

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS DOIS VIZINHOS  
CURSO DE BACHARELADO EM ZOOTECNIA

RAQUEL SUZANE KÖLLN

**AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE OTIMIZAÇÃO DE RAÇÕES PARA  
VACAS LEITEIRAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DOIS VIZINHOS

2014

RAQUEL SUZANE KÖLLN

**AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE OTIMIZAÇÃO DE RAÇÕES PARA  
VACAS LEITEIRAS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao curso de Zootecnia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos, como requisito à obtenção de título de ZOOTECNISTA.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Sampaio Henrique

DOIS VIZINHOS

2014



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Dois Vizinhos  
Gerência de Ensino e Pesquisa  
**Curso de Zootecnia**



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**TCC**

### **AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE OTIMIZAÇÃO DE RAÇÕES PARA VACAS LEITEIRAS**

Autora: Raquel Suzane Kölln

Orientador: Prof. Dr. Douglas Sampaio Henrique

TITULAÇÃO: Zootecnista

APROVADA EM: 13 de Agosto de 2014.

---

**Rafael Batista**  
**Aluno PPGZO**

---

**Prof. Dr. Magnos Fernando Ziech**

---

**Prof. Dr. Douglas Sampaio Henrique**  
**(Orientador)**

Ao meu pai Paulo Nelson Kölln.

A minha mãe Helenice Maria Rovani Kölln.

A minha irmã Aline Diane Kölln.

Ao meu irmão Oriel Tiago Kölln e minha cunhada Catarinie Diniz Pereira.

## AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e Nossa Senhora que me ajudou nos momentos de tristeza, decepção, falta de vontade e onde sempre encontrei refugio.

Ao meu pai Paulo, pelo seu exemplo de vida, superação e força de vontade; demonstrando ser sempre um homem muito forte e corajoso, mesmo nos momentos mais difíceis que passou.

A minha mãe Helenice por estar comigo em todos os momentos, demonstrando sempre ser uma mulher religiosa, com muita força de vontade, zelando sempre por nossa família.

Aos dois (Paulo e Helenice), por me dar força nos momentos de maior dificuldade e jamais me fazerem desistir. Por todo incentivo dado, serei eternamente grata.

A minha irmã Aline, por ser minha amiga, minha companheira e minha confidente. Por estar sempre por perto nos momentos que precisei.

Ao meu irmão Oriel e minha cunhada Catarinie, que são uns guerreiros na busca de seus objetivos, que sempre me inspiraram na minha vida acadêmica, que tanto torcem por mim, pelo apoio e pelo carinho.

Ao meu grande amigo e namorado Rafael, que me entendeu, me ajudou e me deu forças nessa reta final, se mostrando um fiel companheiro.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, em especial ao departamento de Zootecnia, pela oportunidade de realização do curso.

Especial agradecimento ao professor, Dr. Douglas Sampaio Henrique por ter sido meu orientador e ter me ajudado a superar as dificuldades, pelas críticas, conselhos, paciência e tempo dedicado para sugestões e por toda contribuição. Agradeço pela oportunidade de convívio e seu exemplo como profissional.

Ao professor Dr. Fernando Kuss, que nesses 3,5 anos de PET, me ajudou muito na minha formação profissional e pessoal. Agradeço pelo incentivo, confiança, pela transmissão de conhecimentos e pela convivência.

A todos do Grupo PET- Produção Leiteira por todos os momentos bons que passamos juntos, viagens, eventos, trabalhos e reuniões, com certeza vou lembrar pra sempre.

As minhas amigas Ediane, Anna Flávia, Andréia e Érica, por todos os momentos agradáveis, pelos conselhos, risos, enfim, por toda felicidade que me proporcionaram nesse tempo juntas.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização desse trabalho.

## RESUMO

KÖLLN, Raquel S. **Avaliação de um sistema de otimização de rações para vacas leiteiras.** 2014. 37f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia) – Programa de Graduação em Zootecnia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2014.

O trabalho foi conduzido para avaliar um programa de otimização de rações para vacas leiteiras com base numa planilha do Microsoft® Excel®, programada com equações para calcular as exigências nutricionais de vacas leiteiras e o fornecimento de nutrientes dos alimentos. Os dados sobre, raça, dias de lactação, produção de leite diária, consumo médio diário observado, teor de gordura do leite e composição da ração foram inseridos como entrada no programa. Foram utilizadas 58 informações publicadas em artigos científicos e a comparação foi através dos resultados do programa com o observado. Os dados sobre consumo de matéria seca (CMS) e composição da ração foram inseridos como entrada no programa para que fosse estimada uma produção de leite por meio das equações do mesmo. Posteriormente, a produção de leite estimada foi comparada com a produção observada. Uma segunda avaliação foi realizada usando como entrada os dados de produção de leite para que o programa estimasse o consumo de matéria seca. Neste caso, também foram comparadas as estimativas do programa com os dados reais de CMS observados. O consumo de matéria seca predito foi subestimado pelo programa na maioria dos casos. Isso se deve a fatores climáticos e características da dieta, que não são considerados no programa. Além disso, variações individuais dos animais também podem interferir no consumo. A produção de leite estimada foi em média 11% superior à produção observada. Esse resultado deve-se a alguns trabalhos pesquisados, em que, a avaliação nutricional completa dos alimentos utilizados nas dietas não estavam disponíveis e por isso, foram utilizados valores tabelados, o que pode ter interferido nas predições. Foi realizada também uma comparação entre o consumo de energia líquida e de proteína metabolizável com suas exigências fornecidas pelo programa. As rações tinham 15% e 7% de sobra nos níveis de energia líquida e proteína metabolizável, respectivamente. O programa se mostrou uma ferramenta útil para avaliação de dietas de vacas leiteiras em situações de campo, mas suas predições podem melhorar por meio da avaliação bromatológica dos constituintes da dieta.

**Palavras-chave:** Consumo de Matéria Seca. Produção de Leite. Modelos de Simulação.

## ABSTRACT

KÖLLN, Raquel S. **Evaluation of a system for optimization of feed for dairy cows.** 2014. 37 sheets. Completion of course work (Bachelor of Animal Science) - Graduate Program in Animal Science. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2014.

The work was conducted to evaluate a program of optimization of feed for dairy cows based on a Microsoft Excel spreadsheet, programmed with equations to calculate the nutritional requirements of dairy cows and the supply of nutrients from food. Data on race day lactation, daily milk yield, average daily consumption observed in fat composition of milk and feed were inserted as input in the program. Information published in 58 scientific articles and has been through the comparison of program results with observed were used. Data on dry matter intake (DMI) and the feed composition were entered as input to the program it was estimated a production of milk by means of the same equations. Subsequently, the estimated milk production was compared with that observed. Subsequently, the estimated milk production was compared with that observed. A second evaluation was performed using as input data to produce milk for the program estimated an intake of dry matter. In this case, the estimates were also compared the program with the actual observed data from CMS. The intake of dry matter was predicted by the program underestimated in most cases. This is due to climatic factors and dietary characteristics, which are not considered in the program. In addition, individual variations can also interfere with the animal consumption. Milk production was estimated on average 11% higher than the observed production. This result is due to some studies reviewed, in which the complete nutritional assessment of foods used in the diets were not available and therefore, tabulated values, which may have interfered in the predictions were used. A comparison between the use of net energy and metabolizable protein to your requirements provided by the program was also held. The diets were 15% and 7% levels of liquid left in the metabolizable energy and protein, respectively. The program proved to be a useful tool for assessing diets for dairy cows in field situations, but their predictions can improve through chemical evaluation of dietary constituents.

**Keywords:** Consumption of Dry Matter. Milk Production. Simulation Models.

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - DISPERSÃO DA PRODUÇÃO DE LEITE SOBRE CONSUMO DE MATÉRIA SECA.....	28
GRÁFICO 2 - DISPERSÃO DO CONSUMO DE MATÉRIA SECA PREDITO SOBRE CONSUMO DE MATÉRIA SECA OBSERVADO.....	29
GRÁFICO 3 - DISPERSÃO DA PRODUÇÃO DE LEITE ESTIMADA SOBRE A PRODUÇÃO DE LEITE OBSERVADA.....	30
GRÁFICO 4 - DISPERSÃO DO CONSUMO DE ENERGIA LÍQUIDA TOTAL SOBRE A EXIGÊNCIA DE ENERGIA LÍQUIDA.....	31
GRÁFICO 5 - DISPERSÃO DO CONSUMO DE PROTEÍNA METABOLIZÁVEL SOBRE A EXIGÊNCIA DE PROTEÍNA METABOLIZÁVEL.....	31



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	11
2.1 OBJETIVO GERAL .....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA</b> .....	12
3.1 IMPORTÂNCIA DA PECUÁRIA LEITEIRA.....	12
3.2 MODELOS DE OTIMIZAÇÃO .....	13
3.3 APLICABILIDADE PRÁTICA DOS MODELOS DE AVALIAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE RAÇÕES .....	16
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	18
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	28
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	32
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	33
<b>APÊNDICE</b> .....	37

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil se destaca no setor agropecuário pela excelência dos trabalhos desenvolvidos com a pecuária de leite e de corte. A importância do rebanho brasileiro é indiscutível, tendo relevante papel social, tanto como gerador de emprego, como fornecedor das principais fontes de proteína animal (RENÓ, 2005).

