	6716,60	3157,44
Total Geral Exportado (Kg)	2168,21	419,79
Total Geral de Perdas (Kg)	5601,48	1212,05
Exportado (%)	32,28	13,30
Perdas (%)	83,40	38,39
Sistema (%)	-15,68	48,32
Eficiência (%)	32,28	13,30
ANIMAL		
	N	P
Consumo Médio (g/dia)	406,00	77,00
Produção de Leite (g/dia)	101,28	18,99
Eficiência (%)	24,95	24,66

Figura 13. Tela de eficiência de utilização dos nutrientes.

3.2. Balanço de nutrientes nos sistemas de produção.

A maior parte do nitrogênio (N) entra na forma de alimentos, e saem em maiores quantidades na forma de perdas do que na venda de produtos (tabela 25).

Em relação as perdas, o N é perdido principalmente através dos dejetos produzido pelos animais, observa-se que os dois sistemas possuem perdas elevadas em relação ao N. Isso indica que há grande produção de dejetos nos sistemas, e provavelmente não está sendo manejado de forma adequada. O estabelecimento de

melhores práticas de manejo de dejetos podem minimizar essas perdas, em ambos os sistemas.

Se desconsiderarmos as perdas, a produção de leite representa a maior saída de N dos sistemas, apresentando-se semelhantes nos dois sistemas.

Observa-se também (tabela 25) que o balanço do N em kg/período foi elevado, demonstrando que grande parte desse nutriente permanece nos sistemas, e que provavelmente será perdido na forma volatilização da amônia (NH₃), lixiviação e escoamento do nitrato (NO₃⁻).

O balanço de N em kg/UA, foi semelhante nos dois sistemas, no entanto, o sistema B apresentou menor valor, provavelmente devido a menor produção de leite dos animais, o que faz com que a saída de N nesse sistema seja menor em comparação ao sistema A.

O balanço de N em kg/área, foi elevado nos dois sistemas de produção, mostrando que altas quantidade de N estão sendo incorporadas no sistema por meio de adubação química, principalmente no sistema A. No entanto, o sistema B apresentou o maior balanço, o que pode ser explicado pelas altas quantidades de alimentos adquiridos.

Tabela 25. Entradas, saídas e balanço do nitrogênio nos sistemas de produção.

Ítems	A B		A B		A B		A B	
	kg/ano		%		kg/UA/ano		kg/área/ano	
ENTRADAS								
Alimentos	3846	4668	57,3	81,2	7,9	11,0	57,4	93,4
Fertilizantes	2870	1080	42,7	18,8	5,9	2,5	42,8	21,6
Total	6716	5748	100	100	13,8	13,5	100,2	115,0
SAÍDAS								
Leite	1922	1846	24,7	29,5	3,9	4,4	28,7	36,9
Animais	246	228	3,2	3,7	0,5	0,5	3,7	4,6
Total	2168	2074	-	-	4,4	4,9	32,4	41,5
BALANÇO	4548	3674	-	-	9,4	8,6	67,8	73,5
PERDAS								
Fertilizantes*	861	324	11,1	5,2	-	-	-	-
Dejetos*	4740	3858	61,0	61,6	-	-	-	-
Total	5601	4182	100 ¹	100 ¹	-	-	-	-

* Perdas por volatilização da amônia, desnitrificação e lixiviação do nitrato;

¹ Somatório entre as porcentagens das saídas de nitrogênio no leite e animais, e perdas de nitrogênio pelos fertilizantes e dejetos.

O fósforo (P) entra em maiores quantidades através dos fertilizantes, e saem em maiores proporções na forma de perdas (tabela 26). No sistema A, as maiores perdas foram resultantes dos fertilizantes, e no sistema B dos dejetos produzido pelos animais. Isso deve-se a elevada quantidade de fertilizantes químicos, como forma de entrada de P no sistema A e de alimentos no sistema B.

Esses valores podem ser considerados como um indicativo de que o sistema A necessita de melhores práticas de adubação e manejo do solo em relação ao P, pois grandes quantidades são perdidas, aumento o potencial de poluição desse sistema em relação a esse nutriente.

