

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**AJUSTES NUTRICIONAIS PARA SUÍNOS EM
CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO ATRAVÉS DE UMA
FERRAMENTA DE NUTRIÇÃO DE PRECISÃO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Gustavo Dias Lovato

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

**AJUSTES NUTRICIONAIS PARA SUÍNOS EM
CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO ATRAVÉS DE UMA
FERRAMENTA DE NUTRIÇÃO DE PRECISÃO**

Gustavo Dias Lovato

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração Produção Animal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para do grau de **Mestre em Zootecnia.**

Orientador: Prof. Dr. Marcos Martinez do Vale

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Lovato, Gustavo Dias

Ajustes nutricionais para suínos em crescimento e terminação através de uma ferramenta de nutrição de precisão / Gustavo Dias Lovato.-2013.

86 p.; 30cm

Orientador: Marcos Martinez do Vale
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, RS, 2013

1. Exigências nutricionais 2. InraPorc® 3. Modelagem
4. Suinocultura I. Vale, Marcos Martinez do II. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia**

A comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**AJUSTES NUTRICIONAIS PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO E
TERMINAÇÃO ATRAVÉS DE UMA FERRAMENTA DE NUTRIÇÃO
DE PRECISÃO**

elaborada por
Gustavo Dias Lovato

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Zootecnia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Marcos Martinez do Vale, Dr.
(Presidente/Orientador)

Alexandre de Mello Kessler, Dr. (UFRGS)

Vladimir de Oliveira, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 27 de fevereiro de 2013.

Aos meus pais Carmen e Ceniro pelo exemplo de família, ensinamentos de vida, incentivo na continuação dos estudos e presença constante tanto nos momentos alegres como nos momentos de dificuldade.

À minha noiva Sheila pelo amor, companheirismo, cumplicidade, pelos momentos de alegria, pela dedicação e compreensão nos momentos de dificuldade.

Ao Professor Paulo Alberto Lovatto (*in memoriam*) pela oportunidade da convivência, pelos ensinamentos, pela amizade e incentivo à realização deste trabalho.

Dedico

Agradecimentos

A Deus, por iluminar meus passos durante toda minha vida e oportunizar a convivência com pessoas de grande valor.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão de bolsa de estudos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade.

A Cooperativa Languiru, pelo acolhimento e estrutura disponibilizada para a realização deste trabalho.

Ao Professor Marcos Martinez do Vale, pela orientação, preocupação com minha formação, importantes ensinamentos e amizade estabelecida neste período de convivência.

Ao Professor Carlos Augusto Rigon Rossi, sua esposa Cláudia e seus filhos, pela convivência, ensinamentos, boas histórias e grande amizade.

Aos Professores Arlei Rodrigues Bonet de Quadros, João Radünz Neto, José Henrique Souza da Silva, Paulo Santana Pacheco e Gerson Guarez Garcia, pelos ensinamentos, apoio e amizade.

Aos amigos e colegas de Pós-Graduação Bruno Neutzling Fraga e Marcos Speroni Ceron pela amizade, histórias compartilhadas e cooperação neste trabalho.

Ao Técnico Administrativo Emir de Souza e Silva, pela amizade, disponibilidade nas viagens e histórias compartilhadas.

Aos amigos Geovane Webler, Kerlin Roballo, Paulo Roberto Salvador, Dirleise Pianesso, Viviane Hampel, Leonardo Jantsch e Lidiane Eloy pelo companheirismo, boas histórias e grande demonstração de amizade.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Universidade Federal de Santa Maria

AJUSTES NUTRICIONAIS PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO ATRAVÉS DE UMA FERRAMENTA DE NUTRIÇÃO DE PRECISÃO

AUTOR: GUSTAVO DIAS LOVATO

ORIENTADOR: MARCOS MARTINEZ DO VALE

Local e data da Defesa: Santa Maria, 27 de fevereiro de 2013.

O trabalho foi realizado com o objetivo de utilizar do modelo InraPorc[®] como ferramenta de ajuste de programas nutricionais para suínos em crescimento e terminação, em um contexto de produção comercial brasileira. O período pré-experimental foi realizado em uma granja convencional com capacidade para 432 suínos. Nesse período foram coletadas informações para definição do programa de dietas, programa alimentar, parametrização do perfil animal e ajustes nutricionais. As informações do perfil animal foram coletadas através da pesagem de 20% dos animais em cada baia e acompanhamento do consumo em cada fase alimentar. Os dados coletados foram inseridos no InraPorc[®] para realizar as simulações e propor ajustes ao programa nutricional convencional. No período experimental foi realizada uma comparação entre o programa nutricional convencional (CNP) e programa nutricional ajustado às exigências nutricionais estimadas pelo InraPorc[®] para o perfil animal em estudo (ANP). Foram utilizados 432 suínos com peso médio inicial de 21,9 kg em um delineamento inteiramente casualizado. O desempenho dos animais não foi influenciado ($P>0,05$) pelos programas nutricionais. No período experimental, o consumo de lisina digestível, fósforo total e fósforo digestível no CNP foram superiores ($P<0,01$) na comparação com o ANP. Os suínos do CNP apresentaram a espessura de toucinho 8% superior ($P<0,05$) aos animais do ANP. Em uma condição de produção comercial brasileira, o InraPorc[®] pode ser utilizado com vantagem no ajuste de programas nutricionais para suínos em crescimento e terminação.

Palavras-chave: Exigências nutricionais. InraPorc[®]. Modelagem. Suinocultura.

ABSTRACT

Master Dissertation
Post-Graduat Program in Animal Science
Federal University of Santa Maria

NUTRITIONAL ADJUSTMENT FOR GROWING AND FINISHING PIGS THROUGH A PRECISION NUTRITION TOOL

AUTHOR: GUSTAVO DIAS LOVATO

ADVISER: MARCOS MARTINEZ DO VALE

Defense Place and Date: Santa Maria, February, 27, 2013.

The work was realized with objective to use InraPorc[®] model as nutritional adjustment tool for growing and finishing pigs, in Brazilian commercial production context. The pre-experimental period was realized in a production commercial unity of swine with capacity to 432 pigs. This period was realized data collection to nutritional program definition, calibration of animal profile and nutritional adjustments. Animal profile was collected through weighing of 20% of pigs and monitoring feed intake each pen. The data collected was inserted in the InraPorc[®] to make the simulations and to propose adjustments to conventional nutritional program. Already in the experimental period was realized a comparison between conventional nutritional program (CNP) and adjusted nutritional program to estimate nutritional requirements through InraPorc[®] for the animal profile in study (ANP). Were utilized 432 pigs with average body weight of 21.9kg in a completely randomized design. The pig performance do not affected ($P>0.05$) by nutritional programs. On experimental period, the daily intakes of digestible lysine, total phosphorus and digestible phosphorus in the CNP was higher ($P<0.01$) than ANP. The pigs of CNP had backfat thickness 8% higher ($P<0.05$) than pigs of ANP. On Brazilian commercial production context, the InraPorc[®] model can be utilized with advantage in the adjustment of nutritional programs for growing and finishing pigs.

Key-words: Nutritional requirements. InraPorc[®]. Modeling. Swine.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Representação gráfica da função linear platô, proposta para descrever a deposição proteica em função da ingestão de energia.....23
- Figura 2 – Diagrama de modelagem empírica25
- Figura 3 – Diagrama de modelagem mecanicista.26
- Figura 4 – Representação gráfica de modelos com alta precisão e alta acurácia (A); baixa precisão e alta acurácia (B); alta precisão e baixa acurácia (C); baixa precisão e baixa acurácia (D); (●) representação das medidas observadas; (—) representação das medidas estimadas.31
- Figura 5 – Principais fluxos de nutrientes (setas contínuas) e suas relações (setas tracejadas) descritos no modelo InraPorc[®]35
- Figure 6 – Consumo de energia metabolizável (1A), lisina digestível (1B), fósforo total (1C) e fósforo digestível (1D) de suínos em crescimento e terminação alimentados com programa nutricional convencional (CNP) e programa nutricional ajustado através do InraPorc[®] (ANP).....48

LISTA DE TABELAS

Table 1 – Ingredientes e composição nutricional das dietas experimentais.....	44
Table 2 – Desempenho de suínos alimentados com programa nutricional convencional (CNP) e programa nutricional ajustado através do modelo InraPorc [®] (ANP) durante as fases de crescimento e terminação.....	46
Table 3 – Características de carcaça de suínos alimentados com programa nutricional convencional (CNP) e programa nutricional ajustado através do modelo InraPorc [®] (ANP).	51
Tabela 4 – Temperaturas mínimas, médias e máximas observadas nos períodos pré-experimental e experimental	57

LISTAS DE REDUÇÕES

ADFI	Average daily feed intake
ADG	Average daily gain
BFT	Backfat thickness
BWf	Final body weight
BWi	Initial body weight
Ca	Cálcio
CCW	Cold carcass weight
CL	Carcass length
CY	Carcass yield
DM	Dry matter
dQ	Variação de quantidade
Dt	Variação de tempo
F(pv)	Variável em função do peso vivo
F:G	Feed gain ratio
fE	Fluxo de entrada
fS	Fluxo de saída
HCW	Hot carcass weight
IPF	Intelligent Precision Feeder System
LC	Loss carcass
ME	Metabolizable energy
MIMO	Multiple inputs - multiple outputs
MISO	Multiple inputs - single output
N	Nitrogênio
NIRS	Near Infra Red System
P	Fósforo
PDmax	Máxima deposição de proteína
ANP	Programa nutricional ajustado ao perfil animal
CNP	Programa nutricional comercial
SISO	Single input - single output
T	Tonelada

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Programa de dietas e programa alimentar utilizados pela empresa ..	70
Apêndice B – Perfil animal utilizado na granja comercial	71
Apêndice C – Parâmetros utilizados no modelo para calibração do perfil animal	72
Apêndice D – Programa de dietas e programa alimentar ajustados ao perfil animal da granja.....	73
Apêndice E – Desempenho global comparativo entre programa nutricional comercial (CNP) e o programa nutricional ajustado ao perfil animal (ANP)	74
Apêndice F – Comparativo de desempenho (peso vivo, consumo diário de ração e ganho de peso diário) entre os programas nutricionais avaliados, nas simulações do InraPorc®	75
Apêndice G – Comparativo de consumo de lisina digestível e fósforo digestível entre os programas nutricionais avaliados, nas simulações do InraPorc®	76
Apêndice H – Produção científica durante o curso de mestrado	77

LISTA DE ANEXOS

Anexo A – Análise bromatológica via NIRS (Near Infra-Red System) do milho utilizado no experimento.	83
Anexo B – Análise bromatológica via NIRS (Near Infra-Red System) do farelo de soja utilizado no experimento.	85

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
CAPÍTULO 1 – NUTRIÇÃO DE PRECISÃO: ESTUDO BIBLIOGRÁFICO	17
1.1 Programas nutricionais para suínos no Brasil	17
1.1.1 Contextualização	17
1.2 Exigências nutricionais e métodos de determinação	19
1.2.1 Método empírico	19
1.2.2 Método fatorial	20
1.2.3 Limitações dos métodos	21
1.3 Modelagem	22
1.3.1 Caracterização	22
1.3.2 Nível temporal	24
1.3.3 Nível explicativo	24
1.3.4 Nível paramétrico	26
1.3.5 Modelagem aplicada à nutrição animal	27
1.4 Precisão no contexto agropecuário	29
1.4.1 Contextualização	29
1.4.2 Precisão <i>versus</i> Acurácia	30
1.4.3 Nutrição animal de precisão	32
1.4.3.1 O modelo InraPorc [®] como ferramenta de nutrição de precisão	34
CAPÍTULO 2 – NUTRITIONAL ADJUSTMENTS FOR GROWING AND FINISHING PIGS THROUGH A PRECISION NUTRITION TOOL: PERFORMANCE, NUTRIENT INTAKE AND CARCASS CHARACTERISTICS	38
ABSTRACT	39
RESUMO	40
INTRODUCTION	41
MATERIALS AND METHODS	42
RESULTS AND DISCUSSION	46
CONCLUSIONS	52
ACKNOWLEDGEMENTS	53
REFERENCES	53
CAPÍTULO 3 – DISCUSSÃO GERAL	56

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
APÊNDICES	69
ANEXOS	82

INTRODUÇÃO

O Brasil abate cerca de aproximadamente 31 milhões de suínos e tem uma produção de 3,4 milhões de toneladas (t) de carne anualmente (ABIPECS, 2012). Para atender essa produção, o rebanho suíno brasileiro consumiu em 2011, cerca de 15 milhões de t de ração, o que representa um consumo anual de aproximadamente 10 milhões de t de milho e três milhões de t de farelo de soja (SINDIRAÇÕES, 2011). Esse volume de alimento representa cerca 60% dos custos de produção. Além disso, cerca de 70% da ração utilizada em uma unidade de produção de suínos é consumida pela categoria de animais em crescimento e terminação. Nesse sentido, a redução dos custos de produção na suinocultura está relacionada à definição de estratégias nutricionais ajustadas aos diferentes cenários de produção, principalmente na fase de crescimento e terminação, de forma a tornar a atividade suinícola mais rentável, sem alterar os índices produtivos.

Neste contexto, surgiu o conceito de nutrição de precisão. Esse conceito baseia-se na variabilidade dos desempenhos existente entre os diferentes sistemas de produção animal e, através de recursos tecnológicos, tenta estimar essa variabilidade (WATHES et al., 2008). Atualmente, existem pesquisas para desenvolvimento de ferramentas para precisão (LACA, 2009; REDDY & KRISHNA, 2009; VALE et al., 2010). A suinocultura, da mesma forma, volta-se para a precisão, sendo que existem programas em nível experimental (POMAR et al., 2009) e alguns já comprovados e, em difusão pela Europa (DOURMAD et al., 2008; VAN MILGEN et al., 2008). No Brasil, no entanto, ferramentas para nutrição de precisão na produção de suínos ainda são pouco exploradas.

A nutrição de precisão pressupõe o fornecimento de nutrientes de acordo com a heterogeneidade e os propósitos dos sistemas produtivos, melhorando a eficiência no aproveitamento destes nutrientes. Nesse conceito, a nutrição passa de um cenário que define uma exigência nutricional média, que pode subestimar ou superestimar o desempenho animal para outro com recomendações nutricionais determinadas através de modelos que modulam o desempenho, a deposição proteica ou o melhor resultado econômico. Assim, as ferramentas de nutrição de precisão devem considerar fatores que influenciam a dinâmica de ingestão e

utilização de nutrientes pelo suíno e o cenário de produção (VAN MILGEN et al., 2005).

A complexidade dos sistemas de produção pode ser quantificada por meio de ferramentas baseadas em modelos de crescimento. Uma destas ferramentas é o modelo InraPorc[®], que baseia-se em sistemas de equações lineares e não lineares que descrevem o crescimento do suíno em função do fornecimento de nutrientes e energia, dentro do sistema produtivo em que o animal está inserido (VAN MILGEN et al., 2008). Através de informações do sistema produtivo (programa nutricional e perfil animal) é possível estudar o cenário de produção e propor estratégias nutricionais de maneira mais precisa. Isso possibilita o desenvolvimento de programas nutricionais individualizados, com recomendações nutricionais ajustadas ao cenário e aos propósitos de produção.