A produção brasileira de leite atingiu 32,3 bilhões de litros de leite no ano de 2012 (IBGE, 2013). Porém os sistemas de produção de leite brasileiros são bastante heterogêneos, variando quanto ao perfil tecnológico utilizado, escala de produção, capacidade gerencial e padrão racial dos rebanhos. Entretanto para atingir elevada eficiência produtiva, bom manejo nutricional e condições adequadas de conforto aos animais devem ser atendidas independente do sistema de produção.

Para melhorar a lucratividade da propriedade rural e ter uma boa eficiência produtiva é necessário diminuir os gastos com a alimentação, uma vez que esta corresponde a 70% do custo de produção. Um dos meios que ajudam neste processo são programas de otimização de rações, que visam balancear rações com o custo mínimo (RENÓ, 2005).

Os programas consistem na representação de determinada realidade mediante a utilização de meios artificiais, com a finalidade de obter informações relativas a determinado evento ou conjunto de eventos que, isolado ou simultaneamente, podem ocorrer dentro dos limites que caracterizam o objeto de estudo (MERTENS, 1976).

Tal processo compreende o desenvolvimento e a aplicação de modelos para o estudo da dinâmica das relações existentes em determinado sistema; portanto, a operação de modelos físicos, matemáticos ou de ambos, para obtenção de predições relativas ao possível comportamento das variáveis reais, é o resultado direto dos estudos de simulação (MERTENS, 1976).

Segundo Lima (2001), para facilitar o estudo de alternativas ótimas de manejo em função dos diferentes setores que compõe um sistema de produção, os modelos de simulação, muitas vezes, são delineados para serem utilizados em setores específicos do sistema de produção de leite e permite a integração da informação em formas mais utilizáveis, melhorando a capacidade de administração dos recursos, o que resulta em um processo otimizado de tomada de decisão. Vários são os modelos de simulação desenvolvidos em diferentes países e instituições de ensino e pesquisa.

A validação de modelos de simulação aplicados à produção animal, por meio da comparação de dados reais e simulados, baseados em dados de entrada idênticos, ou mesmo

por meio de testes de adequação do ajuste dos modelos, deve ser realizada com mais frequência para obtermos predições de consumo mais aceitáveis para a realidade do meio rural.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho foi conduzido para avaliar um programa de otimização de rações para vacas em lactação.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Aplicar um sistema para avaliação de dietas e otimização de rações para vacas leiteiras baseado nas equações do NRC (2001).

Avaliar o sistema por meio da comparação de suas predições com dados obtidos na literatura especializada.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 IMPORTÂNCIA DA PECUÁRIA LEITEIRA

A produção de leite de bovinos no Brasil em 2012 foi de 32,3 bilhões de litros de leite o que confere ao país a quarta maior produção de leite do mundo, atrás apenas dos Estados Unidos, Índia e China (FAO, 2014).

A número de propriedades produtoras de leite no Brasil é 1,35 milhões, realizando uma estimativa que há no mínimo, duas pessoas por estabelecimento, representa 2,6 milhões de pessoas trabalhando com a atividade do leite no país, gerando emprego e renda (IBGE, 2014). Entretanto, parte da produção ainda provém de animais de baixa produtividade, e tem aumentado de maneira modesta desde 2001. Entre 2001 e 2010, a produção cresceu 19%, 1.127 para 1.340 litros anuais por vaca (IBGE, 2014).

As justificativas para este baixo desempenho na produtividade em nível nacional são que aproximadamente 90% dos sistemas de produção de leite são extensivos, e que nestes a pastagem corresponde a 85% da dieta, sendo assim os problemas nutricionais e de manejo são os maiores responsáveis pelo desempenho produtivo. Deficiências na qualidade das pastagens e o volume inadequado ofertado aos animais, são problemas que influenciam e muito a produção, contribuindo para isso, a falta de correção dos solos, adubação inexistente e ineficiente, lotação incorreta, plantas invasoras, pragas e escolha incorreta de espécies adaptadas às regiões (SEAB, 2014).

O Estado do Paraná no ano de 2010, produziu 3,6 milhões de toneladas de leite, participando com 11,7% da produção brasileira e ocupando a terceira colocação, ficando atrás somente do estado de Minas Gerais com 27,3% da produção nacional de leite e Rio Grande do Sul por 11,8% (IBGE, 2014). Dentro do estado as principais Bacias Leiteiras do Estado são: Sudoeste, Centro Oriental (Campos Gerais) e Oeste, as quais concentram 48,5% dos produtores e 53% da produção estadual de leite (SEAB, 2014).

A região Sudoeste do Paraná, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2014), possui 27.355 mil estabelecimentos agropecuários, dos quais 61,3% do total exploram de forma econômica a atividade leiteira, sendo a maior produtora do estado. Dados apontam uma redução no número de propriedades leiteiras, na região sudoeste, de 47.277 (1996) para 44.632 (2006), ou seja, uma variação de 5,59%, que é caracterizada por pequenas propriedades de até 50 ha (VIEIRA et al; 2011).

A região produz quase um bilhão de litros de leite por ano, conforme a Secretaria de Agricultura e do Abastecimento do Paraná, 2012. Representando 3 % da produção brasileira e 26,5 % da produção paranaense. Os 42 municípios aumentaram a produção de 900 mil litros em 2011, para um total em 2012 de 998,8 mi litros de leite. A tendência é que, no próximo resultado divulgado, a região Sudoeste ultrapasse a marca de um bilhão de litros e se fortaleça ainda mais como referência na bovinocultura leiteira (SEAB, 2014).

As perspectivas para o setor leiteiro são excelentes, com alto potencial de crescimento e eficiência produtiva. Algumas estratégias que podem ser adotadas são: tecnificação das propriedades; maior uso e difusão de biotecnologias de reprodução; melhor qualidade nutricional das dietas ofertadas aos rebanhos leiteiros; utilização de subprodutos regionais e redução de custos (RENÓ, 2005).

Para atender essas estratégias os modelos de simulação de dietas são uma ótima ferramenta, melhorando a tecnificação da propriedade, diminuindo os custos com a alimentação, possibilitando um produto de qualidade para a venda e simplificando a tomada de decisão.

### 3.2 MODELOS DE OTIMIZAÇÃO

Os animais em lactação possuem uma alta exigência de nutrientes, seja animais mantidos em sistema a pasto ou confinados, nestas situações as predições de consumo são de fundamental importância para a eficácia no sistema de produção. Neste contexto os modelos de simulação são uma ferramenta ótima pra predizer o consumo dos animais.

A possibilidade de simular cenários a partir de dados que levem em consideração os fatores mutáveis dentro de um sistema de produção, contribui para o processo de tomada de decisão. O grande ganho com o uso de modelos é a forma rápida com que se pode eleger sistemas de produção viáveis bioeconomicamente, tanto em nível de propriedade quanto em pesquisa (FONTOURA JÚNIOR et al., 2007)

Desde o final da década de 60 que os modelos matemáticos de simulação têm auxiliado na abordagem globalizada dos problemas que envolvem sistemas agrícolas. Tal modo de observação da realidade, integrado e multidisciplinar, constitui o atributo fundamental do que, usualmente, se designa investigação dos sistemas de agricultura. É provável que, em breve, todos os pesquisadores ou profissionais que atuam em pesquisa,

ensino ou extensão tenham a tarefa de desenvolver modelos capazes de simular situações específicas da sua área de conhecimento (FONTOURA JÚNIOR et al., 2007).