Tabela 26. Entradas, saídas e balanço do fósforo nos sistemas de produção.

Ítens	A B		A B		A B		A B	
	kg/ano		%		kg/UA/ano		kg/área/ano	
ENTRADAS								
Alimentos	990	1153	31,4	57,9	2,0	2,7	14,8	23,1
Fertilizantes	2167	840	68,6	42,1	4,5	2,0	32,3	16,8
Total	3157	1993	100	100	6,5	4,7	47,1	39,9
SAÍDAS								
Leite	360	346	22,2	30,1	0,7	0,8	5,4	6,9
Animais	59	55	3,6	4,8	0,2	0,2	0,9	1,1
Total	419	401	-	-	0,9	1,0	6,3	8,0
BALANÇO	2738	1592	-	-	5,6	3,7	40,8	31,9
PERDAS								
Fertilizantes*	650	252	39,8	21,9	-	-	-	-
Dejetos*	561	495	34,4	43,2	-	-	-	-
Total	1211	747	100 ¹	100 ¹	-	-	-	-

* Perdas por lixiviação e escoamento do fósforo;

¹ Somatório entre as porcentagens das saídas de nitrogênio no leite e animais, e perdas de nitrogênio pelos fertilizantes e dejetos.

Se desconsiderarmos as perdas, a produção de leite representa a maior saída de P nos sistemas, apresentando-se semelhante nos dois sistemas.

Observa-se também (tabela 26) que o balanço do P em kg/período foi elevado, demonstrando que grande parte desse nutriente permanece nos sistemas, e provavelmente será perdido por escoamento.

O balanço de P em kg/UA, foi maior no sistema A, no entanto, a quantidade de P que entra na forma de alimentos, foi semelhante nos dois sistemas. O que justifica o elevado balanço de P em kg/UA, são os valores de P que entram no sistema na forma de fertilizantes.

O balanço de P em kg/área, foi elevado nos dois sistemas de produção, mostrando que altas quantidade de P estão sendo incorporadas no sistema por meio de adubação química, principalmente no sistema A.

As eficiências de utilização do N apresentam-se maiores do que as eficiências de utilização do P (tabela 27).

O sistema B, apresenta uma eficiência de P maior, demonstrando que é mais eficiente em utilizar o P do que o sistema A, uma vez que menores quantidade de P entram nesse sistema, na forma de fertilizantes.

A eficiência de utilização do N das vacas em lactação, foi maior no sistema B (tabela 27). Essa eficiência, nos dois sistemas, pode ser considerada alta em sistemas de produção de leite do Brasil, no entanto pode ser melhorada.

Já a eficiência de utilização do P das vacas em lactação, pode ser considerada baixa em sistemas de produção de leite do Brasil. O sistema de produção A apresentou a menor eficiência de P, no entanto, existem altas quantidade de P por unidade animal disponíveis no sistema, indicando que as práticas de manejo nutricional devem ser melhoradas, para que, conseqüentemente a eficiência do P pelos animais atinjam níveis mais elevados.

Tabela 27. Eficiências de utilização (EU) e perdas dos nutrientes nos sistemas.

%	Sistemas			
	A		B	
	N	P	N	P
EU Sistema	32,3	13,3	36,1	20,1
EU Animal	24,9	24,6	27,3	26,3
Perdas	83,8	28,4	72,7	37,5

O P permanece nos sistemas em maiores quantidades quando comparado ao N (tabela 27). No sistema B o N e o P permanecem no sistema em maiores quantidades, apresentando as maiores eficiências, computando assim as menores perdas em relação a esses nutrientes. No entanto observa-se que as perdas, são maiores em relação ao N do que o P, em ambos os sistemas. Isso se deve provavelmente e principalmente pela volatilização da amônia (NH₃).

4. DISCUSSÃO

Grandes saldos positivos no balanço do nitrogênio (N) e fósforo (P) em sistemas de produção de leite, segundo Kobayashi *et. al.* (2010), apresentam elevadas quantidades de perdas na forma de volatilização da amônia (NH₃), lixiviação e escoamento do nitrato (NO₃⁻) e do P, o que aumenta o potencial de poluição dos sistemas por emissão de gases e eutrofização das águas superficiais.