Com base nestas condições, seria possível aplicar o conceito de nutrição de precisão no ajuste de programas nutricionais ao cenário de produção, considerando a heterogeneidade e a dinâmica da utilização de nutrientes, em condições de produção comercial de suínos. Nesse sentido o objetivo deste trabalho foi propor, em uma condição de produção comercial brasileira, estratégias nutricionais para suínos em crescimento e terminação, utilizando o modelo InraPorc[®]. Essa dissertação contempla um estudo bibliográfico, um artigo científico, discussão geral e as conclusões pertinentes ao estudo.

CAPÍTULO 1 – NUTRIÇÃO DE PRECISÃO: ESTUDO BIBLIOGRÁFICO

1.1 Programas nutricionais para suínos no Brasil

1.1.1 Contextualização

O Brasil apresenta cerca de 4% do rebanho suíno mundial, sendo o quarto maior produtor e exportador mundial de carne suína (FAO, 2012). O maior percentual do rebanho brasileiro, quase 53%, está localizado na região Sul (ABIPECS, 2012). Entretanto, em busca de menores custos de produção, parte da suinocultura tem migrado para as regiões com grande produção de grãos como o Centro-Oeste, que representa cerca de 30% da produção nacional de milho e 45% da produção de soja (CONAB, 2012).

Os programas nutricionais tradicionalmente empregados na produção de suínos brasileira utilizam dietas com alta digestibilidade e disponibilidade de nutrientes. Isso se deve a alta produção e grandes investimentos em pesquisa sobre principais grãos utilizados na alimentação de suínos (milho e soja). Atualmente, existem tabelas de composição de alimentos (ROSTAGNO et al., 2011; NRC, 2012) que tem como referência grandes bases de dados de instituições de pesquisa, oriundas de estudos de digestibilidade e metabolismo. Isso permitiu que as exigências nutricionais fossem expressas em base líquida (energia) e digestível (aminoácidos e fósforo) (NOBLET & VAN MILGEN, 2004). Adicionalmente, o desenvolvimento de metodologias para determinação rápida e precisa da composição nutricional, como o NIRS (*Near Infra Red Spectrometry*) tem contribuído para formulações mais seguras (REDDY & KRISHNA, 2009).

Os padrões nutricionais para suínos no Brasil são estabelecidos para otimizar diferentes objetivos de produção. Um dos principais objetivos tem sido a redução dos custos de formulação, em função de sua importância sobre os custos de produção em sistemas suinícolas industriais. Adicionalmente, a categoria de animais em crescimento e terminação demanda cerca de 70% do total de ração consumida

em uma unidade de produção de suínos. Portanto, a redução nos custos de formulação de dietas nessa categoria representa um impacto econômico considerável na cadeia suinícola.

A formulação por mínimo custo tem sido uma metodologia utilizada pela indústria na redução dos custos das dietas. Entretanto, essa metodologia desconsidera as consequências ambientais (PATIENCE et al., 1995) e variação na resposta animal (SAUVANT, 1992). As exigências nutricionais para suínos na fase de crescimento e terminação têm sido superestimadas (método empírico de determinação de exigências nutricionais), como estratégia para garantir que populações de suínos com grande heterogeneidade expressem máxima resposta (Pomar et al., 2009). Apesar de eficiente em termos do atendimento das exigências nutricionais, esta estratégia apresenta consequências metabólicas, pelo excesso de nutrientes circulantes, consequências ambientais, pelo aumento da excreção de nutrientes e consequências econômicas, pela ineficiência de utilização dos nutrientes.

O nitrogênio (N) e fósforo (P) são os principais elementos poluidores encontrados nas fezes e na urina dos suínos (JONDREVILLE et al., 2003). No Brasil, algumas regiões de alta concentração de suínos apresentam níveis elevados de excreção destes nutrientes (LOVATTO et al., 2005). O excesso de aminoácidos e P na dieta estão relacionados com a maior excreção e poluição ambiental (FIGUEROA et al., 2002). O N e o P têm sido citados como precursores da contaminação ambiental da água e do solo (KNOWLTON et al., 2004; DOURMAD & JONDREVILLE, 2007).

O maior conteúdo de aminoácidos na dieta aumenta a atividade metabólica de alguns órgãos como fígado, pâncreas e rins, necessitando um aporte maior de energia para desaminação e eliminação de N (CHEN et al., 1999). Assim, um menor nível energético estaria disponível para o crescimento muscular, o que comprometeria o desempenho do suíno. Adicionalmente, fontes aminoacídicas constituem considerável proporção dos custos das rações (MOREIRA et al., 2004). Já o P tem sua capacidade de absorção influenciada pela oferta e pela forma de apresentação ao animal, pois fontes vegetais apresentam o P na forma de fitato (LÉTOURNEAU-MONTMINY et al., 2011). Animais monogástricos utilizam o fósforo de forma ineficiente, excretando cerca de 60 a 80% do que consomem (POULSEN et al., 1999; KNOWLTON et al., 2004). O aproveitamento deste nutriente é reduzido

por estes animais possuírem baixas concentrações de fitase endógena, necessária para disponibilizar o fósforo presente na forma de fitato (BEDFORD, 2000). Além disso, as reservas minerais de fosfato são limitadas, o que faz esse nutriente ter considerável peso no custo de formulação das rações.

1.2 Exigências nutricionais e métodos de determinação

Energia, aminoácidos, minerais, vitaminas e ácidos graxos são essenciais para suínos. As exigências nutricionais são definidas como a quantidade de nutrientes necessários para manutenção de funções fisiológicas e para produção. O nível nutricional dependerá da forma de exploração do animal, seja para deposição de proteína, reprodução, produção de leite, ovos ou lã (FULLER, 2004). Em condições de manutenção os nutrientes são utilizados nos processos fisiológicos, metabólicos e termorregulação corporal. O excedente é depositado em forma de proteína ou lipídio nos tecidos. Em animais de produção, as exigências nutricionais são influenciadas por fatores relacionados ao animal, à dieta e ao ambiente.

A determinação das exigências nutricionais é um aspecto de grande relevância na definição de programas nutricionais baseados no conceito de nutrição de precisão. O conhecimento da interação entre o alimento e o animal melhora a eficiência no aproveitamento dos nutrientes (VAN MILGEN et al., 2005). As exigências nutricionais para suínos têm sido estimadas através de diferentes metodologias como os métodos empírico e fatorial. Nos próximos tópicos serão descritos os dois métodos.

1.2.1 Método empírico

O método empírico segue uma metodologia de dose-resposta. As exigências nutricionais para um determinado nutriente são estimadas avaliando a resposta de uma população de suínos alimentados com diferentes concentrações deste nutriente na dieta em determinado espaço de tempo. A resposta populacional neste tipo de

método é de natureza curvilínea, onde o ponto de máxima da curva representa a estimativa do nível nutricional que maximizam uma ou mais respostas (ganho de peso, conversão alimentar, receita líquida). Como as exigências nutricionais variam em função do genótipo, sexo, idade, peso vivo ou capacidade de consumo, o método empírico apresenta respostas adequadas somente para condições semelhantes às quais as curvas de exigências nutricionais foram determinadas (SIQUEIRA, 2009).

No método empírico, as exigências nutricionais também podem ser estimadas através da compilação de dados de publicações científicas analisadas por métodos estatísticos (meta-análise) para estimar valores médios e publicados em forma de tabelas de exigências para determinadas idades, pesos e sexos (NRC, 1988). Estes dados são obtidos de experimentos realizados em situações distintas, mas que representam uma condição produtiva média (HAUSCHILD, 2010).

1.2.2 Método fatorial

O método fatorial estima as exigências nutricionais para um nutriente pela soma das exigências de manutenção para os processos vitais, atividade física e crescimento. As exigências para cada nutriente são estimadas considerando a eficiência com que cada nutriente é utilizado para cada função metabólica (VAN MILGEN & NOBLET, 2003). Por considerar os diferentes estados metabólicos dos animais, a abordagem fatorial permite a elaboração de modelos capazes de estimar as exigências nutricionais para diferentes linhagens e idades, em diferentes condições de produção.

O método fatorial estima as exigências nutricionais para um determinado ponto, seja o peso vivo ou idade, dentro de um período de tempo de um dia. Quando o objetivo é o de maximizar a resposta animal, o nível nutricional estimado deve corresponder ao início da fase alimentar. Dessa forma, os parâmetros que definem o intervalo da fase como peso vivo e idade não são mais considerados. A estimativa das exigências de um nutriente pelo método fatorial é dependente de estudos que avaliem e estimem os parâmetros necessários para aplicabilidade do método (HAUSCHILD, 2010). Esses parâmetros expressam as exigências de manutenção e

a eficiência de utilização dos nutrientes da dieta e normalmente são derivados de experimentos empíricos (dose reposta), mas que em algumas situações podem ser de natureza mecanicista.

Alguns comitês de pesquisa em nutrição têm publicado estimativas de exigências nutricionais baseadas no método fatorial. Alguns nutrientes como energia, proteína (ARC, 1981), lisina e demais aminoácidos essenciais (NRC, 1998; ROSTAGNO et al., 2011), além de macro-minerais como Ca e P (JONDREVILLE & DOURMAD, 2005). As exigências são estimadas para diferentes fases fisiológicas utilizando equações fatoriais.

1.2.3 Limitações dos métodos

De maneira geral, as exigências nutricionais são determinadas para expressar o máximo potencial de crescimento do suíno, tanto no método empírico quanto no fatorial. No entanto, levando em consideração a heterogeneidade existente entre os diferentes sistemas de produção, as exigências nutricionais podem ser subestimadas ou superestimadas para algumas populações de suínos por meio destes métodos.

Por serem condicionadas a muitos fatores, as exigências nutricionais não devem ser tomadas como fixas em todas as circunstâncias. As exigências são determinadas pela resposta animal à utilização de nutrientes, a qual é considerada um processo dinâmico, resultado da interação entre alimento e animal (FULLER, 2004; VAN MILGEN et al., 2008). O fornecimento de nutrientes é determinado pelo propósito de produção, que pode ser o máximo desempenho ou a melhor produtividade possível com o menor custo. A utilização da modelagem para estimar as exigências nutricionais permite uma flexibilização dos níveis a serem fornecidos aos animais. Assim, não existe somente uma exigência, mas sim, recomendações nutricionais ajustadas aos diferentes cenários de produção (ROSTAGNO et al., 2011).

1.3 Modelagem

1.3.1 Caracterização

A modelagem aplicada aos seres vivos é estudada há várias décadas (LOVATTO & SAUVANT, 2001). A modelagem é uma ferramenta que pode ser considerada uma parte importante do processo evolutivo da ciência animal, uma vez que permite descrever os diferentes processos biológicos através de uma série de equações que são determinadas, sendo desta forma artifícios matemáticos aplicados a um domínio de dados.

Um dos primeiros modelos nutricionais para descrever o crescimento em suínos foi proposto por Whittemore e Fawcett em 1974 (WHITTEMORE & FAWCETT, 1974). Este modelo calculava a deposição proteica e lipídica a partir do ganho de peso corporal. O modelo assumia que a deposição proteica era constante durante o desenvolvimento do animal e a deposição lipídica era considerada o destino do restante de energia não utilizada nas funções de manutenção e deposição proteica. Mais tarde, esses mesmos autores propuseram que não somente a deposição lipídica, mas também a deposição proteica dependia da energia ingerida. Através da relação entre deposição proteica e consumo de energia foi proposta a relação linear-platô, ilustrada na figura 1 (WHITTEMORE & FAWCETT, 1976).

Os conceitos propostos pelo primeiro modelo nutricional para suínos definiam que: o crescimento era determinado pela deposição proteica e lipídica; existe um limite superior para a deposição proteica; existe um mínimo de deposição lipídica para a taxa de deposição proteica; o consumo de ração é uma variável de entrada no modelo e toda energia além da utilizada nas funções de manutenção e crescimento é depositada na forma de lipídios; o peso corporal e as quantidades de carne magra e gordura são determinadas pelas quantidades de proteínas e lipídios corporais. Esses princípios básicos foram utilizados no desenvolvimento de outros modelos, dentre estes o InraPorc[®] (DOURMAD et al., 2008; VAN MILGEN et al., 2008).

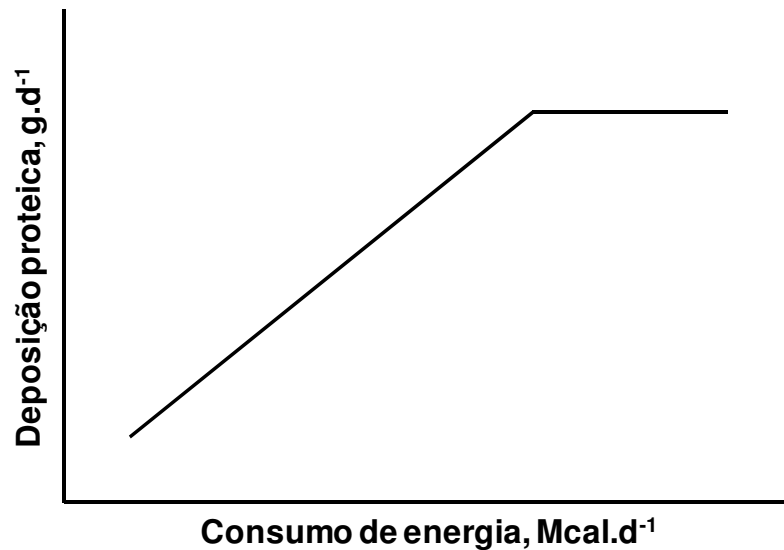


Figura 1 – Representação gráfica da função linear platô, proposta para descrever a deposição proteica em função da ingestão de energia.

Fonte: (WHITTEMORE & FAWCETT, 1976).

Os modelos matemáticos utilizados em produção animal têm aplicabilidade na estimativa dos componentes de crescimento, determinação das exigências nutricionais e no auxílio à tomada de decisão. A modelagem considera o animal como um sistema fisiológico com características mensuráveis e processos biológicos (BABINSZKY & HALAS, 2009). Através de modelos de simulação é possível estudar, de maneira dinâmica, os diferentes fatores que afetam a resposta animal e as exigências nutricionais e quantificar a influência destes sobre os diferentes sistemas de produção de suínos.

Os modelos são compostos por uma série equações e parâmetros estimados a partir de dados experimentais. Os parâmetros permitem estabelecer relações entre as diferentes respostas animais e as variáveis explicativas (HAUSCHILD, 2010). Entretanto, por basearem-se em populações relativamente pequenas e princípios biológicos estruturados em informações estimadas do estado do sistema, os parâmetros apresentam determinada imprecisão. Por este motivo, os modelos são considerados uma aproximação da realidade. Os modelos propostos na literatura são classificados de acordo com a metodologia proposta para representar os

fenômenos. Esta classificação é dada em três níveis: temporal, explicativo e paramétrico (THORNLEY & FRANCE, 2006).