Os primeiros modelos de simulação utilizados em rebanhos leiteiros foram desenvolvidos por Smith (1975), analisando os custos de produção, maximizando os lucros do rebanho com os custos de alimentação, neste estudo foram utilizadas equações de lucratividade para melhorar a renda bruta da atividade. Holman et al. (1984), realizaram uma simulação envolvendo o intervalo entre partos de vacas de leite e maximização da lucratividade do rebanho simulado, observando que dependendo do nível de produção de leite, valores maiores de intervalo entre partos podem comprometer o desempenho econômico de rebanhos leiteiros.

Congleton Jr (1984), desenvolveu um sistema de simulação utilizando um modelo de programação dinâmica para simular informações detalhadas de características biológicas e econômicas de vacas leiteiras. Hogeveen et al. (1991) construíram um modelo e sistema de suporte a decisão, baseado no conhecimento, contendo informações referentes a produção, saúde dos animais e aspectos financeiros do sistema de produção.

Nem sempre uma dieta de menor custo reverte em maior lucratividade para o produtor. A dieta de custo mínimo pode não ser a de maior lucratividade, pois pequenos incrementos no custo podem resultar em grandes aumentos de desempenho. Alguns nutricionistas procuraram desenvolver modelos que, além de calcular dietas de custo mínimo que atendem às exigências nutricionais, determinem as taxas de ganho de peso que maximizem o retorno econômico. Para atingir estes objetivos seriam necessários modelos não-lineares capazes de estimar os processos biológicos de ingestão, digestão e metabolismo de nutrientes para crescimento. Um destes modelos é o CNCPS (Cornell Net Carbohydrate and Protein System) que foi adaptado e validado para alimentos e animais presentes em condições tropicais (LANNA; TEDESCHI; BELTRAME FILHO, 1999).

No sistema de *Cornell*, desenvolvido com o objetivo de avaliar melhor as dietas dos bovinos, visando minimizar as perdas de nutrientes e buscar a maximização da eficiência de crescimento dos microrganismos do rúmen (VAN SOEST, 1994). Nesse sistema, o submodelo relativo ao trato gastrointestinal é constituído de equações que, a partir de determinações com base em métodos químicos e biológicos, permitem estimar a dinâmica ruminal e pós-ruminal dos nutrientes dietéticos, o crescimento microbiano em nível de rúmen e, conseqüentemente, o aporte de energia e proteína metabolizáveis. Torna-se imperativo, portanto, verificar a exatidão de tais estimativas para o aprimoramento desse modelo matemático, bem como dos modelos físicos (métodos biológicos) usados na obtenção das

estimativas dos parâmetros do modelo, para que seja avaliada sua aplicabilidade sob várias condições de alimentação. A melhor maneira de verificar a aplicabilidade de determinado modelo consiste na comparação dos valores preditos com as estimativas obtidas no sistema real.

O NRC (1989) é baseado no balanço energético, este método foi designado para estimativas durante períodos mais longos, e não para estimativas por curto intervalo de tempo. Para isso, seriam necessárias estimativas das alterações na massa corporal e determinação correta do teor energético das dietas.

Diante disso, o NRC (2001) passou a incluir uma equação empírica para estimar o consumo de Matéria Seca (CMS) em curtos intervalos de tempo. Nesse caso, a predição da CMS é baseada em dados reais, com a inclusão de fatores ligados ao animal, que poderiam ser facilmente medidos ou conhecidos. Os componentes da dieta não foram incluídos nos modelos para vacas em lactação, pelo fato de que a maior parte das formulações para bovinos leiteiros envolvem inicialmente as exigências e a estimativa de IMS, antes que os ingredientes a serem utilizados sejam considerados.

Sistemas atuais de estimação das exigências nutricionais e energéticas dos animais (NRC, 2001) consideram as interações entre alimentos, energia e proteína, de maneira que as referidas exigências, expressas na base diária, podem variar segundo as características dos alimentos utilizados. Isto tem contribuído para adequação de dietas para vacas leiteiras, permitindo, por exemplo, reduções consideráveis no fornecimento de proteína e excreção de nitrogênio pelos animais.

Os principais fatores que influenciam a quantidade de alimento a ser ingerida são as limitações relativas ao alimento, ao animal e ao manejo e ao ambiente. E também as condições de alimentação disponibilizados com diferenças na concentração energética, disponibilidade, odor, sabor, textura, temperatura, forma de apresentação dos alimentos, equilíbrio nutritivo da dieta, idade, doenças, ambiente, disponibilidade de água, entre outros (NRC, 2001).

Nussio e Nussio (2003), afirmam que programas de alimentação de bovinos leiteiros devem ser baseados em função das necessidades dos animais em termos de ingestão de nutrientes, ao longo de uma lactação ou período produtivo, considerando as modificações nas exigências destes animais nas diferentes etapas do ciclo produtivo. Estes autores foram os primeiros a elaborar uma avaliação da eficiência bioeconômica de estratégias de alimentação, utilizando técnicas de simulação.



Apesar da importância da informática, o uso de programas computacionais de gerenciamento na pecuária ainda é reduzido, situando-se em torno de 12%. Embora os avanços da informática tenham possibilitado o desenvolvimento de programas capazes de efetuar análises de risco com relativa facilidade, estas são feitas apenas de forma determinística, ou seja, a partir de parâmetros fixos.

### 3.3 APLICABILIDADE PRÁTICA DOS MODELOS DE AVALIAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE RAÇÕES

Na agropecuária, o produto final do produtor é uma resposta biológica, as receitas geradas por esse produto são monetárias, dependentes do mercado. Por esse motivo o processo de tomada de decisão do produtor rural é complexo e quase sempre marcado por múltiplos objetivos, sendo que alguns não são de natureza econômica.

A produção de leite de cada animal é influenciada pela sua potencialidade genética e pelo ambiente, sua produção será máxima se a alimentação for adequada. Por outro lado, se um animal for alimentado em demasia, não produzirá mais leite ou leite com maior teor de gordura do que a sua capacidade permite, isto é, o animal não aproveita o excesso de alimentação para a produção de leite (PETRY; PAGLIARINI, 2009).

Devido a grande variação nos sistemas de produção de leite existentes no Brasil, são inúmeras as possibilidades para a implementação dos índices de produtividade, onde um dos elementos é o estabelecimento de metas e o cumprimento destas para se ter modificações no sistema de produção, principalmente quando se refere a utilização de um nível tecnológico empregado (RENNÓ, 2005).

Além do conhecimento técnico é essencial que o produtor disponha de informações biológicas e financeiras que permitam gerir sua atividade. Tais informações devem ser obtidas a partir de uma coleta de dados oriundos do processo produtivo. Para isso é preciso controle zootécnico, profissionais qualificados e ferramentas que favoreçam a gestão, tais como o uso de planilhas eletrônicas para armazenamento e processamento de dados. Mais que gerar dados e índices é preciso interpretá-los e redirecionar o processo produtivo a partir dessas avaliações (FONTOURA JÚNIOR et al., 2007).

O uso indiscriminado de estimativas obtidas sob diferentes circunstâncias pode dificultar a predição do valor nutritivo dos alimentos e do desempenho animal sob condições

práticas de alimentação (VAN SOEST, 1994). Para evitar os ajustes de natureza subjetiva, os estudos que visam à determinação do valor nutritivo dos alimentos devem se basear em condições dietéticas próximas às que se deseja inferir, e, assim, tornar prático o uso de determinado conjunto de dados nos estudos de simulação, para avaliação e formulação de dietas para bovinos.

O desejo dos produtores de leite também não foge a essa regra, o que justifica a realização de pesquisas nesta área. Baseando-se em pesquisas desta natureza, muitos produtores fazem investimentos significativos no que se refere à alimentação dos bovinos (principalmente os que estão em lactação), para que seus animais atinjam o máximo de sua capacidade de produção leiteira, porém, sem levar em consideração o custo dessa produção (PETRY; PAGLIARINI, 2009).

Nos sistemas de produção em que os fazendeiros usam grandes quantidades de alimentos concentrados, existe a necessidade de se trabalhar com animais de alto potencial para a produção, de maneira que haja possibilidade de se obter rentabilidade no setor. Esse fato às vezes não acontece quando os animais são tratados de forma uniforme, sem levar em consideração suas individualidades, o que provoca desperdícios ou a falta de determinados nutrientes para a adequada produção de leite (PETRY; PAGLIARINI, 2009).

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Universidade Tecnológica Federal da Paraná - Campus Dois Vizinhos, utilizando uma planilha eletrônica do Microsoft Excel® programada com algumas equações do NRC (2001), para calcular as exigências nutricionais de vacas leiteiras e o fornecimento de nutrientes dos alimentos e modificações baseadas nos conceitos discutidos por Mertens (1987), para estimar o consumo máximo de matéria seca, que segundo o autor pode ser limitado pela relação entre a demanda e o consumo de energia do animal ou pela concentração de fibra na ração e a capacidade máxima de acomodação de material fibroso no retículo-rúmen.