Nos sistemas de produção estudados, o saldo do balanço do N e P foram elevados, apresentando altas quantidades de perdas, fato que corrobora com os estudos de Keulen *et. al.*(2000), Ondersteijn *et. al.* (2002), Power *et. al.* (2002), Spears *et al.* (2003), Wattiaux *et. al.* (2005) e Kobayashi *et. al.* (2010), no entanto, as perdas apresentadas por Keulen *et. al.* (2000) e Kobayashi *et. al.* (2010), foram em média de 46% para o N e 40% para o P. Nos sistemas de produção estudados as perdas relacionadas ao N foram superiores e ao P inferiores aos valores encontrados por esses autores (tabela 27).

A alta quantidade de perdas relacionadas ao N encontradas nos sistemas de produção estudados, provavelmente esta relacionada com a alta produção de dejetos, pois segundo Tamminga e Verstegen (1996) e Marini e Van Amburgh (2005), em vacas leiteiras 70 a 75% do nitrogênio da dieta é excretado via urina e fezes.

Wattiaux *et. al.* (2005), descreve o ciclo de N e P internamente em sistemas de produção de leite, e mostra que 77% do N e 50% do P presente nos dejetos dos animais é irreversivelmente perdido, não sendo reciclado pelas plantas, quando utilizado para fins de adubação.

Segundo os mesmos autores, o N é perdido na forma de volatilização da amônia em até 30% nos processos de coleta, armazenamento e distribuição, 25% pela desnitrificação e lixiviação do nitrato, e 20% após a planta ter utilizado o N disponível no solo proveniente dos dejetos. Após ser utilizado pela planta, 10% não é aproveitado devido as perdas no campo, e 10% é perdido durante o armazenamento e distribuição da forragem para os animais.

Para Kelling, *et. al* (1998), a planta aproveita aproximadamente 45% do N disponível no solo oriundo dos dejetos, sendo que 30% esta disponível no primeiro ano de aplicação, 10% no segundo, e 5% no terceiro ano após a aplicação.

Já o P, segundo Wattiaux *et. al.* (2005), não sofre perdas durante a coleta, armazenamento e distribuição no campo. Sendo que 30% é perdido no solo, após a

aplicação, através da lixiviação e escoamento, e 20 % após a planta ter utilizado. Após a utilização pela planta, da mesma maneira como o N, 10% do P não é aproveitado devido as perdas no campo, e 10% é perdido durante o armazenamento e distribuição da forragem para os animais. Assim, aproximadamente 60% do P aplicado no solo através dos dejetos é aproveitado pela planta.

Segundo Huston, *et. al.* (1998) estimações de perdas de nutrientes para o ar, solo e água são difíceis, e o coeficiente de variação associado a elas pode chegar a variações de 50 a 200%.

Nos sistemas de produção estudados, os dejetos produzido pelos animais é utilizado para adubação das culturas, no entanto, não há um sistema eficiente de tratamento. Os dejetos produzido são depositado á céu aberto próximo do local onde é retirado, permanecendo ali até que seja espalhado nas culturas. Esse tipo de manejo faz com que ocorra grandes perdas de nutrientes. Segundo Histov *et. al.* (2011) dejetos com essas carateristicas de manejo podem chegar a perdas de até 70% de seus nutrientes, já Kohn *et. al.* (1997), menciona que práticas de manejo como armazenamento e distribuição dos dejetos diminuem entre 50 a 75% das perdas de nutrientes.

As quantidades de nutrientes que foram utilizadas nos sistemas estudados foram baixas (tabela 25 e 26), quando comparadas aos estudos de Keulen *et. al.*(2000), Ondersteijin *et. al.* (2002), Power *et. al.* (2002), Spears *et al.* (2003), Wattiaux *et. al.* (2005) e Kobayashi *et. al.* (2010). Para Oenema *et. al.* (2011) sistemas com balanço de nutrientes elevados podem melhorar suas eficiências, com a utilização de manejos que consideram técnicas de nutrição de precisão, aproveitamento dos resíduos como fertilizante e melhoria da produção de leite.