1.3.2 Nível temporal

Os modelos em nível temporal descrevem o estado do sistema no tempo através da medida de suas variáveis. Os modelos temporais podem ser estáticos, quando desconsideram o tempo como variável, e dinâmicos, quando abordam alterações temporais do sistema. O método fatorial utilizado para estimar exigências nutricionais pode ser um exemplo de modelo estático, por determinar a exigência para um nutriente em um ponto específico para um determinado intervalo de tempo. Modelos de crescimento e metabolismo geralmente são dinâmicos, pois integram alterações temporais para agregarem um nível maior de explicação.

1.3.3 Nível explicativo

Os modelos em nível explicativo representam o nível de agregação de conhecimento sobre o sistema. Eles podem ser empíricos, os quais consideram o modelo de maneira global, sem considerar processos fisiológicos envolvidos nas respostas. Os modelos empíricos são modelos em que dados experimentais são utilizados diretamente para quantificar relações baseadas em níveis de organização do conhecimento mais simples (FRANCE & DIJKSTRA, 2006). Já os modelos mecanicistas exploram os mecanismos que determinam o estado atual e as alterações do sistema. Esses modelos são construídos considerando a estrutura do sistema sob investigação, dividindo-o em seus componentes principais de forma a analisar o comportamento de todo o sistema em termos de seus componentes individuais e suas respectivas interações (FRANCE & DIJKSTRA, 2006).

Os modelos empíricos são geralmente classificados como “caixa preta”, pois consideram apenas os fluxos de entrada (fE) e saída (fS), utilizando uma estrutura

que se baseia, de maneira muito limitada, em mecanismos biológicos, mas que pode apresentar boa precisão (Figura 2).

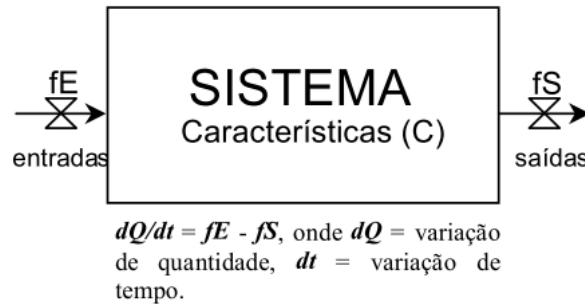


Figura 2 – Diagrama de modelagem empírica

dQ : variação de quantidade; dt : variação de tempo;
 fE : fluxo de entrada; fS : fluxo de saída; Fonte:
 (LOVATTO & SAUVANT, 2001)

Diferentemente dos modelos empíricos, os mecanicistas descrevem diferentes níveis de agregação de conhecimento (relação alimento-órgãos-tecidos-células, por exemplo). O nível de integração de conhecimento representa a quantidade de informações que podemos incluir em um modelo para que este tenha acurácia para explicar determinado fenômeno, embora modelos com mais níveis de integração de conhecimento tendem a tornarem-se mais complexos (Figura 3). Os modelos mecanicistas dependem de mecanismos biológicos, da variação da quantidade (dQ) e da variação de tempo (dt) para descrever os fluxos de entrada em saídas.

De maneira geral, os modelos empíricos tem se demonstrado indispensáveis, entretanto não exploram os mecanismos que determinam a resposta animal. Os modelos mecanicistas comparados aos empíricos são mais flexíveis e podem estimar a resposta animal e as exigências nutricionais para várias condições.

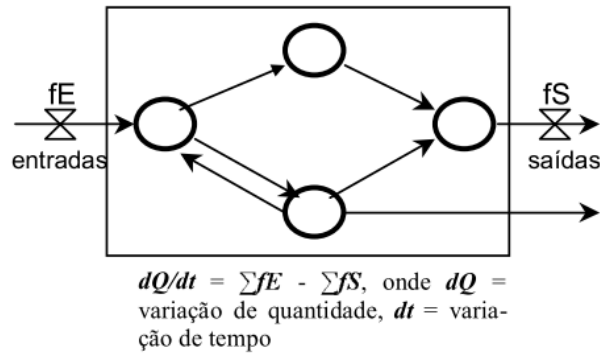


Figura 3 – Diagrama de modelagem mecanicista.

dQ : variação de quantidade; dt : variação de tempo; fE : fluxo de entrada; fS : fluxo de saída; Fonte: (LOVATTO & SAUVANT, 2001)

1.3.4 Nível paramétrico

Os modelos em nível paramétrico descrevem a forma com que as variáveis integram-se ao modelo. Os modelos paramétricos podem ser deterministas, quando um sistema é estimado por variáveis pré-determinadas, seguindo proposições conhecidas, e estocásticas, onde o sistema considera variáveis aleatórias ou uma distribuição de probabilidade. A maioria dos modelos utilizados para estimar o crescimento é determinista, pois estimam um único resultado a partir da descrição de um perfil animal.

A capacidade de predição e a complexidade de um modelo são fatores importantes para sua aplicação a campo e seu propósito de aplicação (processo). Nem todo modelo pode ser utilizado para fins de controle ou previsão a partir de uma perspectiva pecuária, uma vez que o animal é um sistema complexo, individual e com variação dinâmica em função do tempo (VAN MILGEN et al., 2008). Os modelos mecanicistas apresentam melhor poder de explicação (LOVATTO & SAUVANT, 2001), no entanto, esses modelos podem agregar muitos parâmetros para predizer a resposta animal, o que os torna pouco precisos, em decorrência da variação de tais parâmetros em função do tempo e do espaço (WATHES et al.,

2008). Já os modelos empíricos são de natureza mais simples, embora a maioria deles seja estático e pouco explicativo.

Essa abordagem de complexidade dos modelos é importante para a definição do tipo de modelo que melhor se ajusta ao processo que se deseja simular (estimar). Uma classificação de complexidade dos modelos foi abordada no trabalho de Wathes et al. (2008), onde os autores descrevem três tipos de classificação de modelos conforme a sua complexidade: modelos *single input-single output (SISO)*, *multiple input-single output (MISO)* e *multiple inputs-multiple outputs (MIMO)*. Em condições mais simplórias, a utilização de um modelo de uma simples variável de entrada e outra de saída (*single input-single output; SISO*) pode explicar o processo de maneira mais precisa. Já outros sistemas podem utilizar um modelo de múltiplas variáveis de entrada e somente uma variável de saída (*multiple input-single output; MISO*). A maioria dos modelos de aplicação prática utiliza um sistema de múltiplas entradas e múltiplas saídas (*MIMO*).

Os modelos de crescimento propostos para suínos como o InraPorc[®] são dinâmicos, mecanicistas e deterministas. Dentro da sua complexidade e capacidade de predição, o InraPorc[®] ainda pode ser classificado como um modelo *MIMO*. Através deste modelo é possível simular o crescimento do animal dentro dos diferentes cenários de produção, estimar as recomendações nutricionais para os diferentes cenários e identificar fatores limitantes ao crescimento do suíno. Adicionalmente, de uma grande quantidade de variáveis de entrada, necessárias para as simulações no modelo, é possível extrair um grande número de informações que sinalizam as condições do cenário de produção e auxiliam nutricionistas e pesquisadores na tomada de decisão. Isso caracteriza um importante passo para nutrição de precisão.

1.3.5 Modelagem aplicada à nutrição animal

A ciência da nutrição animal apresenta estreita relação com a modelagem. A representação mais clássica da modelagem aplicada à nutrição animal é o modelo de relação de energia de manutenção em função do peso metabólico do animal. Esse modelo considera as exigências nutricionais do animal e as unidades de

alimentação na formulação das dietas (LOVATTO & SAUVANT, 2001). Embora seja usual, esse modelo apresenta baixa flexibilidade e não considera efeitos sobre o animal, o que pressupõe a mesma resposta para todos os sistemas de produção.

Diante da necessidade de explorar a eficiência de transformação de alimento e avaliar a influência da sanidade e do ambiente sobre o desenvolvimento do suíno, foi proposta uma formulação de dietas em função de múltiplas respostas esperadas dos animais (SAUVANT, 1992). A partir dessa formulação é possível integrar de maneira quantitativa os fenômenos digestivos e metabólicos passíveis de influenciar a resposta animal (LOVATTO & SAUVANT, 2001). Dentro da mesma perspectiva, modelos de digestão e metabolismo de nutrientes foram desenvolvidos (MOUGHAN, 1985; BASTIANELLI et al., 1996). Esses modelos integram informações de maneira dinâmica e mecânica. Nestes, são considerados os principais nutrientes da dieta, o fluxo, a digestão e absorção intestinais bem como as perdas endógenas de aminoácidos.

Grande parte dos mecanismos de fluxos utilizados nos modelos de digestão e metabolismo tem sido aplicada em modelos de crescimento para suínos com o objetivo de melhorar a capacidade de explicação. Um destes exemplos é o modelo InraPorc[®] (VAN MILGEN et al., 2008). Esse modelo integra equações capazes de prever a resposta animal a partir da ingestão de nutrientes. Esse tipo de abordagem é ideal para explicar as interações entre oferta e exigências (VAN MILGEN et al., 2005). Isso permite, portanto, ajustar o fornecimento de nutrientes ao animal, otimizar a resposta zootécnica do rebanho, controlar a excessiva excreção de nutrientes (nitrogênio e fósforo) ao ambiente e auxiliar no suporte a decisão e na definição de estratégias nutricionais.

A modelagem tem integrado diferentes sistemas de controle, sobretudo os sistemas baseados no conceito de precisão no contexto da nutrição animal. Esse conceito considera os diversos aspectos de heterogeneidade entre diferentes sistemas e indivíduos. A modelagem por sua vez contribui para compreensão desses aspectos de forma dinâmica. Nesse sentido, uma revisão a cerca do conceito de precisão e suas aplicações em produção vegetal e animal são descritas a seguir.

1.4 Precisão no contexto agropecuário

1.4.1 Contextualização

No contexto da produção agropecuária, novos processos e tecnologias têm sido desenvolvidos na perspectiva de atender a demanda mundial de alimentos. Dentre essas novas tecnologias, citamos o conceito de precisão (REDDY & KRISHNA, 2009; GEBBERS & ADAMCHUK, 2010). Este conceito surge da necessidade de se gerenciar de forma mais econômica e sustentável os recursos naturais e tornar os processos produtivos mais eficientes. O desenvolvimento de ferramentas de informática, tecnologias em geoprocessamento, sensores e modelagem matemática, por exemplo, permitiram que os sistemas de produção fossem analisados de maneira dinâmica, considerando a diversidade existente. A aplicação de tais tecnologias contribuiu para aumentar a eficiência na utilização dos recursos e reduzir a incerteza nas tomadas de decisões (SCHELLBERG et al., 2008).

O conceito de precisão no contexto agropecuário permitiu o desenvolvimento da gestão da heterogeneidade dos sistemas de produção. Na agricultura, as propriedades deixaram de serem vistas como homogêneas, mas sim como várias propriedades dentro da mesma, porém com características específicas (TSCHIEDEL & FERREIRA, 2002). No contexto da produção animal, a exploração de vários níveis de heterogeneidade e a avaliação das respostas não lineares nos processos de produção possibilitou melhorar os sistemas produtivos e reduzir o impacto ambiental (LACA, 2009). O conceito de precisão também contribuiu para o crescimento de áreas de fomento. Diversas agências começaram a oferecer soluções técnicas que permitiam descrever a variabilidade dentro de uma propriedade (COX, 2002).

Alguns segmentos da produção agropecuária se apropriaram de maneira rápida e bem sucedida do conceito de precisão, como a agricultura de grãos por exemplo. Contudo, na produção animal este conceito ainda não está totalmente esclarecido. Embora se tenham observados avanços em Zootecnia de Precisão, existe a necessidade de maiores estudos a cerca da aplicabilidade das ferramentas que utilizam este conceito, na nutrição animal. Neste sentido, uma organização do

conhecimento sobre nutrição de precisão poderia elucidar os estudos a cerca do tema.

1.4.2 Precisão *versus* Acurácia

A utilização de modelos aplicados à produção animal tem apresentado considerável evolução nos últimos anos. Essa evolução tem sido atribuída à necessidade de maior rapidez e certeza nas tomadas de decisões, seja na formulação das dietas ou no ajuste das estratégias de manejo. Por definição, um modelo é uma representação ou uma abstração das condições reais, capaz de integrar as principais interações e o comportamento do sistema estudado, apta a ser manipulada com o objetivo de prever as consequências de alteração de um ou mais parâmetros sobre o comportamento desse sistema (SPEDDING, 1988). Entretanto, por próximo da realidade observada que seja essa representação, existe a necessidade de considerar a repetibilidade do modelo em diferentes cenários.

Dessa forma, dois conceitos têm sido utilizados para avaliar a capacidade de representação e repetibilidade dos modelos. São eles denominados Acurácia e Precisão. Esses dois termos possuem grande aplicação na área de ciências geodésicas, onde é necessária a avaliação da qualidade de uma grandeza observada ou de um parâmetro estimado (MONICO et al., 2009). A acurácia é definida como a proximidade da estimativa de um modelo (valores estimados) aos seus dados de produção (valores observados) (HARLOW & IVEY, 1994). Isso significa que, ao estimarmos o comportamento de um sistema, por exemplo, ganho de peso corporal em função do consumo de alimento, quanto mais próximo dos valores observados a campo se encontra esta estimativa, mais acurado é este modelo (Figura 4). A representação estatística da acurácia de um modelo é o erro padrão, que representa a distancia entre a média estimada e a verdadeira média de um conjunto de dados. Já a precisão de um modelo pode ser definida como a distribuição dos erros da predição. Um modelo preciso não apenas prevê corretamente um valor médio, mas também prevê a distribuição dos dados (HARLOW & IVEY, 1994). A precisão de um modelo é refletida no desvio padrão entre os valores observados e preditos.

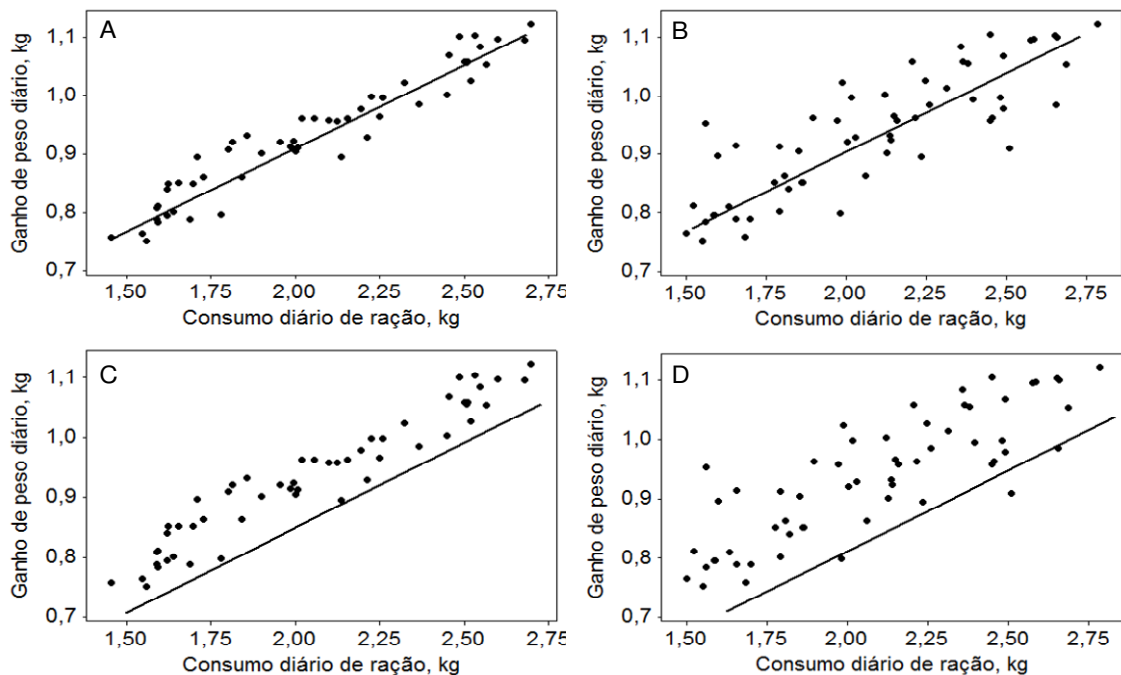


Figura 4 – Representação gráfica de modelos com alta precisão e alta acurácia (A); baixa precisão e alta acurácia (B); alta precisão e baixa acurácia (C); baixa precisão e baixa acurácia (D); (•) representação das medidas observadas; (—) representação das medidas estimadas.