As equações utilizadas foram as seguintes:

Consumo de matéria seca de vacas leiteiras

$$CMS = [0,372 \times LCG + 0,0968 \times (MC - M_{concep})^{0,75}] \times \{1 - e^{[-0,192 \times (SL + 3,67)]}\} \quad (1)$$

Em que: CMS : Consumo de matéria seca ; LCG: Leite corrigido para 4% de gordura, MC: massa corporal,  $M_{concep}$ : Massa do concepto e SL: semana de lactação.

$$LCG = 0,4 \times Produção + 15 \times \%Gor / 100 \times Produção \quad (2)$$

Em que: LCG: Leite corrigido para 4% de gordura; produção: produção de leite; %Gor: porcentagem de gordura no leite.

$$CFDN_{max} = 12 \times MC / 1000 \quad (3)$$

Em que:  $CFDN_{max}$ : Consumo de fibra em detergente neutro máxima; MC: Massa Corporal

$$CMS_{max\ fibra} = \frac{CFDN_{max}}{FDN/100} \quad (4)$$

Em que:  $CMS_{max.fibra}$ : Consumo máximo de matéria seca limitado pela fibra;  $CFDN_{max}$ : Consumo de fibra em detergente neutro máxima e FDN: Fibra em detergente neutro digestível.

Exigências de Manutença

$$EL_m = 0,080 \times (MC - M_{concep})^{0,75} \quad (5)$$

Em que:  $EL_m$ : Exigência de energia líquida de manutenção, MC: Massa Corporal e  $M_{concep}$ : Massa do concepto.

Exigências de Lactação

$$[E_{Leite}] = 0,360 + (0,0969 \times \%G) \quad (6)$$

Em que:  $[E_{Leite}]$ : Concentração energética do leite e %G: porcentagem de gordura no leite

$$EL_l = [E_{Leite}] \times Produção \quad (7)$$

Em que:  $EL_l$ : Exigência em energia líquida de lactação;  $[E_{leite}]$ : Concentração energética do leite e Produção: produção de leite.

Exigências de Gestação

$$EL_c = [(0,00318 \times D - 0,0352) \times (MBN/45)] / 0,218 \quad (8)$$

Em que:  $EL_c$ : Exigência em energia líquida de gestação; D: dias de gestação e MBN: massa do bezerro ao nascimento.

Reservas Corporais:

Para cada kg de massa corporal ganha somar 4,5 Mcal/d às exigências

Para cada kg de massa corporal perdida descontar 3,82 Mcal/d das exigências de lactação.

Exigências de proteína:

Proteína de descamação da pele

$$P_{desc} = 0,3 \times (MC - M_{concep})^{0,6} \quad (9)$$

Em que:  $P_{desc}$ : Exigência de proteína para repor as perdas por descamação de pele e pelos;

MC: Massa Corporal e  $M_{concep}$ : Massa do concepto.

Proteína urinária:

$$P_{uri} = 4,1 \times (MC - M_{concep})^{0,5} \quad (10)$$

Em que:  $P_{uri}$ : Perda proteica urinária; MC: Massa Corporal e  $M_{concep}$ : Massa do concepto.

$$M_{concep} = \{18 + [(D - 190) \times 0,665]\} \times (MBN / 45) \quad (11)$$

Em que:  $M_{concep}$ : Massa do concepto, D: dias de gestação e MBN: massa do bezerro ao nascimento.

Proteína metabólica fecal:

$$P_{fec} = CMS \times 1000 \times 0,03 - 0,5 \times [(PM_{Bact} / 0,8) - PM_{Bact}] \quad (12)$$

Em que:  $P_{fec}$ : Perda de proteína metabólica fecal; CMS: Consumo de matéria seca e  $PM_{bact.}$ :

Proteína metabolizável bacteriana.

Proteína metabolizável endógena:

$$P_{endo} = (PBE \times 0,4) / 0,67 \quad (13)$$

Em que:  $P_{endo}$ : Perda de proteína endógena e PBE: Proteína bruta endógena

$$PBE = 11,8 \times CMS \quad (14)$$

Em que: PBE: Proteína bruta endógena e CMS: Consumo de matéria seca

Exigência de proteína metabolizável de manutenção:

$$PM_m = P_{desc} + P_{uri} + P_{fec} + P_{endo} \quad (15)$$

Em que:  $PM_m$ : Exigência em proteína metabolizável para a manutenção;  $P_{desc}$ : Exigência de proteína para repor as perdas por descamação de pele e pelos;  $P_{uri}$ : Perda proteica urinária;  $P_{fec}$ : Perda de proteína metabólica fecal e  $P_{endo}$ : Perda de proteína endógena.

Exigência de proteína para lactação:

$$PM_l = \frac{\text{produção} \times \%P / 100}{0,67} \times 1000 \quad (16)$$

Em que:  $PM_l$ : Exigência em proteína metabolizável para a lactação; produção: produção de leite; % P: porcentagem de proteína.

Exigência de proteína para gestação:

$$PM_c = \frac{[(0,69 \times D) - 69,2] \times (MBN / 45)}{0,33} \quad (17)$$

Em que:  $PM_c$ : Exigência em proteína metabolizável para a concepção; D: dias de gestação e MBN: massa do bezerro ao nascimento.

Cálculo do NDT:

$$CNFdv = 0,98 \times \{100 - [(FDN - PIDN) + PB + EE + MM]\} \times FP \quad (18)$$

Em que:  $CNF_{dv}$ : Carboidrato não fibroso digestível;  $FDN$ : Fibra em detergente neutro;  $PIDN$ : proteína insolúvel em detergente neutro;  $PB$ : Proteína Bruta;  $EE$ : estrato etéreo;  $MM$ : matéria mineral e  $FP$ : Fator processamento.

$$PB_{dv} = PB \times \exp[-1,2 \times (PIDA / PB)] \text{ Forragens} \quad (19)$$

Em que:  $PB_{dv}$ : Proteína bruta digestível;  $PIDA$ : proteína insolúvel em detergente ácido  $PIDN$ : proteína insolúvel em detergente neutro e  $PB$ : Proteína Bruta.

$$PB_{dv} = [1 - (0,4 \times (PIDA / PB))] \times PB \text{ Concentrados} \quad (20)$$

Em que:  $PB_{dv}$ : Proteína bruta digestível;  $PIDA$ : proteína insolúvel em detergente ácido e  $PB$ : Proteína Bruta.

$$AG_{dv} = AG \quad (21)$$

Em que:  $AG_{dv}$ : Ácidos graxos digestíveis e  $AG$ : Ácidos graxos..

$$FDN_{dv} = 0,75 \times [(FDN - PIDN) - LIG] \times \{1 - [LIG / (FDN - PIDN)]^{0,667}\} \quad (22)$$

Em que:  $FDN_{dv}$ : Fibra em detergente neutro digestível;  $FDN$ : Fibra em detergente neutro;  $PIDN$ : proteína insolúvel em detergente neutro e  $LIG$ : lignina.

$$[NDT] = CNF_{dv} + PB_{dv} + (AG_{dv} \times 2,25) + FDN_{dv} - 7 \quad (23)$$

Em que:  $[NDT]$ : Concentração de nutrientes digestíveis totais;  $CNF_{dv}$ : Carboidrato não fibroso digestível;  $PB_{dv}$ : Proteína bruta digestível;  $AG_{dv}$ : Ácidos graxos digestíveis e  $FDN_{dv}$ : Fibra em detergente neutro digestível.

Cálculo da concentração de energia líquida da ração

$$[ED] = 4,409 \times \frac{[NDT]}{100} \quad (24)$$

Em que: [ED]: Concentração de energia digestível e [NDT]: Concentração de nutrientes digestíveis totais.

$$[EM] = [ED] \times 0,82 \quad (25)$$

Em que: [EM]: Concentração de energia metabolizável e [ED]: Concentração de energia digestível.

$$[EL_L] = 0,703 \times [EM] - 0,19 \quad (26)$$

Em que: [EL L]: Concentração de energia líquida para a lactação e [EM]: Concentração de energia metabolizável.