No trabalho de Spears *et al.* (2003), fica claro que decisões de cunho nutricional tem pouco impacto em reduzir as emissões de N e P. Mais importante que o manejo nutricional é a reciclagem desses nutrientes na própria propriedade. Dessa forma, o balanço de nutrientes mantem-se constante ou diminui ao longo dos anos, mostrando que os nutrientes estão sendo mais bem utilizados pelos animais.

O balanço do N em kg/ha no presente estudo, para os dois sistemas de produção (tabela 25), foram inferiores os valores relatados por Towns (2003) e Ondersteijin *et. al.* (2002), de 110 e 180 kg/ha respectivamente, e superiores ao encontrado por Power *et. al.* (2002), de 42 kg/ha. Já o balanço do P em kg/ha no presente estudo, para os dois sistemas de produção (tabela 26), foram superiores os valores relatados por Spears *et. al.* (2003), Ondersteijin *et. al.* (2002), e Power *et. al.* (2002), de 23, 13 e 19 kg/ha,

respectivamente, isso se deve as altas quantidades de P na forma de fertilizantes químicos sendo incorporado nos sistemas.

Steinshamn *et al.* (2004), compararam o balanço de nitrogênio e fósforo entre sistemas de produção que utilizam práticas de gestão de adubação orgânica, proveniente do adequado manejo de dejetos, com sistemas de adubação por fertilizantes químicos, e observaram que a diferença entre os sistemas em relação as perdas foram de 43% para o N e 61% para o P, deixando evidente que as práticas de manejo de dejetos dentro dos sistemas de produção, tem alto potencial de redução de perdas desses nutrientes.

A eficiência de utilização do N nos sistemas de produção (tabela 27), foram inferiores as apresentadas por Power *et al.* (2002) e Towns (2003) de 39,5 e 42,6%, e superiores as encontradas por Ondersteijin *et al.* (2002), Keulen *et al.* (2002) e Kobayashi *et al.* (2010) de 24,5; 24 e 14%. Isso se deve a menor quantidade de N que entra nos sistemas, em comparação aos trabalhos citados acima.

A eficiência de utilização do P, nos sistema de produção (tabela 27), foram inferiores as apresentadas por Ondersteijin *et al.* (2002), Keulen, *et al.* (2002) e Spears *et al.* (2003) de 43,6; 32 e 41,4%. O sistema B apresentou valor de eficiência de utilização de P semelhante ao encontrado por Power *et al.* (2002) e Kobayashi *et al.* (2010) de 20 e 18%, ja o sistema A apresentou valores inferiores. Essa baixa eficiência de utilização do P, se deve a elevada quantidade de fertilizantes químicos que entram nos sistemas, principalmente no sistema A.

A eficiência de utilização do N dos animais, encontram-se dentro da faixa sugerida por VandeHaar e St-Pierre (2006), de 20 a 30%. No entanto, o sistema A pode melhorar essa eficiência através do manejo nutricional. Segundo Byers (2007) e Hanigan e Knowlton (2010), há três formas de aumentar a eficiência de utilização do N: reduzindo o consumo de proteína bruta; aumentando a captação de aminoácidos pela glândula mamária; e estabelecendo melhor a relação dietética entre a proteína e a energia consumida pelos animais.

A eficiência de utilização do P dos animais, foi baixa, uma vez que segundo Hanigan e Knowlton (2010), a eficiência de utilização do P, é numericamente maior do que a eficiência de utilização do N podendo chegar a valores próximos a 45%.

Pesquisas fomentam o aumento da eficiência de utilização do P apenas reduzindo a concentração dietética do nutriente, a fim de ajustar a absorção à demanda diária do animal (Rotz, 2004; Hanigan e Knowlton, 2010). No entanto, para Rotz (2004), outra forma de aumentar a eficiência é pela adição de enzimas às dietas.

Após a análise do balanço de nutrientes, é possível identificar que há grandes quantidades de N e P sendo perdidas nos sistemas. Com isso, estratégias que minimizem essas perdas, como a melhoria no manejo nutricional e no manejo de dejetos, poderão diminuir a quantidade de fertilizantes comprado, melhorando a eficiência de utilização desses nutrientes dentro dos sistemas de produção de leite.