Embora pareçam termos sinônimos, a diferença entre acurácia e precisão advém dos diferentes tipos de erros incluídos em suas medidas. Esses erros estão relacionados com as incertezas na coleta de dados, que em se tratando de modelagem animal, estão relacionados com fatores ligados ao animal, o seu ambiente e a forma com que eles se interagem. Esse tipo de erro é sistemático e que se manifesta como uma tendência constante ou variável no tempo, afetando a estimativa. Já os erros aleatórios são erros relacionados à qualidade da coleta de dados e a experiência e acúmulo de conhecimento do modelador. Como exemplo, quando realizamos uma mesma medida, repetidas vezes, os valores obtidos dificilmente serão os mesmos, embora sejam próximos e distribuídos em torno de um valor médio (erro padrão, desvio padrão residual e intervalo de confiança).

1.4.3 Nutrição animal de precisão

Os avanços obtidos no manejo nutricional das espécies de interesse comercial estão relacionados à melhoria na eficiência produtiva, à redução do custo de produção e ao menor impacto ambiental. A demanda cada vez maior por proteína animal, os altos custos das matérias-primas e o aumento do potencial poluente da atividade agropecuária têm estimulado especialistas a desenvolver tecnologias mais sustentáveis e eficientes (REDDY & KRISHNA, 2009).

Nessa perspectiva, pesquisas estenderam o conceito de precisão à produção animal. Algumas dessas pesquisas desenvolveram definições a cerca de estudos de ambiência e bem-estar animal (SEVEGNANI et al., 2005; SILVA et al., 2005). Já outras pesquisas direcionaram o conceito de precisão para a nutrição animal (PESTI & MILLER, 1997; POMAR et al., 2009; REDDY & KRISHNA, 2009). A abordagem de nutrição de precisão apresenta grande influência dos conceitos da agricultura de precisão, que considera a heterogeneidade e as particularidades dentro e entre sistemas de produção. De maneira geral, a nutrição de precisão considera a dinâmica da utilização de nutrientes pelos animais dentro e entre os cenários de produção. Esse cenário nutricional é caracterizado por fatores que influenciam a expressão do potencial de crescimento do animal, como o programa nutricional, manejo alimentar, instalações e principalmente a genética dos animais. Isso permite aos nutricionistas, definir estratégias nutricionais personalizadas ou ajustadas à diversidade encontrada a campo.

Essa abordagem difere dos tradicionais modelos de definição de estratégias nutricionais adotados pela indústria de rações que são balizados por tabelas nutricionais (ROSTAGNO et al., 2005, 2011) que consideram as diferenças de forma genérica. Esses modelos assumem que o atendimento das exigências nutricionais e a formulação de mínimo custo podem maximizar o desempenho (PESTI & MILLER, 1997). Entretanto, isso pode determinar a sub ou supernutrição em determinadas populações de suínos, o que se traduz na queda de desempenho dos animais ou no alto custo das formulações. Outra dificuldade encontrada é o fato desses modelos não preverem o desempenho dos suínos em termos absolutos (VAN MILGEN et al., 2005).

Com o desenvolvimento de modelos baseados em múltiplas respostas dos animais é possível integrar a dinâmica da utilização de nutrientes e compreender os mecanismos biológicos e a variação dos fenômenos digestivos e metabólicos dos suínos (SAUVANT, 1992; LOVATTO & SAUVANT, 2001). Esse é um processo importante quando abordamos o conceito de nutrição de precisão. Através desses modelos, as exigências nutricionais são estimadas considerando os diferentes genótipos e ambientes em diferentes sistemas de produção. Dessa forma, é possível estudar a heterogeneidade existente entre os cenários e ajustar os programas nutricionais e alimentares às exigências nutricionais de uma determinada população de suínos.

A utilização do conceito de precisão, seja em qualquer área de aplicação, está ligada a aplicação de diferentes ferramentas de controle e gerenciamento. Na nutrição animal não é diferente. As ferramentas são aplicadas de acordo com as necessidades do processo produtivo. Essas ferramentas devem ter aplicação sobre alguns dos principais elementos que caracterizam a nutrição de precisão, como: avaliação do potencial nutricional dos alimentos; determinação precisa das exigências nutricionais; formulação de dietas balanceadas que limitam excedentes nutricionais e ajuste do fornecimento de nutrientes de acordo com o cenário ou os propósitos de produção (WHITTEMORE et al., 2001). Algumas ferramentas já apresentam aplicabilidade sobre estes elementos. A tecnologia NIRS (*Near Infra Red System*) tem contribuído para a determinação precisa e em tempo real da composição nutricional dos alimentos utilizados nas dietas animais (FONTANELI et al., 2002; OSBORNE, 2006). Isso tem auxiliado os nutricionistas no ajuste de formulações das dietas de acordo com a variação na composição das matérias primas e na gestão de custos de formulação.

Outra estratégia é o *Intelligent Precision Feeder* (IPF), uma ferramenta desenvolvida com o objetivo de alimentar suínos nas fases de crescimento e terminação de maneira individualizada e em tempo real (POMAR et al., 2009). O IPF permite reduzir custos de formulação, excreção excessiva de nutrientes como nitrogênio e fósforo e contribui para o desenvolvimento de sistemas sustentáveis de produção de suínos (JONDREVILLE & DOURMAD, 2005). Outra ferramenta com grande difusão nos sistemas de produção de suínos da Europa é o modelo InraPorc[®] (VAN MILGEN et al., 2005; DOURMAD et al., 2008). O modelo integra diferentes aspectos relacionados à nutrição, à alimentação, à genética, ao ambiente

e ao comportamento animal (VAN MILGEN et al., 2008). Uma descrição mais detalhada dos princípios e da aplicação do modelo será apresentada na sequência deste estudo.

1.4.3.1 O modelo InraPorc[®] como ferramenta de nutrição de precisão

O modelo InraPorc[®], desenvolvido pelo *Institut National de La Recherche Agronomique* (INRA, Saint Gilles, France), permite estimar as exigências nutricionais e simular o desempenho de suínos em crescimento. O modelo integra conceitos atuais sobre nutrição e alimentação de suínos como aminoácidos digestíveis (MOUGHAN, 2003), a energia líquida (NOBLET et al., 1994) e a proteína ideal (VAN MILGEN et al., 2008). Com o advento dos recursos de informática foi possível integrar o modelo a uma ferramenta e disponibilizá-lo para usuários no suporte ao diagnóstico e a tomada de decisões a cerca de ajustes nutricionais para suínos.

O modelo permite caracterizar um perfil animal em um determinado cenário de produção, baseado em duas variáveis de estado: proteína corporal e lipídio corporal (VAN MILGEN et al., 2008). Com base nesta caracterização, o modelo permite avaliar como os nutrientes são utilizados para as diferentes finalidades no organismo animal. A ingestão e utilização de energia e nutrientes e o potencial de deposição proteica são as principais características utilizadas pelo modelo para caracterizar o perfil animal. Adicionalmente, o InraPorc[®] determina perfis animais de uma população através da relação entre parâmetros relacionados ao consumo e crescimento (BROSSARD et al., 2006). As variáveis de entrada do modelo incluem o consumo de proteína, gordura, amido, açúcares e resíduos (Figura 5). Parte da fração de proteína digestível é depositada na forma de proteína corporal. O restante é desaminado, de modo que a cadeia carbônica é utilizada como fonte energética. Os excedentes de proteína, gordura, amido, açúcares e resíduos são convertidos equivalentes de energia metabolizável e energia líquida.

A ingestão de alimento representa uma função de entrada do modelo e está relacionada com o peso vivo do animal [F(pv)]. O usuário determina através de coletas de dados à campo os valores e os intervalos para essa variável. O fornecimento de nutrientes está relacionado com o programa de dietas e manejo

alimentar aplicado sobre a população de suínos ou definidos previamente pelo usuário, quando este deseja avaliar diferentes estratégias nutricionais. A disponibilidade de energia e nutrientes juntamente com o potencial de crescimento, determina a divisão de energia entre deposição proteica e lipídica. Já o potencial máximo de deposição de proteínas (PDmax) é definido como deposição proteica em uma situação em que o animal é capaz de expressar seu potencial de crescimento em condições de alimentação à vontade. O PDmax é considerado uma característica fenotípica e depende das condições de exploração (VAN MILGEN et al., 2005).

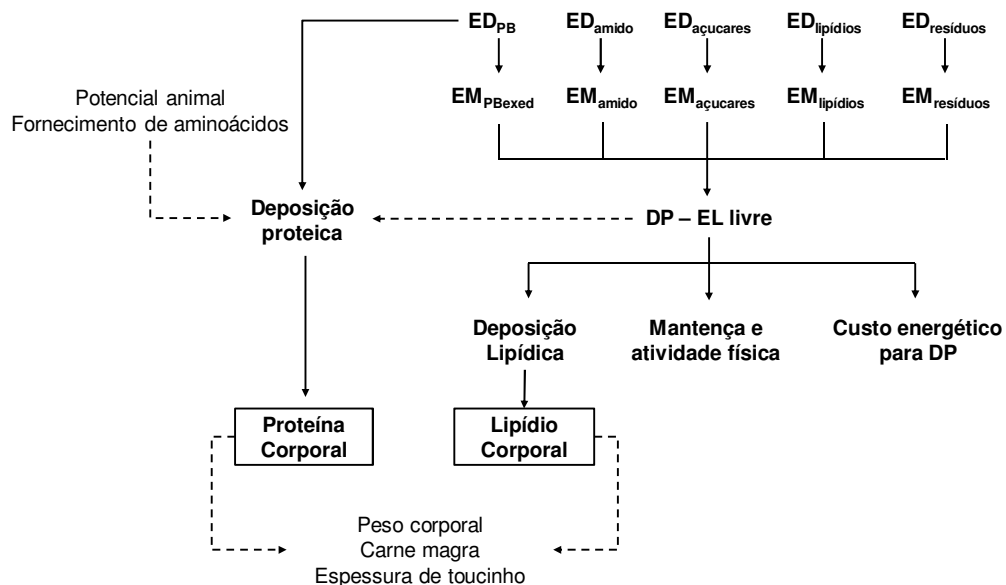


Figura 5 – Principais fluxos de nutrientes (setas contínuas) e suas relações (setas tracejadas) descritos no modelo InraPorc®.

ED: energia digestível; EM; energia metabolizável; DP: deposição proteica; EL: energia líquida; Fonte: (VAN MILGEN et al., 2008).

O modelo InraPorc® utiliza a função de Gompertz para definir o potencial de deposição proteica em função do peso corporal. A função de Gompertz, por sua simplicidade, precisão e facilidade de aplicação tem sido a mais utilizada para descrever o PDmax em animais (WELLOCK et al., 2004). Os demais componentes

do crescimento podem ser estimados a partir do PDmax, através de relações alométricas. Assim, a soma dos componentes do ganho de peso permite estimar o estado atual do animal (peso vivo).

As informações coletadas a campo e inseridas no modelo são utilizadas para gerar a simulação de uma população virtual baseado em um perfil médio ajustado as condições do cenário que se deseja descrever. A partir dessa simulação, é possível estimar o desempenho de uma população de suínos, avaliar as condições do cenário e determinar estratégias nutricionais de modo a otimizar a resposta da população. Essa abordagem permite encontrar o melhor momento para transições de dietas a partir de perspectivas econômicas e ambientais, com a identificação da estratégia ideal para abate e com a determinação da entrada de nutrientes que otimiza um determinado fator de produção para a população (VAN MILGEN et al., 2005).

Adicionalmente, o modelo InraPorc[®] pode contribuir com a redução do impacto ambiental, o que permite desenvolver sistemas sustentáveis de produção de suínos (JONDREVILLE & DOURMAD, 2005; VAN MILGEN et al., 2009). O diagnóstico do cenário nutricional/alimentar permite determinar excessos e/ou carências nutricionais (aminoácidos e fósforo, principalmente) no decorrer do período de alimentação. Como os programas nutricionais são propostos para maximizar o desempenho, as exigências nutricionais têm sido superestimadas para as populações. Adicionalmente, a indústria de rações tem definido programas nutricionais de maneira genérica, sem considerar a heterogeneidade existente a campo. A estratégia adotada nessas condições é a utilização de margens de segurança com o objetivo de suprir as exigências nutricionais das populações com maior demanda de nutrientes (PATIENCE, 1996). Entretanto, as excessivas margens de segurança configuram excesso no fornecimento de nutrientes que normalmente não são aproveitados pelo animal, reduzindo a eficiência de utilização (JEAN DIT BAILLEUL et al., 2001).

A excreção de nitrogênio e fósforo pelo suíno é afetada principalmente pela quantidade de N e P ingeridos, a disponibilidade metabólica dos nutrientes e o balanço entre a oferta de nutrientes e as exigências dos animais (JONGBLOED & LENIS, 1992). Por meio do modelo InraPorc[®], é possível ajustar o balanço entre fornecimento de nutrientes e as exigências nutricionais da população e assim,

reduzir a excreção dos excedentes para cada fase de produção, sem afetar o desempenho dos animais.

De maneira geral, o modelo InraPorc[®] apresenta diversos benefícios relacionados à estimativa das exigências nutricionais e da resposta animal aos diferentes sistemas de produção, ao ajuste da oferta de nutrientes às exigências nutricionais da população de suínos e a redução dos custos de alimentação e do impacto ambiental da produção de suínos. Contudo, o sucesso do diagnóstico depende da qualidade das informações coletadas a campo e da quantidade dos parâmetros a serem inseridos na simulação do cenário.

No Brasil, a aplicação em nível industrial de modelos na produção animal ainda é considerada incipiente. Alguns grupos de pesquisa de instituições nacionais tem estudado formas de incorporação e viabilidade de utilização de modelos na suinocultura brasileira, como é o caso do modelo InraPorc[®] que já foi testado em condições experimentais para porcas em gestação e lactação (LEHNEN, 2012). Além disso, trabalhos foram enviados para apreciação e publicados em periódicos científicos (LOVATTO et al., 2010), assim como projetos de pesquisa envolvendo a aplicação do modelo InraPorc[®] vem sendo desenvolvidos em instituições nacionais.