Cálculo do consumo de proteína

$$CPB = CMS \times \frac{[PB]}{100} \times 1000 \quad (27)$$

Em que: CPB: Consumo de proteína bruta; CMS: Consumo de matéria seca e [PB] concentração de proteína bruta.

$$CA = CPB \times \frac{[A]}{100} \quad (28)$$

Em que: CA: Consumo de proteína fração A; CPB: Consumo de proteína bruta e [A]: Concentração de fração de A.



$$CB = CPB \times \frac{[B]}{100} \quad (29)$$

Em que: CB: Consumo de proteína fração B; CPB: Consumo de proteína bruta e [B]:  
Concentração de fração de B.

$$CC = CPB \times \frac{[C]}{100} \quad (30)$$

Em que: CC: Consumo de proteína fração C; CPB: Consumo de proteína bruta e [C]:  
Concentração de fração de C.

Estimativa das taxas de passagem ruminal:

Forragens frescas e silagens

$$k_p = 3,054 + 0,614 X_1 \quad (31)$$

Em que: K<sub>p</sub>: taxa de passagem e X<sub>1</sub>: CMS/MC.100

Fenos

$$k_p = 3,362 + 0,479 X_1 - 0,007 X_2 - 0,017 X_3 \quad (32)$$

Em que: K<sub>p</sub>: taxa de passagem; X<sub>1</sub>:CMS/MC.100; X<sub>2</sub> :% concentrado fornecido e X<sub>3</sub>:  
%FDN do alimento.

Concentrados

$$k_p = 2,904 + 1,375 X_1 - 0,020 X_2 \quad (33)$$

Em que: Em que: K<sub>p</sub>: taxa de passagem e X<sub>1</sub>: CMS/MC.100; X<sub>2</sub>: %concentrado fornecido e  
X<sub>3</sub>: %FDN do alimento.

$$CPDR = CA + CB [k_d / (k_d + k_p)] \quad (34)$$

Em que: *CPDR*: Consumo de proteína degradável no rúmen; *CA*: Consumo de proteína fração A; *CB*: Consumo de proteína fração B.

$$CPNDR = CPB - CPDR \quad (35)$$

Em que: *CPNDR*: Consumo de proteína não- degradável no rúmen; *CPB*: Consumo de proteína bruta e *CPDR*: Consumo de proteína degradável no rúmen.

$$CPNDR_{dig} = CPNDR \times \frac{Dig.PNDR}{100} \quad (36)$$

Em que: *CPNDR<sub>dig</sub>*: Consumo de proteína não- degradável no rúmen digestível no intestino; *CPNDR*: Consumo de proteína não- degradável no rúmen.

$$CNDT = CMS \times \frac{[NDT]}{100} \quad (37)$$

Em que: *CNDT*: Consumo de nutrientes digestíveis totais; *CMS*: Consumo de matéria seca; *[NDT]*: Concentração de nutrientes digestíveis totais.

Produção de proteína bruta microbiana:

Se  $CPDR < Ex.PDR$ .

$$PBM = 0,85 \times CPDR \quad (38)$$

Em que: *PBM*: Produção de proteína bruta microbiana e *CPDR*: Consumo de Proteína degradável no rúmem.

Caso contrário:

$$PBM = 130 \times CNDT \quad (39)$$

Em que: *PBM*: Produção de proteína bruta microbiana e *CNDT*: Consumo de nutrientes digestíveis totais;

Cômputo da proteína metabolizável

$$PBE = 11,8 \times CMS \quad (40)$$

Em que: *PBE*: Produção de proteína bruta endógena e *CMS*: Consumo de matéria seca.

$$CPM = 0,64 \times PBM + CPNDR_{dig.} + 0,4 \times PBE \quad (41)$$

Em que: *CPM*: Consumo de proteína metabolizável, *PBM*: Produção de proteína bruta microbiana; *CPNDR dig*: Consumo de proteína não- degradável no rúmen digestível no intestino e *PBE*: Produção de proteína bruta endógena.

O modelo foi avaliado utilizando 58 informações publicadas em artigos científicos. A descrição geral das informações encontra-se na tabela 1. Foram pesquisadas na literatura científica informações sobre produção e alimentação de vacas leiteiras. Mais especificamente, foram utilizados dados sobre: raça, dias de lactação, dias de gestação, produção de leite diária, consumo médio diário observado, teor de gordura do leite e composição da ração. Os dados dos alimentos como a proporção de cada alimento na ração total foram retirados dos trabalhos e também sua composição nutricional.

As informações necessárias para o cálculo das frações de proteína e carboidratos utilizados no modelo matemático não estavam descritos em todos os trabalhos. Essas informações foram, então preenchidas utilizando informações contidas em tabelas de composição de alimentos para bovinos, publicadas pelo NRC (2001) e por Valadares Filho et. al. (2006). As frações de alguns alimentos cuja composição nessas tabelas não eram completas foram calculadas utilizando as informações referentes a alimentos com características nutricionais semelhantes. A partir das informações obtidas estimou-se o montante de energia, proteína, fibra e minerais ingeridos pelos animais e as exigências dos mesmos.

Os dados sobre consumo de matéria seca e composição da ração foram inseridos como entrada no programa para que fosse estimada uma produção de leite por meio das equações do mesmo. Posteriormente, a produção de leite estimada foi comparada com a produção observada. Uma segunda avaliação foi realizada usando como entrada os dados de produção de leite para que o programa estimasse o consumo de matéria seca. Neste caso, também foram comparadas as estimativas do programa com os dados reais de CMS observados.

A avaliação do programa consistiu em comparar graficamente os valores de energia líquida e proteína metabolizável fornecidos pela ração e exigidos pelos animais. Os dados foram comparados e analisados em gráficos contendo os valores observados em função dos preditos.

**Tabela 1-** Descrição das informações utilizadas para avaliação do modelo

Grupo Genético	n	M <sup>1</sup> (Kg)	CMS <sup>2</sup> (Kg/d)	Produção de Leite <sup>3</sup> (L/d)	Referência
5/8 H × 3/8G, Holandês - Gir	5	559,41	14,20	14,03	Alves et al. (2010)
Holandês	3	590,58	16,77	22,77	Aquino et al. (2007)
Holandês –Jersey	4	407,00	10,78	12,44	Cordeiro et al. (2007)
7/8 Holandês - Gir	5	514,00	18,4	23,54	Eifert et al. (2006)
Holandês	5	522,80	17,87	17,07	Nussio et al. (2002)
Holandês	4	455,96	15,85	18,87	Oliveira et al. (2001)
Holandês x Zebu	4	550,00	18,84	26,13	Pereira et al. (2006)
Holandês	4	550,00	19,12	23,43	Pina et al. (2006)
Holandês	4	509,50	22,65	24,92	Queiroz et al. (2008)
5/8 Holandês -Gir	4	491,00	16,59	15,11	Ramalho et al. (2006)
Holandês	4	497,2	19,36	22,06	Santos et al. (2001)
7/8 e 15/16 Holandês-Zebu	4	540	16,80	20,65	Soares et al. (2004)
Holandês	4	550	18,53	23,44	Souza et al. (2005)
Holandês	4	619,75	18,02	23,60	Stelzer et al. (2009)

<sup>1</sup>Massa Corporal Média <sup>2</sup>Consumo de Matéria seca Média <sup>3</sup>Produção de Leite Média

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de leite aumentou em função do consumo de matéria seca (Gráfico 1). Pois quanto maior a produção de leite, maiores serão as exigências do animal e, em situações de consumo *ad libitum* o animal normalmente aumentará a ingestão de alimentos para atender suas demandas energéticas (LANA, 2002), desde que o teor de fibra da ração não limite o consumo (MERTENS,1987).