O manejo dos dejetos, principalmente no que se refere aos processos de armazenamento, poderão reduzir as perdas de N por volatilização e lixiviação, fazendo com que esse elemento permaneça fixado aos dejetos até sua utilização, o que também resultará em menores quantidade de fertilizantes químicos comprados.

Melhorias no manejo nutricional, principalmente no sistema A, com o uso de estratégias que visem o balanceamento das dietas a fim de promover melhores eficiências de utilização do N e P, devem ser implantadas. Em ambos os sistemas, as estratégias de alimentação devem ser melhoradas a fim de reduzir as entradas de alimentos, o que conseqüentemente refletirá em melhores valores de eficiência de utilização do N e P dos sistemas de produção de leite.

5. CONCLUSÃO:

O programa *QeeNP* pode ser utilizado para calcular a estimativa da excreção e eficiência de utilização do nitrogênio e fósforo em sistemas de produção de leite no Brasil.

O programa foi capaz de gerar estimativas coesas quanto a excreção e eficiência de utilização do nitrogênio e fósforo, apresentando o balanço desses nutrientes nos sistemas de produção de leite. De posse dessas informações foi possível identificar e indicar estratégias que visem reduzir as emissões e fontes de contaminação ambiental.

Através do programa, é possível realizar ensaios de estratégias, com a redução das entradas, porcentagem de utilização dos dejetos, e variações nos coeficientes técnicos. Com isso, torna possível administrar de forma mais eficiente os sistemas de produção de leite, tornando-os mais sustentáveis e competitivos.

6. BIBLIOGRAFIA

- BYERS, D. Practically dropping protein of diets to reduce nitrogen excretion. In: PROCEEDING OF THE 2007 FOUR-STATE DAIRY NUTRITION AND MANAGEMENT CONFERENCE. *Proceeding...* 2007. p. 98-100.
- CUNHA, D. N. V. **Avaliação de sistemas de produção de leite por meio de modelo dinâmico de simulação**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2008, 208p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 2008.
- HANIGAN, M.D., KNOWLTON, K.F. Nutritional approaches to maximize N and P efficiency. In: MID-SOUTH RUMINANT NUTRITION CONFERENCE. 2010. *Proceeding...* Arlington, Texas. 2010. p.27-38.
- HRISTOV, A.N.; HANIGAN, M.; COLE, A.; TODD, R.; McALLISTER, T.A. NDEGWA, P.M.; ROTZ, A. Review: Ammonia emissions from dairy farms and beef feedlots. **Canadian Journal of Animal Science**. v.91, p. 1:35, 2011.
- HRISTOV, A.N.; HAZEN, W.; ELLSWORTH, J.W. Efficiency of Use of Imported Nitrogen, Phosphorus, and Potassium and Potential for Reducing Phosphorus Imports on Idaho Dairy Farms. **Journal of Dairy Science**, v.89, p.3702-3712, 2006.
- JONKER, J.S.; KOHN, R.A.; HIGH, J. Dairy herd management practices that impact nitrogen utilization efficiency. **Journal of Dairy Science**, v. 85, p.1218-1226, 2002.
- KELLING, K. A.; BUNDY, L. G.; COMBS, S. M. ; PETERS, J. B. Peters. 1998. Soil test recommendations for field, vegetable, and fruit crops. University of Wisconsin-Extension publication A2809, 1998. 52p.
- KEULEN, H.; AARTS, H.F.M.; HABEKOTTÉ; VAN DER MEER, H.G.; SPIERTZ, J.H.J. Soil-plant-animal relations in nutrient cycling: the case of dairy farming system De Marke. **European Journal of Agronomy**, v.13, p.245-261. 2000.
- KOBAYASHI, R; YAMADA, A.; HIROOKA, H.; TABATA, Y. *et. al.* Changes in the cycling of nitrogen, phosphorus, and potassium in a dairy farming system. **Nutrient Cycling Agroecosyst**, v.87, p.295-306. 2010.
- KOHN, R. A.; DOU, Z.; FERGUSON, J. D.; BOSTON, R. C..A sensitivity analysis of nitrogen losses from dairy farms. **Journal of Environmental Management**, v. 50, p. 417-428, 1997.
- MARINI, J. C., and VAN AMBURGH, M. E. Partition of nitrogen excretion in urine and the feces of Holstein replacement heifers. **Journal of Dairy Science**, v.88, p.1778-1784, 2005.
- NENNICH, T. D.; HARRISON, J. H.; VANWIERINGEN, L. M. D. *et al.* Prediction of manure and nutrient excretion from dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.88, p.3721-3733, 2005.
- OENEMA, J.; VAN KEULEN, H.; SCHILS, R.L.M; AARTS, H.F.M. Participatory farm management adaptations to reduce environmental impact on commercial pilot