CAPÍTULO 2 – NUTRITIONAL ADJUSTMENTS FOR GROWING AND FINISHING PIGS THROUGH A PRECISION NUTRITION TOOL: PERFORMANCE, NUTRIENT INTAKE AND CARCASS CHARACTERISTICS

Este capítulo é apresentado de acordo com as normas para publicação na Revista Ciência e Agrotecnologia (Lavras).

Artigo enviado para publicação, (Ciência e Agrotecnologia), 2013.

**NUTRITIONAL ADJUSTMENTS FOR GROWING AND FINISHING PIGS
THROUGH A PRECISION NUTRITION TOOL: PERFORMANCE, NUTRIENT
INTAKE AND CARCASS CHARACTERISTICS**

**Ajustes nutricionais para suínos em crescimento e terminação através de uma
ferramenta de nutrição de precisão: desempenho, consumo de nutrientes e
características de carcaça**

Gustavo Dias Lovato^{1*}
Marcos Martinez do Vale²
Paulo Alberto Lovatto^{2†}
Carlos Augusto Rigon Rossi³
Arlei Rodrigues Bonet de Quadros²
Bruno Neutzling Fraga⁴

ABSTRACT

The aim of this work was to use InraPorc[®] model as nutritional adjustment tool for growing and finishing pigs, in Brazilian commercial production context. The pre-experimental period was realized in a production commercial unity of swine with capacity to 432 pigs. In the pre-experimental period, was performed data collection to nutritional program definition to calibrate the animal profile and nutritional adjustments. Animal profile was collected through weighing of 20% of pigs and monitoring feed intake each pen. The data collected was inserted in the InraPorc[®] to make the simulations and to propose

¹ Zootecnista, Aluno do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria/UFSM – Avenida Roraima, 1000, Bairro Camobi, CEP: 97105-900 – Santa Maria, RS, Brasil. *: e-mail: diaslovato@gmail.com.

² Zootecnista, Doutor, Professor Adjunto do Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria/UFSM – Santa Maria, RS, Brasil. † *in memoriam*

³ Médico Veterinário, Doutor, Professor Adjunto do Departamento de Clínica de Grandes Animais, Universidade Federal de Santa Maria/UFSM – Santa Maria, RS, Brasil.

⁴ Zootecnista, Mestre, Aluno do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria/UFSM – Santa Maria, RS, Brasil.

adjustments to conventional nutritional program. Already in the experimental period was realized a comparison between conventional nutritional program (CNP) and adjusted nutritional program to estimate nutritional requirements through InraPorc[®] for the animal profile in study (ANP). Were utilized 432 pigs with average body weight of 21.9kg in a completely randomized design. The pig performance was not affected ($P>0.05$) by nutritional programs. On experimental period, the daily intakes of digestible lysine, total phosphorus and digestible phosphorus in the CNP was higher ($P<0.01$) than ANP. The pigs of CNP had backfat thickness 8% higher ($P<0.05$) than pigs of ANP. On commercial production context from this study, the InraPorc[®] model can be utilized with advantage in the adjustment of nutritional programs for growing and finishing pigs.

Index terms: InraPorc[®], nutritional requirements, modeling, swine nutrition

RESUMO

O trabalho foi realizado com o objetivo de utilizar do modelo InraPorc[®] como ferramenta de ajuste de programas nutricionais para suínos em crescimento e terminação, em um contexto de produção comercial brasileira. O período pré-experimental foi realizado em uma granja comercial com capacidade para 432 suínos. Nesse período foram coletadas informações para definição do programa de dietas, programa alimentar, parametrização do perfil animal e ajustes nutricionais. As informações do perfil animal foram coletadas através da pesagem de 20% dos animais em cada baia e acompanhamento do consumo em cada fase alimentar. Os dados foram coletados foram inseridos no InraPorc[®] para realizar as simulações e propor ajustes ao programa nutricional comercial. Já no período experimental foi realizada uma comparação entre o programa nutricional convencional (CNP) e programa nutricional ajustado às exigências nutricionais estimadas pelo InraPorc[®] para o perfil animal em estudo (ANP). Foram utilizados 432 suínos com peso médio inicial de 21,9 kg em um delineamento

inteiramente casualizado. O desempenho dos animais não foi influenciado ($P>0,05$) pelos programas nutricionais. No período experimental, o consumo de lisina digestível, fósforo total e fósforo digestível no CNP foram superiores ($P<0,01$) na comparação com o ANP. Os suínos do CNP apresentaram a espessura de toucinho 8% superior ($P<0,05$) aos animais do ANP. Para as condições de produção deste estudo, o InraPorc[®] pode ser utilizado com vantagem no ajuste de programas nutricionais para suínos em crescimento e terminação.

Termos de indexação: InraPorc[®], exigências nutricionais, modelagem, nutrição de suínos

INTRODUCTION

Precision Nutrition has been a concept relevantly explored in the livestock production. This concept has a focus on the use of different tools and management processes, in order to reduce the uncertainties in decisions and optimize available resources (Mollo et al., 2009). Precision Nutrition assumes the supply of nutrients according to the diversity and purposes within and between production systems, with the aim of improving the efficiency these systems (Reddy & Krishna, 2009; Pomar et al., 2011). Precision nutrition approach has as reference the nutrient utilization dynamics and animal response in different production scenarios.

Several researchers have developed Precision Nutrition tools (Laca, 2009; Pomar et al., 2009; Reddy & Krishna, 2009). In pig production, one tool based on this concept is the InraPorc[®] model (van Milgen et al., 2008). This model integrates, through a dynamic, mechanistic and deterministic approach, different aspects related to nutrition, feeding, genetics, the environment and animal behavior, serving as a decisions support system tool in swine nutritional adjustment (van Milgen et al., 2008). The use of InraPorc[®] allows the user to estimate the nutritional requirements and animal growth considering different production

scenarios, allowing greater precision in nutrient supply. In their continent of origin, the InraPorc[®] has shown positive results as a decision making tool (Brossard et al., 2010; Quiniou et al., 2009).

In Brazil, the definition of nutritional programs for pigs on commercial level is guided by recommendations that consider differences between production systems as in a generic way (Rostagno et al, 2005; Rostagno et al., 2011). This approach can generate situations of over or under nutrition, depending of the scenario. Although it is a model developed and used in a context of European production, the InraPorc[®] could be explored as a tool to nutritional programs adjustment in Brazilian commercial pig production systems, considering the variability and dynamics of nutrient utilization. The objective of this study is to evaluate the InraPorc[®] application as an adjustment tool of nutritional programs for growing and finishing pigs in a commercial production context.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted in a commercial production unit in two periods: pre-experimental and experimental periods. All procedures performed with pigs followed the guidelines for the use of animals in research, required by the Ethics Committee on Animal Use (CEUA) of Federal University of Santa Maria. The same committee analyzed and approved the experimental protocol before the beginning of this study.

The pre-experimental period comprised a data collection in order to define the animal profile, the nutrition program and feed management. Were used a mixed group of 432 pigs (barrows and gilts), coming industrial crossbreeding between AGPIC 337 boars and Camborough 25 females of Agrocere PIC. The pigs were housed in a barn with eight pens of 36 animals each (circular feeder with a capacity to feed 40 animals) and other eight pens of 18 animals each (tubular feeder with a capacity to feed 20 animals). During this period, the animals were subjected to nutritional and dietary management program used by the company (CNP; Table 1).

The data collection was realized in a commercial farm in the period from October 2011 to January 2012 where the minimum, average and maximum temperatures in the pre-experimental period were 12.5°C, 26.1°C and 40.6°C, respectively. The animal profile includes information collected from animals on the farm regarding age, feed intake and body weight. The information collected was inserted to InraPorc[®] for parameterization of the growth curve and estimate of nutritional requirements. Age (days) was calculated based on age output of the nursery phase, more the duration of each feed phase until slaughter. Feed intake (kg) was accompanied to each end of phase feed and body weight (kg) was measured by weighing 30% of animals per pen. The weighing was realized in the housing day, at the end of each feeding phase and the day of transport to slaughter. Thus, ages, initial and final, were 63 days and 154 days, respectively, the accumulated feed intake was 202.7 kg and body weight, initial and final were 22.4 kg and 113.7 kg, respectively. The nutritional program information (formulation and composition of the diets of ingredients) and feed management adopted at the farm were collected with the nutrition department at the company.

The second period comprised the experimental test conducted between March and June 2012, on the same farm where it was realized the data collection (pre-experimental period). At the experimental period was realized a comparison between nutritional programs: conventional nutrition program used by the company (CNP) and nutritional program adjusted to the animal profile studied using the InraPorc[®] model (ANP). Were used a mixed group (barrows and gilts) with 432 pigs of the same crossbreeding used in the pre-experimental period, with 63 days of age and an average body weight of 21.9 kg. The treatments used were: conventional nutrition program used by the company (CNP) and nutritional program adjusted to the animal profile through InraPorc[®] (ANP). The CNP program is based on nutritional recommendations for Brazilian pigs (barrows and gilts) (Rostagno et al., 2011), with adjustments for the genetic lineage and for supplementation with ractopamine. The ANP

treatment diets were adjusted according to the nutritional requirements estimated for animal profile through InraPorc[®] model. The formulation and nutritional composition of the experimental diets are shown in table 1.

The animals were fed *ad libitum* (following the feed program of the company) and had free access to water. The experimental design was completely randomized. As the feeder type did not influence the nutritional programs ($P>0.05$), it was removed from the analytical model. Each treatment it was used eight replications, four of them with 36 animals in pens equipped with circular feeders and four with 18 animals per pen, with tubular feeders. The minimum, average and maximum temperatures in the experimental period was -1.8°C , 20.0°C and 35.2°C , respectively.

Table 1 - Ingredients and nutrient composition of the experimental diets.

Ingredients (%)	CNP ¹					ANP ²				
	IN ³	C1 ³	C2 ³	T1 ³	T2 ³	IN ³	C1 ³	C2 ³	T1 ³	T2 ³
Supply time (d)	9	18	15	19	35	9	18	15	19	35
Corn	39.5	55.3	62.1	63.1	51.7	43.9	43.6	56.1	61.2	55.8
Soybean meal	28.0	26.0	23.3	21.7	23.1	27.3	26.0	22.5	21.2	20.5
Broken rice	25.0	10.0	6.00	-	8.00	22.5	13.0	9.30	8.00	11.7
Rice bran	-	-	-	7.00	9.00	3.00	12.5	8.30	5.50	9.50
Meat and bone meal	2.30	4.00	4.00	3.70	3.80	1.60	2.40	2.00	1.90	0.40
Soybean oil	2.60	2.80	2.80	2.60	2.50	-	0.90	-	0.20	0.20
Limestone	0.90	0.45	0.42	0.55	0.50	0.70	0.60	0.60	0.80	0.77
Salt	0.40	0.39	0.40	0.38	0.39	0.41	0.37	0.41	0.40	0.40
L-Lysine HCl	0.60	0.40	0.40	0.40	0.39	0.17	0.17	0.30	0.30	0.29
DL-Methionine	0.14	0.13	0.11	0.12	0.13	-	0.03	0.06	0.08	0.04
L-treonine	0.14	0.13	0.09	0.10	0.12	-	0.03	0.05	0.07	0.03
Premix ⁴	0.40	0.38	0.36	0.33	0.35	0.40	0.38	0.36	0.33	0.35
Ractopamine	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Calculated composition										
DM (%)	89.7	89.2	89.6	90.4	90.2	88.5	90.7	91.1	89.2	88.7
ME MJ/kg	13.9	14.0	14.0	13.8	13.8	13.5	13.5	13.4	13.4	13.3
Crude Protein (%)	19.8	19.8	18.8	18.4	19.1	19.4	19.7	18.1	17.5	17.0
Lysine ⁵ (%)	1.14	1.03	0.97	0.94	0.98	0.97	0.93	0.89	0.86	0.82
LYS:ME g/MJ (%)	1.08	0.97	0.91	0.89	0.93	0.96	0.91	0.88	0.84	0.81
Met + Cys ⁵ (%)	0.66	0.64	0.60	0.59	0.62	0.55	0.57	0.56	0.56	0.52
Methionine ⁵ (%)	0.38	0.37	0.34	0.34	0.36	0.27	0.29	0.30	0.31	0.26
Cystine ⁵ (%)	0.27	0.27	0.26	0.24	0.26	0.28	0.27	0.26	0.25	0.25
Treonine ⁵ (%)	0.72	0.70	0.65	0.65	0.68	0.60	0.63	0.60	0.60	0.54

Calcium (%)	0.79	0.74	0.74	0.74	0.74	0.61	0.65	0.60	0.66	0.51
Phosphorus total (%)	0.55	0.56	0.55	0.63	0.66	0.49	0.65	0.57	0.53	0.54
Phosphorus dig (%)	0.37	0.39	0.39	0.39	0.40	0.28	0.34	0.31	0.30	0.24

All experimental diets have inclusion of phytase (50 g/ton of feed) with activity of 10.000 FTU/g); ¹ Conventional Nutritional Program (CNP); ² Nutritional Program adjusted through InraPorc[®] model (ANP); ³ Feed phases IN: initial; C1: growing 1; C2: growing 2; T1: finishing 1; T2: finishing 2; ⁴ Supplied per kg product: Fe 55.000 mg; Cu 85.000 mg; Mn 20.000 mg; Co 250 mg; I 500 mg; Se 150 mg; Zn 42.000 mg; A 5.000.000UI; D3 1.300.000 UI; E 15.000 UI; K3 1.500 mg; B1 800 mg; B2 3.000 mg; B6 1.200 mg; B12 15.000 mcg; Folic Acid 250 mg; Pantothenic Acid 7.000 mg; Niacin 15.000 mg; ⁵: true ileal digestible content; DM: dry matter; ME: metabolizable energy; LYS:ME: lysine and metabolizable energy ratio; dig: digestible content.

The body weight was obtained by weighing 30% of animals per pen at the end of each feed phase. In each phase, the animals were randomly selected within the pen. The body weight and duration of the feed phase were used to estimate the average weight daily gain. Feed intake was obtained by weighting the feed provided subtracted by leftovers present in feeders at the end of each feed phase. The feed conversion was estimated by feed intake and average daily gain. The daily intake of metabolizable energy, digestible lysine and digestible phosphorus were obtained by the relationship between daily feed intake and their levels of these nutrients in the diet.

At the end of the experiment the animals were submitted to the process of pre-slaughter, without feed for 18 hours (10 hours before shipping). Before transport, 30% of animals per pen were randomly selected and identified for carcass evaluations. The animals were electrically stunned and bled. After slaughter and evisceration, the hot carcasses were weighed and cooled in a temperature of 1 to 2° C for 24 hours. After this period, the carcasses were reweighed to estimate cooling losses. Carcass length was measured in the left half carcass, from the symphysis pubis cranial edge to the atlas ventral edge. The backfat thickness was measured in the left half carcass, perpendicular to the midline at the last rib. The backfat thickness was measured with a digital caliper. Carcass yield was estimated by the equation $CY(\%) = [(CCW / BWf) \times 100]$, where: CCW=cold carcass weight (kg) and BWf=final body weight (kg).