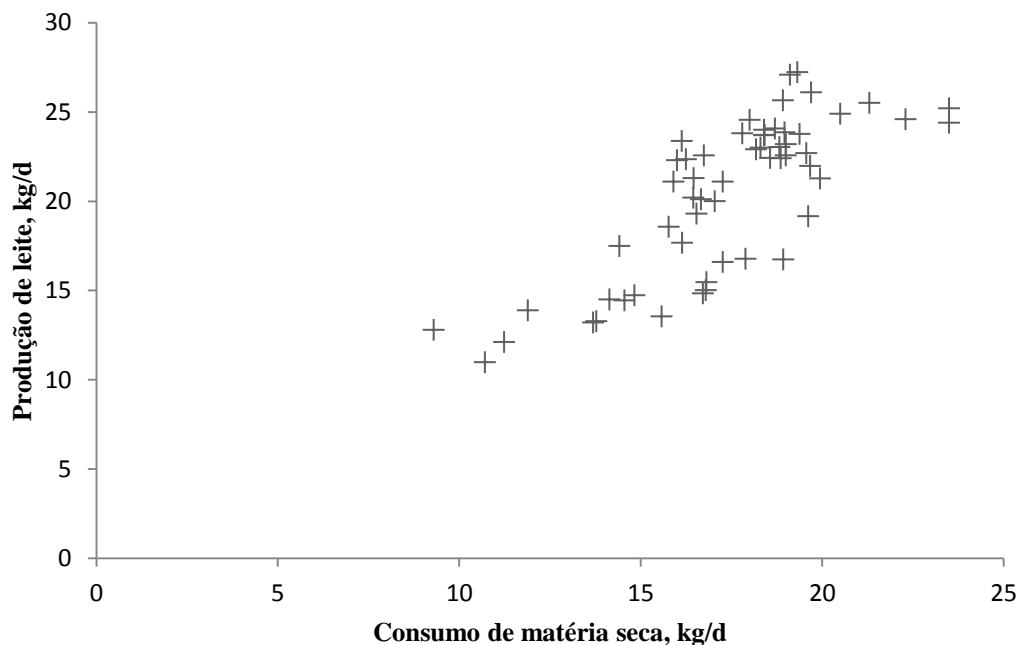
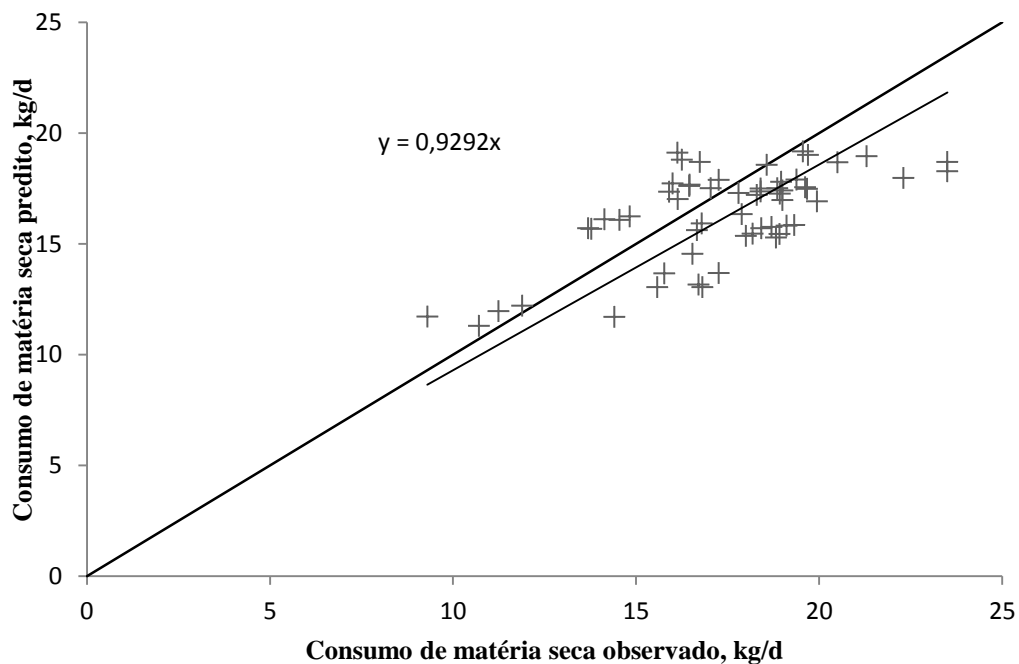


Gráfico 1 - Dispersão do produção de leite sobre consumo de matéria seca.

O consumo de matéria seca (CMS) predito foi subestimado pelo programa (Gráfico 2) na maioria dos casos (39 animais). A quantidade de matéria seca consumida por uma vaca depende de muitos fatores, dentre eles: massa corporal, quantidade de leite produzido, estágio de lactação, número de lactações, manejo, ambiente, condição corporal e principalmente o tipo e a qualidade dos alimentos disponíveis (NRC, 2001). Muitos dos fatores citados anteriormente são utilizados pela equação de predição de consumo utilizada pelo programa, entretanto, alguns deles como: fatores climáticos e características da dieta não são considerados. Além disso, variações individuais dos animais também podem interferir no consumo, entretanto, vale ressaltar que modelos matemáticos são simplificações da realidade

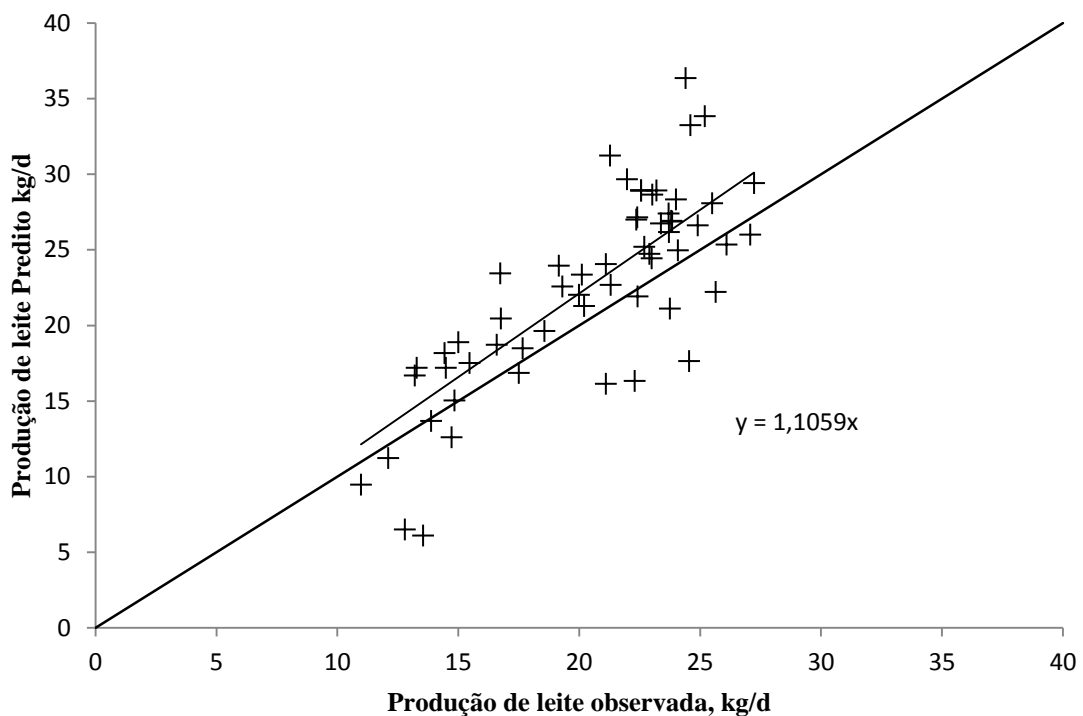
feitas com o objetivo de se obter valores aproximados dos comportamentos de determinados fenômenos e se tudo o que pode interferir nestes fenômenos fosse considerado, o modelo poderia ficar intratável matematicamente (DIJKSTRA, et al; 2005). Sendo assim, apesar da subestimação obtida com o modelo é possível observar que os valores preditos não ficaram tão distantes dos observados (em média 93% do valor observado). O conhecimento do CMS é extremamente importante na nutrição porque define a quantidade de nutrientes disponíveis para os animais. Determinar o CMS com exatidão evita a sub ou superalimentação. A subalimentação limita a produção, enquanto a superalimentação aumenta o custo alimentar e pode resultar em maior excreção de nutrientes para o ambiente (NRC, 2001).

A distensão física do rúmen é fator importante no controle do consumo voluntário, em particular no que tange às dietas constituídas exclusivamente de volumosos, principalmente aquelas constituídas por forrageiras tropicais. Nas dietas ricas em concentrado, a regulação do consumo é atribuída, principalmente, aos mecanismos quimiostáticos, enquanto em animais mantidos à pasto, o teor e a qualidade da fibra ingerida podem limitar o consumo pelo efeito de repleção ruminal (MERTENS, 1993; VAN SOEST, 1994). Uma opção para melhorar as previsões de CMS do modelo para animais a pasto seria utilizar alguma restrição de consumo em função do teor de fibra da ração e da capacidade máxima de retenção de fibra no rúmen como sugerido por Mertens (1987).