- dairy farms in the Netherlands. **Wageningen Journal of Live Science**. V. 58. P. 39-48. 2011.
- OENEMA, O.; PIETRZAK, S. Nutrient management in food production: Achieving agronomic and environmental targets. **Ambio: A Journal of the Human Environment**, v.31, p.159-168, 2002.
- ONDERSTIJN, C. J. M.; BELDMAN, A. C. G.; DAATSELAAR, C. H. G.; GIESEN, G. W. J.; HUIRNE, R. B. M. The Dutch mineral accounting system and the European nitrate directive: implications for N and P management and farm performance. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. V. 92, p.283-296, 2002.
- POWER, I.; LEGARD, S.; MONAGHAN, R. 2002. Nutrient budget for three mixed farming catchments in New Zealand. Ministry of Agriculture and Forestry Technical paper No: 2002/17 MAF information Bureau, Wellington, NZ, 2002, 42p. Disponível: <http://www.maf.govt.nz/publications>. Acesso: 20/11/2010.
- RASMUSSEN, C.N.; RISTOW, P.; KETTERINGS, Q. M. Whole Farm Nutrient Balance Calculator: user's manual. Cornell University: Ithaca, NY. 19p. 2011
- ROTZ, C. A. Management to reduce nitrogen losses in animal production. **Journal of Animal Science**, v.82, (Suppl.) p.E119-E137, 2004.
- SPEARS, R. A.; YOUNG, A. J.; KOHN, R.A. Whole-farm phosphorus balance on Western dairy farms. **Journal of Dairy Science**. V. 86, p. 4178-4186, 2003.
- STEINSHAMN, H.; THEN, E.; BLEKEN, M.A.; BRENOE, U.T.; ELERHULT, G.; YRI, C. Utilization of nitrogen (N) and phosphorus (P) in an organic dairy farming system in Norway. **Agricultural Ecosystems Environmental**. v.104, p.509-522, 2004
- TAMMINGA, S. Pollution due to nutrient losses and its control in European animal production. **Livestock Production Science**, v.84, p.101-111, 2003.
- TAMMINGA, S.; VERSTEGEN, M.W.A. Implications of nutrition of animals on environmental pollution. In: RECENT ADVANCES IN ANIMAL NUTRITION, 1992, Butterworth-Heinemann Ltd. Garsworthy, P.C.; Haresign, W. Cole, D. J. A. 1992, 223p.
- TAMMINGA, S. A Review on Environmental Impacts of Nutritional Strategies in Ruminants. **Journal of Animal Science**, v.74, p.3112-3124, 1996.
- TOWNS, B.J. Nitrogen flow and balance on Wisconsin dairy/cropping operations. Master's Thesis, University of Wisconsin Madison, 2003, p.128.
- VANDEHAAR, M.J.; ST-PIERRE, N. Major Advances in Nutrition: Relevance to the Sustainability of the Dairy Industry. **Journal of Dairy Science**, v.89, p.1280-1291, 2006.
- WATTIAUX, M. A.; PELLERIN, D.; FLIS, S. A.; CHARBONNEAU, E. Economic and Environmental analysis of whole-farm nitrogen and phosphorus balance and

cycling I mixed livestock-crop farms. AHAT-BSAS- International Conference, 2005.

WILKERSON, V. A.; MERTENS, D. R.; CASPER, D. P. Prediction of excretion of manure and nitrogen by Holstein dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.80, p.3193-3204, 1997.