The presupposition of normality of the data was tested by the Shapiro-Wilk test, and the null hypothesis states that the data have a normal distribution. Was used a mixed model with fixed effects of nutritional programs, feed phases (except for carcass traits), feeder type and their interactions. The statistical procedure used was MIXED of SAS version 8.2 (SAS, 2001). We conducted a structure selection test using the Bayesian information criterion (BIC) to determine the best model that represents the data. When differences, averages between nutritional programs and feed phases were compared using the resource LSMEANS. The interaction between nutritional programs and feed phases was unfolded when significant at the 5% probability.

RESULTS AND DISCUSSION

The performance results of the nutritional programs evaluated are shown in table 2. There were no differences ($P>0.05$) among treatments for the performance variables. The results of the table 2 showed similarity to other work which used the model InraPorc[®] as tool for nutritional strategies adjustment (Quiniou et al., 2009). In the study of Quiniou et al. (2009), two nutritional strategies with high (0.89 g/MJ NE on average) or low (0.75 g/MJ NE on average) of digestible lysine Net Energy ratio (Lys/NE) were evaluated. In our study, the estimate Lys/NE ratio in the programs CNP and ANP were on average 0.94 g/MJ NE and 0.86 g/MJ NE, respectively (Table 1).

Table 2 - Performance of pig feed with conventional nutritional program (CNP) and nutritional program adjusted through InraPorc[®] model (ANP) during growing and finishing phases.

Variable	Nutritional Programs		SEM	P
	CNP	ANP		
Initial BW (kg)	21.9	21.8	0.49	0.97
63 to 72 d				
BW (kg)	29.2	29.1	0.399	0.99
ADFI (kg/d)	1.25	1.21	0.091	0.42
ADG (kg/d)	0.80	0.81	0.093	0.98
F:G (kg/kg)	1.58	1.52	0.112	0.55
72 to 90 d				
BW (kg)	48.4	47.7	0.888	0.36

ADFI (kg/d)	1.94	1.91	0.056	0.58
ADG (kg/d)	1.07	1.03	0.051	0.39
F:G (kg/kg)	1.82	1.87	0.063	0.45
90 to 105 d				
BW (kg)	67.4	67.1	0.702	0.61
ADFI (kg/d)	2.39	2.48	0.053	0.11
ADG (kg/d)	1.27	1.29	0.072	0.68
F:G (kg/kg)	1.91	1.92	0.087	0.83
105 to 124 d				
BW (kg)	91.8	91.3	1.468	0.73
ADFI (kg/d)	2.84	2.87	0.083	0.71
ADG (kg/d)	1.28	1.27	0.068	0.91
F:G (kg/kg)	2.23	2.27	0.103	0.63
124 to 156 d				
BW (kg)	121.6	120.9	1.409	0.33
ADFI (kg/d)	2.99	2.98	0.063	0.86
ADG (kg/d)	0.93	0.90	0.043	0.48
F:G (kg/kg)	3.23	3.35	0.181	0.51

Initial BW, initial body weight; BW, body weight, ADFI, average daily feed intake, ADG, average daily weight gain, FCR, feed gain ratio; P: Probability at 5% of significance.

Although the InraPorc[®] was developed in a European production context, this demonstrated an appropriate adjustment in production conditions outside their original context of use, suggesting that the model can adapt to different production systems.

However, the accuracy of the adjustment depends on the quality of data for calibration to the animal profile. In our study, was observed a deviation 2% higher for body weight and 9% lower for feed intake when comparing InraPorc[®] model estimates with data observed in the experiment. This variation in the feed intake can be attributed to different environmental conditions between data collection period for animal profile definition (pré-experimental) where the average temperature was 26.1±8.0°C, and evaluation period of the nutritional adjustments with an average temperature of 20.0±6.0°C. In high environmental temperature, pigs reduce the voluntary feed intake due to heat stress (Huynh et al., 2005). This reduction in the feed intake is an efficient mechanism to reduced heat production of the pig (Quiniou et al., 2001), which explains the variation in the amount of feed intake by animal profile use in the InraPorc[®] simulations. Furthermore, the InraPorc[®] model uses a determinist approach for animal profile calibration. This approach characterizes the pig in a condition where it is

capable of expressing its potential, i.e., without constraints as heat stress or another factor that influences its voluntary feed intake (van Milgen et al., 2008). These assumptions are important because the calibration period may be responsible for this difference of 9% in feed intake between the observed and predicted by the model, suggesting that previous considerations of climate calibration period should be taken.

The daily intake of metabolizable energy between CNP and ANP was not different ($P>0.05$; Figure 1A) at any phases

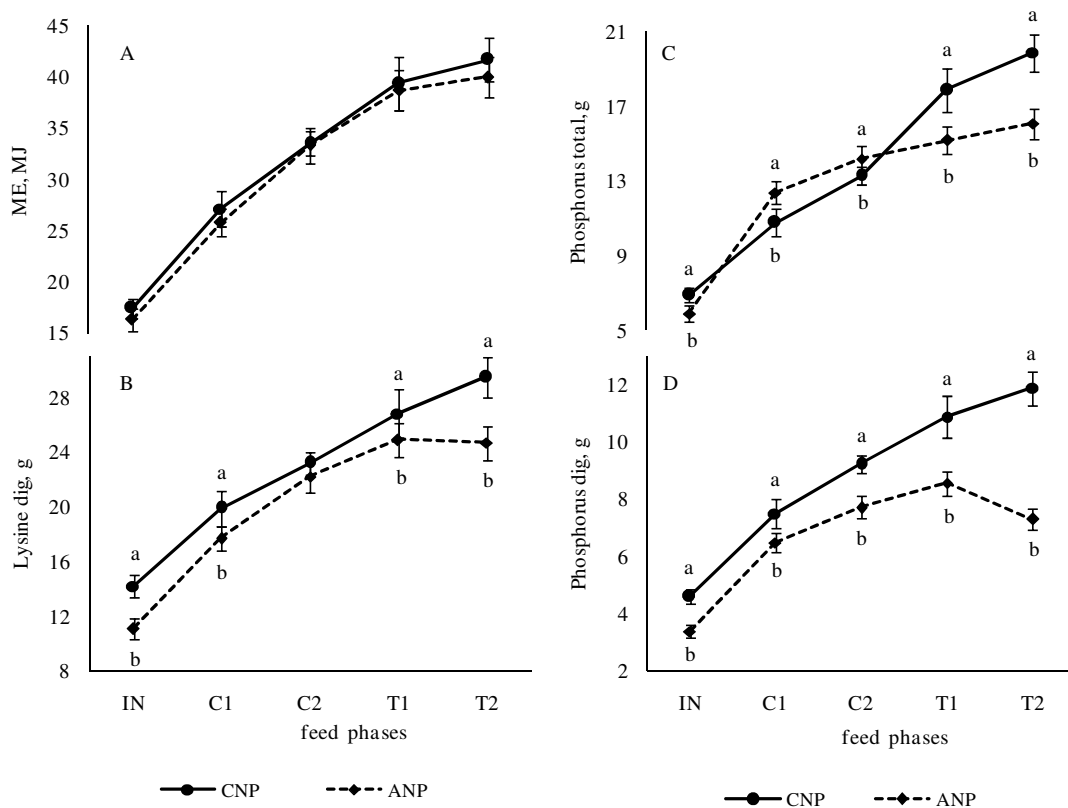


Figure 6 – Daily intake of metabolizable energy (1A), digestible lysine (1B), total phosphorus (1C) and digestible phosphorus (1D) growing and finishing pig fed with conventional nutritional program (CNP) and nutritional program adjusted through InraPorc[®] model (ANP) Each point represents an average (\pm Standard Deviation); a, b: points with different letters are significantly different ($P < 0.05$).

The pigs of the ANP showed, on average, daily intake of digestible lysine 14% lower ($P < 0.01$; Figure 1B) than pigs fed with CNP program in the initial (-3.1 g/d), growth 1 (-2.3 g/d), finishing 1 (-1.9 g/d) and finishing 2 phases (-4.8 g/d), without affecting animal

performance. In relation to daily intake of total phosphorus were observed differences ($P<0.05$) at all phases, (Figure 1C). In the initial phase and finishing 1 and 2, pigs fed with CNP showed intake 14%, 15% and 19% higher than ANP, respectively. Already growth phases 1 and 2, the total phosphorus intake was 15% and 7% higher ($P<0.05$) than animals of ANP, respectively. In relation to digestible phosphorus, pigs fed with CNP showed, on average, intake 19.5% higher ($P<0.01$) than ANP, at all stages, and in the finishing phase 2 this difference was 38% (Figure 1D).

In this study, nutritional adjustments reduced, on average, about 4% in the inclusion of corn (Table 1), the main energy source in the diets and an ingredient of higher proportion in the cost of the formulation (Rezende et al., 2006), besides to reducing by 30% the inclusion of soybean oil, maintaining the NE dietary. This adjustment also allowed greater inclusion of alternative energy sources (rice bran and broken rice). Additionally, the reduction on daily energy intake and daily lysine intake observed in the ANP in the feed phase finishing 2 can be explained due to adjustment the CNP for inclusion of ractopamine in the diet. Although differences were not observed, some studies demonstrated that inclusion of ractopamine accompanied by an adjustment in the lysine: energy ratio has a positive effect on the pig performance (Apple et al., 2004; Rostagno et al., 2011).

The nutritional adjustment reduced, on average, 12% the dietary lysine (Figure 1B), besides the reduction of 4% in the inclusion of soybean meal and more than 50% the inclusion of synthetic amino acids (L-Lysine HCl, DL-Methionine and L-Threonine ; Table 1), without loss on the performance of the animals (Table 2). Relating the absolute data of nitrogen (N) intake, observed that the CNP provided an intake of 69.9 grams per day (g/d) while the animals of the ANP consumed 67.2 g/d (about 4% lower). These results indicate nutritional levels most appropriate in the program ANP compared to CNP. Simulations of van Milgen et al. (2009) evaluating three different nutritional strategies demonstrated a reduction of 24%

and 10% at intake and excretion of N components, respectively, without compromising of the animals performance. In another data simulation in InraPorc[®] using diphasic and multiphase nutritional strategies, Brossard et al. (2010) found that the N intake was 5.2% higher than for the first strategy.

The adjustments of the amino acids intake reduced the metabolic activity of liver and kidneys decreasing energy input to the functions of metabolism and elimination of nitrogen (Chen et al., 1999), furthermore, the best utilization of amino acids reduces the emission of ammonia. This improves the breeding condition in pig production systems, because high concentrations of ammonia results in adverse effects on performance, health and animal welfare (Banhazi et al., 2008; Philippe et al., 2011). Applying the model of dynamics of nitrogen and phosphorus for Brazilian pig production proposed by Lovatto et al. (2005), on the results of nitrogen intake observed in our study, there was an annual reduction of 7.7 thousand tons in N excreted, considering the category of growing and finishing pigs in Brazil. These features demonstrated that the use of the InraPorc[®] in the definition of nutritional strategies was reduced the intake and excretion of N components without loss in the performance of the animals. Furthermore, the nutritional adjustments can reduce diet costs formulation, because protein sources are the second most onerous element of the diet.

This study was similar to studies of Hinson et al. (2009) that evaluated strategies of nutrient reduction the protein, calcium and phosphorus where total phosphorus intake was reduced in 17% without performance losses. The higher intake of total phosphorus in the growth phases 1 and 2, observed in the ANP (Figure 1C) is justified by greater inclusion of rice bran in the nutritional program (Table 1). The rice bran has an average of total phosphorus content of 16.7 g/kg dry matter (Rostagno et al., 2011). This value is about 80% higher compared to the values of other energy sources such as corn and broken rice, also used in the diets in this study (Table 1).

For growing and finishing pigs fed diets based in corn and soybean meal, about 45% of the phosphorus consumed is absorbed, however, only 30% is retained (Poulsen et al., 1999). Thus, 70% of the phosphorus consumed is excreted via the urine or feces. In order to reduce losses, the phosphorus supply should be adjusted to the needs of the animals, which depends on an accurate knowledge of these requirements, the nutrient availability on the feed and physiological status of the animal (Dourmad & Jondreville, 2007). The approach used by InraPorc[®] may to consider such matters. Through dynamic model of nitrogen and phosphorus for Brazilian swine (Lovatto et al., 2005), was estimate an annual reduction of two thousand tons of total phosphorus excretion, using diets adjusted through the InraPorc[®] (ANP). This reduction reflects directly on the economic and environmental aspects of pig production (Knowlton et al., 2004).

The nutritional programs did not influence ($P>0.05$) carcass traits analyzed, except for backfat thickness of the animals of ANP that showed, on average, 1.6 mm less ($P<0.05$), compared to animals of CNP (Table3).

Table 3 - Carcass traits of pig feed with conventional nutritional program (CNP) and nutritional program adjusted through InraPorc[®] model (ANP).

Variables	Nutritional Programs		SEM	P
	CNP	ANP		
HCW (kg)	89.5	88.6	1.567	0.57
CCW (kg)	87.1	86.2	1.455	0.55
LC (kg)	2.37	2.35	0.247	0.93
CY (%)	72.0	72.1	1.098	0.91
CL(cm)	98.9	98.5	0.721	0.62
BFT(mm)	20.5	18.9	3.443	0.04*

HCW, hot carcass weight; CCW, cold carcass weight; LC, losses during cooling; CY, carcass yield; CL, carcass length; BFT, backfat thickness; P: Probability at 5% of significance; * Significantly different at $P<0.05$.

The results observed in our study showed similarity with data simulation proposed by Quiniou et al. (2009). In this study the authors evaluated the effect of different feeding

strategies and different genotypes on carcass characteristics. However, for backfat thickness results were not confirmed.

The energy dietary is a main factor in the regulation of feed intake (Rezende et al., 2006). The growth and maintenance functions (mainly protein deposition) depend on the amount of available energy (Quiniou et al., 1999). However, when energy intake exceeds the requirements for maintenance and growth, this surplus is deposited in the form of body fat which is a tissue with high energy costs for the deposition and low conventional value.

The main gain from this study was obtaining results from the application of the InraPorc[®] model in a conventional pig farm in field climate condition. The results obtained using the model showed that it is possible to adjust the supply of nutrients to production conditions more accurately and without loss in the performance of pigs. However, it is possible that the climate need to be considered and related between the calibration period and model prediction for improve the accuracy. The nutritional adjustments improved the efficiency of use of energy, amino acids and phosphorus, which can impact on environmental and, mainly economic aspects, because the adjustment in the formulation reduced the ingredients inclusion more onerous as corn, soybean meal, soybean oil and amino acids synthetics. This condition would be unlikely using an empirical approach which has been applied in the definition of conventional nutritional programs as the CNP. However, the diversity of systems in pig production and the genetic evolution require constant updating of animal profile information to be used in the parameterization of InraPorc[®]. That is important for the accuracy of estimates of performance and reliability of nutritional adjustments.

CONCLUSIONS

In the conditions as that observed in this study from pig production, the InraPorc[®] model can be used as a tool of precision nutrition in the adjustment of nutritional programs for

growing and finishing phases. The nutritional adjustments made through InraPorc[®] model allow similar performance with lower lysine intake and phosphorus intake. Pigs fed diets adjusted through model InraPorc[®] model have lower backfat thickness without changing the other carcass traits.