**Gráfico 2 - Dispersão do Consumo de matéria seca predito sobre Consumo de matéria seca observado.**

O programa também foi testado quanto a sua capacidade de prever o desempenho dos animais a partir do consumo de matéria seca (CMS) observado e da composição nutricional da dieta fornecida. Essa avaliação foi feita comparando-se a produção de leite predito pelo programa com os valores observados. A produção de leite predita foi bastante próxima da produção observada (Gráfico 3), sendo os valores preditos em torno de 11% superiores aos observados em média (Gráfico 3). Em alguns trabalhos pesquisados a avaliação nutricional completa dos alimentos utilizados nas dietas não estavam disponíveis e por isso, foram utilizados valores tabelados, o que pode ter interferido nas predições.



**Gráfico 3 - Dispersão da produção de leite estimada sobre a produção de leite observada.**

Segundo as predições do programa, as rações tinham 15% (gráfico 4) e 7% (Gráfico 5) de sobra nos níveis de energia líquida e proteína metabolizável, respectivamente. Estes resultados demonstram outra utilidade do programa que é a de diagnosticar a qualidade das dietas para posteriormente sugerir ajustes que podem vir a melhorar a produção por animal de forma a evitar deficiências nutricionais, assim como utilização antieconômica das rações e a excreção excessiva de nutrientes no ambiente (NRC, 2001).

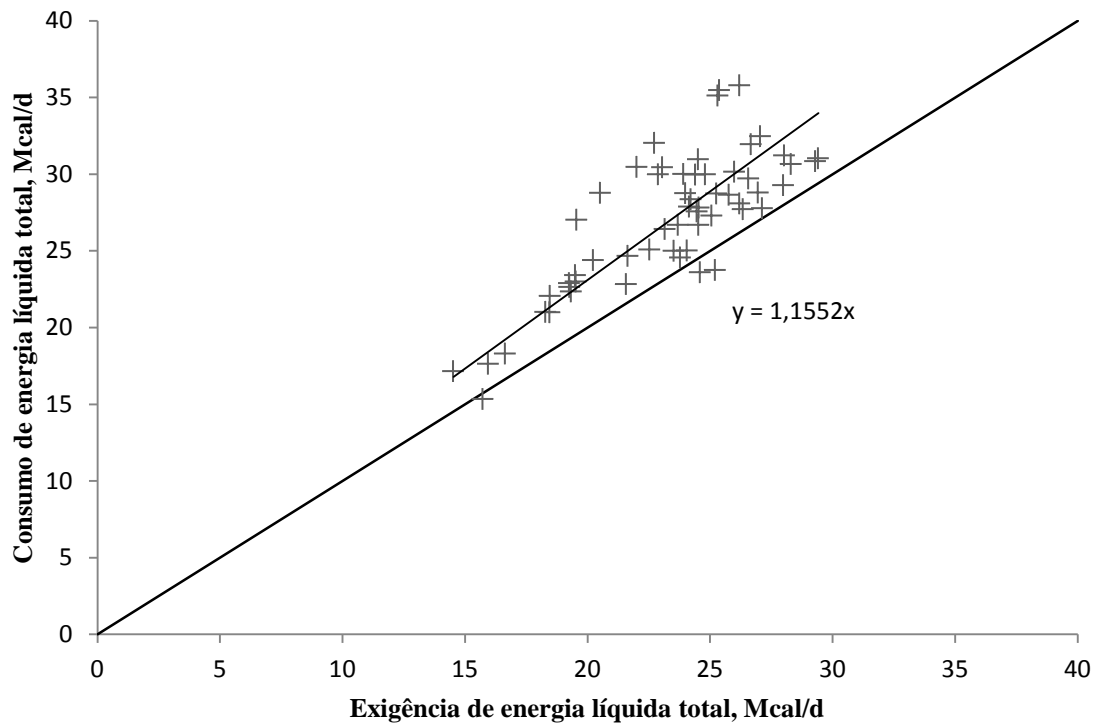


Gráfico 4 - Dispersão do consumo de energia líquida total sobre a exigência de energia líquida

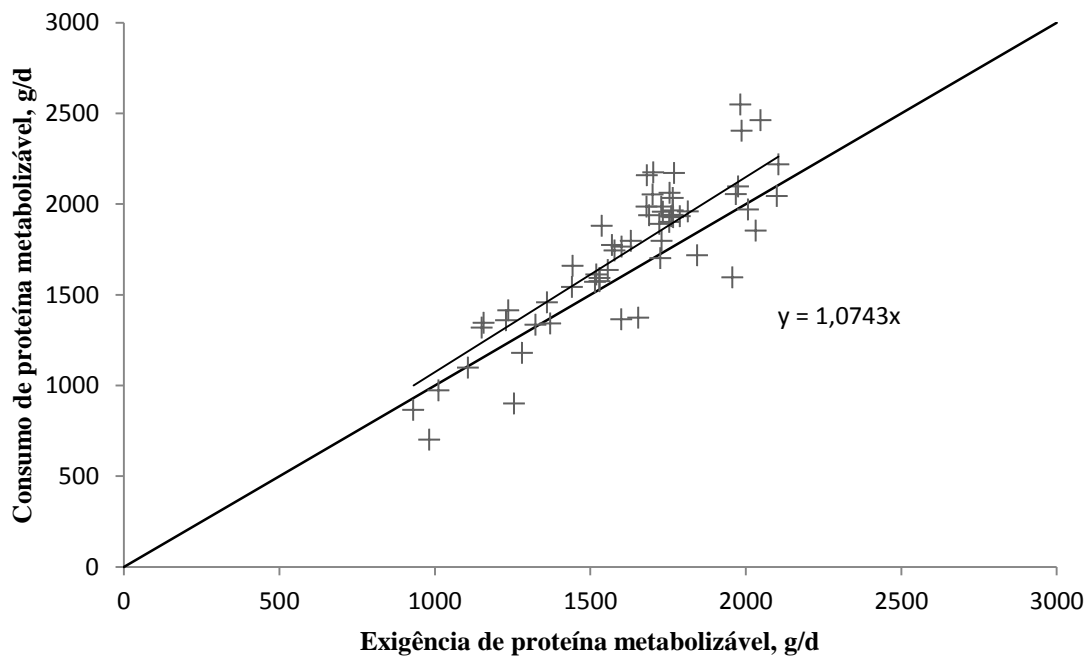


Gráfico 5 - Dispersão do consumo de proteína metabolizável sobre a exigência de proteína metabolizável



## **6 CONCLUSÃO**

O programa se mostrou uma ferramenta útil para avaliação de dietas de vacas leiteiras em situações de campo, mas suas predições podem melhorar por meio da avaliação bromatológica dos alimentos fornecidos ao invés da utilização de valores publicados em tabelas, principalmente para volumosos, cuja variação nutricional costuma ser bastante ampla.

## REFERÊNCIAS

ALVES, Alisson F.; et al. Substituição do farelo de soja por farelo de algodão de alta energia em dietas para vacas leiteiras em produção: consumo, digestibilidade dos nutrientes, balanço de nitrogênio e produção leiteira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.3, p.532-540, 2010.

AQUINO, Adriana A. et al. Efeito de níveis crescentes de uréia na dieta de vacas em lactação sobre a produção e a composição físico-química do leite. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.4, p.881-887, 2007.

ASSIS, Airdem G, BARBOSA, Pedro. F; SILVA JR., Aziz G. Modelagem de sistemas para tomada de decisões na pecuária leiteira. In: GOMIDE, J.A. (ed.). **Produção animal em pastejo**. MG: UFV.v.5,p.381-409,1997

BARBOSA, Pedro. F. **Modelagem e Simulação de Sistemas de Produção Animal**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste. ed. 1,191 p , 2002

CONGLETON JUNIOR, Willian. R. Dynamic model for combined simulation of dairy managemet strategies. **Journal of dairy Science**., v. 67, p. 644-660, 1984.

CORDEIRO, Carla F.; et al. Consumo e digestibilidade total dos nutrientes e produção e composição do leite de vacas alimentadas com teores crescentes de proteína bruta na dieta contendo cana-de-açúcar e concentrados. **Revista Brasileira de Zootecnia**., v.36, n.6, p.2118-2126, 2007.

DIJKSTRA, jan. et al. **Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism**. Cambridge,USA. CABI Publishing. 2005.

EIFERT, Eduardo da C.; et al. Consumo, produção e composição do leite de vacas alimentadas com óleo de soja e diferentes fontes de carboidratos na dieta. **Revista Brasileira de Zootecnia**., v.35, n.1, p.211-218, 2006.

FONTOURA-JÚNIOR, José. A. et al. Utilização de modelos de simulação em sistemas de produção de bovinos de corte. **Revista de Veterinária e Zootecnia**., v.14, p. 19-30, 2007.