ACKNOWLEDGEMENTS

To Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES – Brazil), by the scholarships provided. To Dr. Paulo Alberto Lovatto (*in memoriam*) by teachings and incentive to accomplish this work.

REFERENCES

APPLE, J.K.; MAXWELL, C.V.; BROWN, D.C.; FRIESEN, K.G.; MUSSER, R.E.; JOHNSON; Z.B.; ARMSTRONG T.A. Effects of dietary lysine and energy density on performance and carcass characteristics of finishing pigs fed ractopamine. **Journal of Animal Science**. Champaign, v.82, n.13, p. 3277-3287, Nov. 2004.

BANHAZI, T.M., SEEDORF, J., RUTLEY, D.L., PITCHFORD, W.S. Identification of risk factors for sub-optimal housing conditions in Australian piggeries: part 1. Study justification and design. **Journal Agriculture and Safety and Health**, St. Joseh, v.14, n.1, p.5-20, jan. 2008.

BROSSARD, L., QUINIOU, N., DOURMAD, J.Y., SALAÛN, Y., VAN MILGEN, J. Définir des stratégies alimentaires alliant performance économique et impact environnemental grâce à la modélisation du groupe de porcs en croissance. **Journées Recherche Porcine**, Paris, v.42, n.1, p.131-132, fev. 2010.

CHEN, H.Y.; LEWIS, A.J.; MILLER, P.S.; YEN, J.T. The effect of excess protein on growth performance and protein metabolism of finishing barrows and gilts. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.77, n.12, p.3238-3247, Dec. 1999.

DOURMAD, J.-Y.; JONDREVILLE, C. Impact of nutrition on nitrogen, phosphorus, Cu and Zn in pig manure, and on emissions of ammonia and odours. **Livestock Science**, Amsterdam, v.112, n.3, p.192-198, Dec. 2007.

HINSON, R.B.; SCHINCKEL, A.P.; RADCLIFFE, J.S.; ALLEE, G.L.; SUTTON, A.L.; RICHERT, B.T. Effect of feeding reduced crude protein and phosphorus diets on weaning-finishing pig growth performance, carcass characteristics, and bone characteristics. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.87, n.4, p.1502-1517, Dec. 2009.

HUYNH, T.T.T.; AARNINK, A.J.A.; VERSTEGEN, M.W.A.; GERRITS, W.J.J.; HEETKAMP, M.J.W.; KEMP, B.; CANH, T.T. Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.83, n.4, p.1385-1396, Feb. 2005.

KNOWLTON, K.F.; RADCLIFFE, J.S.; NOVAK, C.L.; EMMERSON, D.A. Animal management to reduce phosphorus losses to the environment. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.82, n.13, p.E173-195, Jan. 2004.

LACA, E.A. Precision livestock production: tools and concepts. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, p.123-132, Jul. 2009.

LOVATTO, P.A.; HAUSCHILD, L.; HAUPTLI, L.; LEHNEN, C.R.; CARVALHO, A.D.Á. Modelagem da ingestão, retenção e excreção de nitrogênio e fósforo pela suinocultura brasileira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.34, p.2348-2354, nov./dez. 2005.

MOLLO, M.; VENDRAMETTO, O.; OKANO, M. Precision livestock tools to improve products and processes in broiler production: a review. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v.11, p.211-218, Otc./Dec. 2009.

PHILIPPE, F.-X.; CABARAUX, J.-F.; NICKS, B. Ammonia emissions from pig houses: Influencing factors and mitigation techniques. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.141, n.3-4, p.245-260, May. 2011.

POMAR, C.; HAUSCHILD, L.; ZHANG, G.-H.; POMAR, J.; LOVATTO, P.A. Applying precision feeding techniques in growing-finishing pig operations. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, p.226-237, jul. 2009.

POMAR, J.; LÓPEZ, V.; POMAR, C. Agent-based simulation framework for virtual prototyping of advanced livestock precision feeding systems. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v.78, n.1, p.88-97, Aug. 2011.

POULSEN, H.D.; JONGBLOED, A.W.; LATIMIER, P.; FERNÁNDEZ, J.A. Phosphorus consumption, utilisation and losses in pig production in France, The Netherlands and Denmark. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v.58, n.3, p.251-259, 1999.

QUINIOU, N.; ALLAIN, C.; VAUTIER, A. Evaluation zootechnique d'une stratégie alimentaire biphasé établie via le logiciel InraPorc® et appliquée sur des porcs issus de verrats Pietrain ou Large White × Piétrain. **Journées Recherche Porcine**, Paris, v.41, n.1, p.101-108, fev.2009.

QUINIOU, N.; NOBLET, J.; DOURMAD, J.Y.; VAN MILGEN, J. Influence of energy supply on growth characteristics in pigs and consequences for growth modelling. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v.60, n.2-3, p.317-328, Jul. 1999.

QUINIOU, N.; NOBLET, J.; VAN MILGEN J.; DUBOIS, S. Modelling heat production and energy balance in group-housed growing pigs exposed to low or high ambient temperatures. **British Journal of Nutrition**, Londres, v.85, n.1, p.97-106, Jan. 2001.

REDDY, D.V.; KRISHNA, N. Precision animal nutrition: A tool for economic and eco-friendly animal production in ruminants. **Livestock Research for Rural Development**, Cali, v.21, n.3, Mar. 2009. Disponível em: <<http://www.lrrd.org/lrrd21/3/redd21036.htm>>. Acesso em: 26 ago. 2011.

REZENDE, W.O.; DONZELE, J.L.; OLIVEIRA, R.F.M.D.; ABREU, M.L.T.D.; FERREIRA, A.S.; SILVA, F.C.D.O.; APOLÔNIO, L.R. Níveis de energia metabolizável

mantendo a relação lisina digestível: caloria em rações para suínos machos castrados em terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.35, p.1101-1106, mai./jun. 2006.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L.; GOMES, P.C.; OLIVEIRA, R.F.M.D.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A.S.; BARRETO, S.L.D.T.; EUCLIDES, R.F. **Tabelas brasileiras para aves e suínos; composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa, MG: UFV, Departamento de Zootecnia, 2011. 252p.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L.; GOMES, P.C.; OLIVEIRA, R.F.M.D.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A.S.; BARRETO, S.L.D.T. **Tabelas brasileiras para aves e suínos; composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa, MG: UFV, Departamento de Zootecnia, 2005. 186p.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS. **Statistical analysis user's guide: statistics. Version 9.2**. Cary: SAS Institute, 2008. 1686p.

VAN MILGEN, J.; BROSSARD, L.; VALANCOGNE, A.; DOURMAD, J.-Y. Using Inraporc to reduce nitrogen and phosphorus excretion. **Recent Advances in Animal Nutrition**, Sheffield, v.2008, n.1, p.179-194, Jan. 2009.

VAN MILGEN, J.; VALANCOGNE, A.; DUBOIS, S.; DOURMAD, J.-Y.; SÈVE, B.; NOBLET, J. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.143, n.1-4, p.387-405, May. 2008.

CAPÍTULO 3 – DISCUSSÃO GERAL

Nas condições do presente estudo, foi possível verificar que o modelo InraPorc[®] pode ser utilizado como uma ferramenta com potencial para ajuste de programas nutricionais em sistemas de produção comercial de suínos. Os resultados deste estudo foram semelhantes a estudos anteriores que utilizaram simulação de dados para avaliar o modelo InraPorc[®] (VAN MILGEN et al., 2008; QUINIOU et al., 2009; BROSSARD et al., 2010), porém, neste caso houve uma comparação em situação de campo das simulações. Esses resultados permitiram uma equiparação ao desempenho zootécnico obtido com sistemas convencionais de elaboração de programas nutricionais, baseados em métodos empíricos de estimativa das exigências nutricionais.

Embora tenha sido desenvolvido para um contexto de produção europeu, o modelo InraPorc[®] demonstrou um ajuste adequado em condições de produção fora de seu contexto original de utilização. Isso sugere que o modelo pode adaptar-se a diferentes sistemas de produção. No entanto, a precisão dos ajustes depende, principalmente, da qualidade dos dados para calibração do perfil animal. Neste estudo foi observado um desvio 2% superior para o peso vivo e 9% inferior para consumo de ração ao compararmos as estimativas do modelo InraPorc[®] em relação aos valores observados no ensaio a campo (Apêndice C). Essa maior variação observada no consumo de ração pode ser atribuída às condições ambientais distintas entre período de coleta dos dados para definição do perfil animal (pré-experimental) e período de avaliação dos ajustes nutricionais (período experimental) (Tabela 4). Em condições de estresse térmico, os animais tendem a consumir menos (HUYNH et al., 2005). Essa redução no consumo de ração é um mecanismo eficiente para reduzir a produção de calor pelos suínos (QUINIOU et al., 2001) o que explica a variação na quantidade de ração ingerida pelo perfil animal utilizado nas simulações no InraPorc[®]. Além disso, o modelo InraPorc[®] utiliza uma abordagem determinista para a calibração do perfil animal. Essa abordagem caracteriza o suíno em uma condição onde este é capaz de expressar seu potencial de crescimento, ou seja, sem eventos prejudiciais como estresse térmico ou quaisquer fatores que influenciam seu consumo voluntário (VAN MILGEN et al., 2008).

Tabela 4 – Temperaturas mínimas, médias e máximas observadas nos períodos pré-experimental e experimental.

Período pré-experimental			Período experimental		
T min, °C	T med, °C	T max, °C	T min, °C	T med, °C	T max, °C
19,2±2,98	25,6±3,32	32,1±3,82	13,5±4,57	19,5±3,68	25,6±4,64

A eficiência de converter alimento em proteína no suíno é influenciada principalmente pela qualidade das dietas e pelo potencial de deposição de carne magra dos animais (BIKKER et al., 1996). Durante a fase de crescimento, a deposição proteica aumenta linearmente com o aumento da energia ingerida, a qual atinge um valor máximo e estabiliza de acordo com o aumento do peso vivo, sendo representada pela relação linear-platô, onde platô refere-se à deposição proteica máxima (DPmax) (WHITTEMORE & FAWCETT, 1976; DE LANGE et al., 2006). Contrapartida, a eficiência de deposição proteica diminui com o aumento do peso vivo e, em animais alimentados com dietas à vontade, a gordura corporal é aumentada à medida que a deposição proteica estabiliza, resultando em maior deposição lipídica no animal (QUINIOU et al., 1999). O modelo InraPorc[®] permite ao usuário avaliar as condições de alimentação e estabelecer um plano nutricional ajustado ao potencial de crescimento dos animais, de modo que este não limite a deposição proteica e reduza a deposição de gordura.

Outra aplicação do InraPorc[®] está relacionado com os aspectos econômicos de produção de suínos. Tradicionalmente, a eficiência de utilização do alimento fornecido aos suínos é medida por resultados biológicos, sem considerar de maneira muito relevante o resultado econômico, como o retorno de capital, que é um resultado decisivo para a competitividade da produção de suínos (NIEMI et al., 2010). A abordagem de nutrição de precisão considera que os aspectos econômicos da formulação de dietas são fatores relevantes na tomada de decisões para definição de estratégias nutricionais. No presente estudo, os ajustes nutricionais melhoraram a eficiência econômica na formulação das dietas, pois reduziram a inclusão de ingredientes mais onerosos como milho, farelo de soja, óleo vegetal e aminoácidos sintéticos, sem comprometer o desempenho dos suínos. Isso sinaliza um aspecto importante, uma vez que a alimentação é o componente de maior proporção nos custos de produção. Adicionalmente, a determinação precisa do

potencial nutricional dos alimentos e o contínuo monitoramento e ajustes nas formulações são elementos que devem ser considerados (HAUSCHILD et al., 2012; VAN MILGEN et al., 2012).

Os benefícios da utilização do InraPorc[®] contemplam questões relacionadas ao impacto ambiental. Isto foi demonstrado em nosso estudo através da redução da ingestão de nitrogênio e fósforo, devido às diferentes estratégias de formulação, sem prejuízos ao desempenho animal. Diferentemente da energia, o excesso de nitrogênio, representado pelos aminoácidos ingeridos, não apresentam rotas de deposição relevantes. De maneira geral, o excesso de aminoácidos não utilizados para síntese de proteína corporal é desaminado e a amônia resultante é convertida em uréia e excretada pelo animal (PHILIPPE et al., 2011). O excesso de N aumenta a produção e a emissão de amônia, que apresenta grande impacto negativo sobre o ambiente e a saúde humana (GALASSI et al., 2010).

Já em relação ao fósforo (P), sua excreção é influenciada pela ingestão, disponibilidade metabólica e o balanço entre a oferta e as exigências dos animais (JONGBLOED & LENIS, 1992). Em suínos nas fases de crescimento e terminação, alimentados com dietas à base de milho e soja, aproximadamente 45% do fósforo consumido é absorvido, no entanto, apenas 30% são retidos (POULSEN et al., 1999). Assim, 70% do fósforo consumido são excretados via fezes ou urina. A eliminação dos excedentes de P das dietas de suínos tem sido relacionada com problemas ambientais como eutroficação e contaminação da água doce (KNOWLTON et al., 2004). A fim de reduzir perdas de fósforo, o fornecimento deve ser ajustado às exigências dos animais, o que depende de um conhecimento preciso dessas exigências, da disponibilidade do nutriente e do estado fisiológico do animal (DOURMAD & JONDREVILLE, 2007).

A abordagem utilizada pelo InraPorc[®] pode contemplar os aspectos relacionados à ingestão e aproveitamento de nutrientes. Através do modelo InraPorc[®] é possível realizar um diagnóstico do cenário de produção, determinar excessos e/ou carências nutricionais (aminoácidos e fósforo, principalmente) e simular a resposta animal no decorrer do período de alimentação. Isso permite melhor ajuste no fornecimento dos nutrientes. Adicionalmente, a utilização do InraPorc[®] permite reduzir o impacto negativo da suinocultura sobre os recursos ambientais. Isso representa uma alternativa para a redução da excreção de nitrogênio e fósforo em regiões de produção intensiva como a Região Sul que, em

2005, o rebanho suíno excretou 77 mil t de N e 18 mil t de P, representando 52% e 53% da excreção de N e P de toda a suinocultura nacional, respectivamente (LOVATTO et al., 2005).

A utilização de sistemas de suporte nas decisões para a simulação de cenários na pecuária comercial ainda parece ser incipiente no Brasil. Embora um grande número de sistemas baseados em modelos matemáticos tenha sido proposto em publicações científicas, poucos deste têm sido disponibilizados para usuários finais (NRC, 1998; DOURMAD et al., 2008; VAN MILGEN et al., 2008), o que talvez seja uma justificativa para a pouca utilização. Outra característica que pode limitar a utilização dessas ferramentas se refere à capacidade de aplicação. Ferramentas baseadas em modelos complexos podem estimar com maior precisão as exigências e a resposta animal em condições de campo (LOVATTO et al., 2010). No entanto, quanto mais complexo for um modelo, um maior número de parâmetros é necessário para que a estimativa seja confiável, o que torna mais complicada sua utilização por usuários finais.