HOGVEEN, Henk.; et al. Development of an integrated kwonlegde-based system for managemet support on dairy farms. **Journal of dairy Science**, v. 74, p. 4377-4384, 1991.

HOLMANN, Frederico. J.; et al. Economic value of Days open for Holstein cows of alternative milk yields with varying calving intervals. **Journal of dairy Science**, v.67, p.639-648, 1984.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção de leite. Disponível em: <HTTP:// WWW.ibge.gov.br>. Acesso em: 07 de janeiro de 2014.

LANA, Rogério P. Sistema de suplementação alimentar para bovinos de corte em pastejo. Simulação. **Revista Brasileira de Zootecnia.**, v.31, p.223-231, 2002.

LANNA, Dante P. D.; TEDESCHI, Luis O.; BELTRAME FILHO, João. A., Modelos lineares e não-lineares de uso de nutrientes para formulação de dietas de ruminantes. **Scientia Agricola.**, v.56, 479-488, 1999.

LIMA, João R. Repensando o negócio de produzir leite: terceirizar para competir. **Boletim do leite**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo -CEPEA, Piracicaba. V. 8, n.90,p.01-02, 2001.

MERTENS, David R. Principles of modeling and simulation in teaching and research. **Journal of dairy Science**, v.60, p. 1176-1186. 1976.

MERTENS, David.R. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. **Journal of Animal Science.**, v.64, n.6, p.1548-1558, 1987

MERTENS, David R. Rate and extent of digestion. **Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism**. Wallingford:CAB Intenational. P.13-51, 1993.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requeriments of dairy cattle**. 5. ed. Washington: National Academy Press, 1989.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requeriments of dairy cattle**. 7. ed. Washington: National Academy Press, 2001

NUSSIO, Carla M. B.; et al. Fontes de amido de diferentes degradabilidades e sua substituição parcial por polpa de citrus em dietas para vacas leiteiras. **Acta Scientiarum.**,Maringá, v. 24, n. 4, p. 1079-1086, 2002.

NUSSIO, Luis G.; NUSSIO, Carla M.B. Aspectos técnicos e econômicos que afetam a escolha da fonte de forragem suplementar. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO INTENSIVA DE LEITE-INTERLEITE, 6., 2003, Uberaba. **Anais...** Uberaba: FMVZ-USPp.123-135. , 2003.

OLIVEIRA, Antonia S. et al. Consumo, digestibilidade aparente, produção e composição do leite em vacas alimentadas com quatro níveis de compostos nitrogenados não-protéico. **Revista Brasileira de Zootecnia.**, v.30, n.4, p.1358-1366, 2001.

PEREIRA, Mara L. A. et al. Consumo, digestibilidade aparente total, produção e composição do leite em vacas no terço inicial da lactação alimentadas com níveis crescentes de proteína bruta no concentrado. **Revista Brasileira de Zootecnia.**,v.34, n.3, p.1029-1039, 2006.

PETRY, Vitor J., PAGLIARINI, Marciano M. Modelo de programação linear aplicado na melhoria da produtividade leiteira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 6., 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UTFPR, 2009. p.2385-2392.

PINA, Douglas dos S.; et al. Consumo e digestibilidade aparente total dos nutrientes, produção e composição do leite de vacas alimentadas com dietas contendo diferentes fontes de proteína. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.4, p.1543-1551, 2006.

QUEIROZ, Oscar C. M.; et al. Silagem de cana-de-açúcar comparada a fontes tradicionais de volumosos suplementares no desempenho de vacas de alta produção. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.2, p.358-365, 2008.

RAMALHO, Ricardo P.; et al. Substituição do farelo de soja pela mistura raspa de mandioca e uréia em dietas para vacas mestiças em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.3, p.1212-1220, 2006.

RENNÓ, Francisco P. **Avaliação bioeconômica de estratégias de alimentação em sistemas de produção de leite**. 2005. 147 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

SANTOS, Flávio A. P.; et al. Processamento do grão de milho e sua substituição parcial por polpa de citros peletizada sobre o desempenho, digestibilidade de nutrientes e parâmetros sangüíneos em vacas leiteiras. **Acta Scientiarum**, v. 23, n. 4, p. 923-931, 2001.

SECRETARIA DE AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO DO PARANÁ. Análise da produção de leite na Paraná. Disponível em: [http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/leite\\_2012.pdf](http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/leite_2012.pdf). Acesso em: 18 Jan. 2014.

SMITH, Nate. E. Maximizing income over feed costs: Evaluation of production responses relationships. **Journal of dairy Science**, v.59, p.1193-1199, 1975.

SOARES, Carla A.; et al. Consumo, digestibilidade aparente, produção composição do leite de vacas leiteiras alimentadas com farelo de trigo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.2161-2169, 2004.

SOUZA, Alexandre L. et al. Casca de café em dietas de vacas em lactação: consumo, digestibilidade e produção de leite. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.6, p.2496-2504, 2005.

STELZER, Fábio S. et al. Desempenho de vacas leiteiras recebendo concentrado em diferentes níveis, associado ou não a própolis. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.7, p.1381-1389, 2009.

VALADARES FILHO, Sebastião. et. al. **Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos**. 2 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006, 329p.

VAN SOEST, Peter .J.. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. Ithaca: Cornell University Press. 1994, 476p.

VIEIRA, Valmir C. et al. Caracterização da silagem de milho, produzida em propriedades rurais do sudoeste do Paraná. **Revista Ceres**. 2011, vol.58, n.4 .

## APÊNDICES

### APÊNDICE A - Composição nutricional dos alimentos usados como entrada do modelo

Alimento	MS	PB	PIDN	PIDA	EE	FDN	FDA	LIG	MM	FP	[A]	[B]	[C]
Capim -Elefante	15,49	11,47	5,70	2,90	1,82	64,29	38,95	5,46	8,57	1,00	50,00	36,00	14,00
Raspa mandioca	87,94	2,56	1,47	0,41	0,42	18,52	8,44	1,72	3,65	1,00	42,50	41,50	16,00
Palma forrageira	8,22	5,89	1,42	0,95	2,60	38,48	15,29	5,44	11,86	1,00	37,00	39,00	24,00
Cana+uréia	24,60	11,36	6,41	4,35	1,09	47,20	46,24	4,35	2,53	1,00	1,50	64,76	33,74
Cana de açúcar	24,60	11,36	0,85	0,55	1,09	47,20	26,85	4,35	3,00	1,00	1,50	64,76	33,74
Silagem de cana	31,65	3,25	1,46	0,65	1,12	53,48	30,52	7,40	3,15	1,00	55,00	25,00	20,00
Silagem de milho	33,46	6,10	1,30	0,80	1,31	86,09	28,10	2,60	4,30	0,94	51,30	30,20	18,50
Silagem de sorgo	26,35	6,25	1,55	1,50	2,19	61,41	35,77	5,60	4,73	1,00	13,00	85,00	2,40
Farelo de soja	88,00	49,90	0,70	0,40	1,60	14,90	10,00	0,70	6,60	1,00	22,50	76,80	0,70
Polpa cítrica	87,95	6,48	1,33	0,32	2,34	40,98	15,62	4,43	7,18	1,00	41,70	53,30	5,00
Farelo algodão 28	89,02	28,73	22,21	2,65	1,54	38,75	31,24	7,82	5,22	1,00	22,70	68,09	9,21
Farelo algodão 38	88,66	30,53	23,60	2,81	2,91	29,97	24,19	6,11	6,82	1,00	22,70	68,09	9,21
Caroço de algodão	90,64	22,62	21,04	3,62	18,90	46,04	35,85	7,58	4,66	1,00	7,00	77,00	16,00
Milho moído	88,00	9,40	0,70	0,36	4,20	12,53	3,85	0,90	1,50	1,00	23,90	72,50	3,80
Casca de café	86,10	8,40	7,98	2,10	1,00	55,90	44,70	14,70	8,47	1,00	5,00	70,00	25,00
Óleo de soja	99,55	0,00	0,00	0,00	99,04	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
Mineral	88,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	1,00			
Fosfato bicálcico	88,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	90,00	1,00			
Bicarbonato sódio	88,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	1,00			
Flor de enxofre	88,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	1,00			
Calcáreo calcítico	88,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,00	1,00			
Cloreto de sódio	88,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,00	1,00			
Ureia	88,00	282,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	1,00	100,00	0,00	0,00
Farelo de trigo	88,00	17,30	2,80	1,40	4,30	42,50	15,50	3,00	6,30	1,00	33,70	62,50	3,80

Fonte: Raquel S. Kolln