O InraPorc[®], assim como outras ferramentas de apoio a tomada de decisão, representa uma importante evolução dentro do cenário atual da produção animal. Existe um volume crescente de informações sendo geradas pelas unidades de produção e uma demanda por sistemas que permitam integrar e utilizar essas informações de forma a melhorar a capacidade de gerenciamento e reduzir os riscos nas tomadas de decisões (NEWMAN et al., 2000). Adicionalmente, a globalização de mercados vem reduzindo as margens de lucro na produção de suínos. Dessa forma, pequenas melhorias no desempenho animal e na capacidade de gestão proporcionadas por ferramentas de tomada de decisão podem representar significativos lucros (POMAR & POMAR, 2005). O InraPorc[®], como ferramenta de suporte a decisão, utiliza os conceitos clássicos da nutrição animal e informações do sistema de produção para avaliar a utilização de nutrientes pelos animais e testar diferentes estratégias nutricionais (VAN MILGEN et al., 2008). Ao avaliar um determinado cenário através do InraPorc[®] é possível determinar estratégias nutricionais mais adequadas aos propósitos de produção, o que seria uma tarefa muito complexa utilizando uma abordagem empírica. Isso permite ajustar fornecimento de nutrientes, melhorar a eficiência de utilização desses nutrientes pelos animais e reduzir perdas econômicas sem comprometer o desempenho dos animais.

A abordagem apresentada neste estudo sugere que os programas nutricionais ajustados para cada fase de desenvolvimento do animal através do InraPorc[®] podem melhorar a eficiência de utilização e reduzir os excessos de nutrientes, configurando uma condição mais sustentável para a produção de suínos. Esses ajustes seriam improváveis utilizando uma abordagem empírica, a qual foi aplicada na definição do programa nutricional comercial. Entretanto, a variabilidade das matérias-primas, a evolução das linhagens genéticas, a sazonalidade climática e origem do banco de dados para calibração do modelo InraPorc[®] são fatores influenciadores da predição do desempenho e dos ajustes nutricionais que devem ser considerados. Dessa forma, trabalhos futuros devem ser desenvolvidos para ampliar a capacidade de simulação, a quantificação e o impacto dos fatores mencionados acima sobre a calibração e sobre o desempenho dos modelos. Isso é importante para a precisão das estimativas de desempenho e confiabilidade dos ajustes nutricionais.

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Nas condições de produção comercial brasileiras do presente estudo, o modelo InraPorc[®] pode ser utilizado como ferramenta de nutrição de precisão para ajustes nutricionais para suínos em crescimento e terminação. O modelo InraPorc[®] propôs ajustes nutricionais em todas as fases alimentares estudadas. Esses ajustes não comprometeram o desempenho zootécnico dos animais, o que pode ser considerado um importante avanço na definição de estratégias nutricionais para suínos no Brasil

Os ajustes nutricionais realizados através do modelo InraPorc[®] permitem desempenhos semelhantes com menor consumo de energia metabolizável, lisina e fósforo. Esse aspecto qualifica o modelo como uma importante ferramenta para a redução de custos de produção do potencial poluente da atividade suinícola, sem comprometimento dos índices zootécnicos.

Os ajustes nutricionais reduziram a espessura de toucinho, sem comprometer outras características de carcaça avaliadas. Isso favorece a produção de carcaças mais magras, o que atende as exigências do mercado consumidor de carne suína.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA. **Estatísticas nacionais da suinocultura: abate de suínos no Brasil**. São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.abipecs.org.br/uploads/relatorios/mercado-interno/abate/abate_2006_2011.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2012.

ARC. **The nutrient requirements of pigs**. Wallingford: NED: Commonwealth Agricultural Bureau, 1981. 307 p.

BABINSZKY, L.; HALAS, V. Innovative swine nutrition: some present and potential applications of latest scientific findings for safe pork production. **Italian Journal Animal Science**, v. 8, n. 3, p. 7-20, 2009.

BASTIANELLI, D. et al. Mathematical modeling of digestion and nutrient absorption in pigs. **Journal of Animal Science**, v. 74, n. 8, p. 1873-1887, 1996.

BEDFORD, M. R. Exogenous enzymes in monogastric nutrition — their current value and future benefits. **Animal Feed Science and Technology**, v. 86, n. 1-2, p. 1-13, 2000.

BIKKER, P. et al. Performance and body composition of finishing gilts (45 to 85 kilograms) as affected by energy intake and nutrition in earlier life: I. Growth of the body and body components. **Journal of Animal Science**, v. 74, n. 4, p. 806-816, 1996.

BROSSARD, L. et al. Définir des stratégies alimentaires alliant performance économique et impact environnemental grâce à la modélisation du groupe de porcs en croissance. **Journées Recherche Porcine**, v. 42, n. 1, p. 131-132, 2010.

BROSSARD, L. et al. Analyse des relations entre croissance et ingestion à partir de cinétiques individuelles : implications dans la définition de profils animaux pour la modélisation. **Journées Recherche Porcine**, v. 38, n.1, p. 217-224, 2006.

CHEN, H. Y. et al. The effect of excess protein on growth performance and protein metabolism of finishing barrows and gilts. **Journal of Animal Science**, v. 77, n. 12, p. 3238-3247, 1999.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Séries históricas relativas às safras 1976/77 a 2010/2011 de área plantada, produtividade e produção: milho e soja**. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcmsconteudos=1#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 02 ago. 2012.

COX, S. Information technology: The global key to precision agriculture and sustainability. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 36, n. 2-3, p. 93-111, 2002.

DE LANGE, K. et al. Previous feeding level influences plateau heat production following a 24 h fast in growing pigs. **British Journal of Nutrition**, v. 95, n. 06, p. 1082-1087, 2006.

DOURMAD, J.-Y. et al. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of sows. **Animal Feed Science and Technology**, v. 143, n. 1-4, p. 372-386, 2008.

DOURMAD, J.-Y.; JONDREVILLE, C. Impact of nutrition on nitrogen, phosphorus, Cu and Zn in pig manure, and on emissions of ammonia and odours. **Livestock Science**, v. 112, n. 3, p. 192-198, 2007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **World Livestock Primary Production**. Rome, 2012. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/569/default.aspx#ancor>>. Acesso em: 19 mar. 2012.

FIGUEROA, J. L. et al. Nitrogen metabolism and growth performance of gilts fed standard corn-soybean meal diets or low-crude protein, amino acid-supplemented diets. **Journal of Animal Science**, v. 80, n. 11, p. 2911-2919, 2002.

FONTANELI, R. S. et al. Validação do Método da Reflectância no Infravermelho Proximal para Análise de Silagem de Milho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 2, p. 594-598, 2002.

FRANCE, J.; DIJKSTRA, J. Scientific process and mathematical modelling: different approaches to modelling animal systems. In: R. Gous, T. Morris and C. Fisher. **Mechanistic modelling in pig and poultry production**. Wallingford: CABI, 2006. 2, p. 6-21.

FULLER, M. F. **The encyclopedia of farm animal nutrition**. Wallingford: CABI Publications, 2004. 606 p.

GALASSI, G. et al. Effects of high fibre and low protein diets on performance, digestibility, nitrogen excretion and ammonia emission in the heavy pig. **Animal Feed Science and Technology**, v. 161, n. 3-4, p. 140-148, 2010.

GEBBERS, R.; ADAMCHUK, V. I. Precision Agriculture and Food Security. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 828-831, 2010.

HARLOW, H. B.; IVEY, F. J. Accuracy, Precision, and Commercial Benefits of Growth Modelling for Broilers. **Journal Applied Poultry Research**, v. 3, n. 4, p. 391-402, 1994.

HAUSCHILD, L. **Modelagem individual e em tempo real das exigências nutricionais de suínos em crescimento**. 2010. 142 f. Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

HAUSCHILD, L. et al. Development of sustainable precision farming systems for swine: Estimating real-time individual amino acid requirements in growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. 7, p. 2255-2263, 2012.

HUYNH, T. T. T. et al. Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities. **Journal of Animal Science**, v. 83, n. 4, p. 1385-1396, 2005.

JEAN DIT BAILLEUL, P. et al. Reducing nitrogen excretion in pigs by modifying the traditional least-cost formulation algorithm. **Livestock Production Science**, v. 72, n. 3, p. 199-211, 2001.

JONDREVILLE, C.; DOORMAD, J.-Y. Le phosphore dans la nutrition des porcs. **INRA Production Animal**, v. 18, n. 3, p. 183-192, 2005.

JONDREVILLE, C. et al. Dietary means to better control the environmental impact of copper and zinc by pigs from weaning to slaughter. **Livestock Production Science**, v. 84, n. 2, p. 147-156, 2003.

JONGBLOED, A. W.; LENIS, N. P. Alteration of nutrition as a means to reduce environmental pollution by pigs. **Livestock Production Science**, v. 31, n. 1-2, p. 75-94, 1992.

KNOWLTON, K. F. et al. Animal management to reduce phosphorus losses to the environment. **Journal of Animal Science**, v. 82, Suppl, p. E173-195, 2004.

LACA, E. A. Precision livestock production: tools and concepts. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, supl. esp. p. 123-132, 2009.

LEHNEN, C. R. **Programas alimentares de porcas gestantes e lactantes utilizando o modelo InraPorc[®]**. 2012. 98 f. Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

LÉTOURNEAU-MONTMINY, M. P. et al. Modeling the fate of dietary phosphorus in the digestive tract of growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 89, n. 11, p. 3596-3611, 2011.

LOVATTO, P. A. et al. Modelagem da ingestão, retenção e excreção de nitrogênio e fósforo pela suinocultura brasileira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 6, p. 2348-2354, 2005.

- LOVATTO, P. A. et al. Uso da modelagem para a recionalização do manejo nutricional de fêmeas suínas gestantes e lactantes. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 38, n. 1, p. s211-s220, 2010.
- LOVATTO, P. A.; SAUVANT, D. Modelagem aplicada aos processos digestivos e metabólicos do suíno. **Ciência Rural**, v. 31, n. 4, p. 663-670, 2001.
- MONICO, J. F. G. et al. Acurácia e precisão: revendo conceitos de forma acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 15, n. 3, p. 469-483, 2009.
- MOREIRA, I. et al. Exigências de lisina para suínos em crescimento e terminação, alimentados com rações de baixo teor de proteína, formuladas de acordo com o conceito de proteína ideal. **Acta Scientiarum - Animal Science**, v. 26, n. 4, p. 537-542, 2004.
- MOUGHAN, P. J. Amino acid availability: aspects of chemical analysis and bioassay methodology. **Nutrition Research Reviews**, v. 16, n. 02, p. 127-141, 2003.
- MOUGHAN, P. J. Sensitivity analysis on a model simulating the digestion and metabolism of nitrogen in the growing pig. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 28, n. 4, p. 463-468, 1985.
- NEWMAN, S. et al. Success and failure of decision support systems: Learning as we go. **Journal of Animal Science**, v. 77, Suppl, p. 1-12, 2000.
- NIEMI, J. K. et al. The value of precision feeding technologies for grow–finish swine. **Livestock Science**, v. 129, n. 1–3, p. 13-23, 2010.
- NOBLET, J. et al. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 72, n. 2, p. 344-54, 1994.
- NOBLET, J.; QUINIOU, N. Principaux facteurs de variation du besoin en acides aminés du porc en croissance. **Techni-Porc**, v. 22, n. 4, p. 9-16, 1999.
- NOBLET, J.; VAN MILGEN, J. Energy value of pig feeds: Effect of pig body weight and energy evaluation system. **Journal of Animal Science**, v. 82, n. 13, p. 229-238, 2004.
- NRC. **Nutrient requirements of swine**. Washington: National Academy of Science, 2012. 400 p.
- NRC. **Nutrient requirements of swine**. Washington: National Academy of Science, 1998. 189 p.
- NRC. **Nutrient requirements of swine**. Washington: National Academy of Science, 1988. 93 p.

OSBORNE, B. G. Near-Infrared Spectroscopy in Food Analysis. In: **Encyclopedia of Analytical Chemistry**. John Wiley & Sons Ltd, 2006. p. 1-14.

PATIENCE, J. F. Precision in swine feeding programs: An integrated approach. **Animal Feed Science and Technology**, v. 59, n. 1–3, p. 137-145, 1996.

PATIENCE, J. F. et al. **Swine nutrition guide**. Saskatoon: University of Saskatchewan, 1995. 274 p.

PESTI, G. M.; MILLER, B. R. Modelling for precision nutrition. **Journal Applied Poultry Research**, v. 6, n. 4, p. 483-494, 1997.

PHILIPPE, F.-X. et al. Ammonia emissions from pig houses: Influencing factors and mitigation techniques. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 141, n. 3–4, p. 245-260, 2011.

POMAR, C. et al. Applying precision feeding techniques in growing-finishing pig operations. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, supl. esp. p. 226-237, 2009.

POMAR, J.; POMAR, C. A knowledge-based decision support system to improve sow farm productivity. **Expert Systems with Applications**, v. 29, n. 1, p. 33-40, 2005.

POULSEN, H. D. et al. Phosphorus consumption, utilisation and losses in pig production in France, The Netherlands and Denmark. **Livestock Production Science**, v. 58, n. 3, p. 251-259, 1999.

QUINIOU, N. et al. Evaluation zootechnique d'une stratégie alimentaire biphasé établie via le logiciel InraPorc® et appliquée sur des porcs issus de verrats Pietrain ou Large White × Piétrain. **Journées Recherche Porcine**, v. 41, n. 1, p. 101-108, 2009.

QUINIOU, N. et al. Modelling heat production and energy balance in group-housed growing pigs exposed to low or high ambient temperatures. **British Journal of Nutrition**, v. 85, n. 1, p. 97-106, 2001.

QUINIOU, N. et al. Effect of growth potential (body weight and breed/castration combination) on the feeding behaviour of individually kept growing pigs. **Livestock Production Science**, v. 61, n. 1, p. 13-22, 1999.

REDDY, D. V.; KRISHNA, N. Precision animal nutrition: A tool for economic and eco-friendly animal production in ruminants. **Livestock Research for Rural Development**, Cidade, v. 21, n. 3, p. 2009. Disponível em: <<http://www.lrrd.org/lrrd21/3/redd21036.htm>>. Acesso em: 26 ago. 2011.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa: UFV, Departamento de Zootecnia, 2011. 252 p.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos; composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa, MG: UFV, Departamento de Zootecnia, 2005. 186p.

SAUVANT, D. La modélisation systémique en nutrition. **Reproduction Nutritional Development**, v. 32, n. 3, p. 217-230, 1992.

SCHELLBERG, J. et al. Precision agriculture on grassland: Applications, perspectives and constraints. **European Journal of Agronomy**, v. 29, n. 2-3, p. 59-71, 2008.

SEVEGNANI, K. B. et al. Zootecnia de precisão: análise de imagens no estudo do comportamento de frangos de corte em estresse térmico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 115-119, 2005.

SILVA, I. J. O. D. et al. Uso da zootecnia de precisão na avaliação do comportamento de leitões lactentes submetidos a diferentes sistemas de aquecimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 1, p. 220-229, 2005.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL. **Indústria de alimentação animal: boletim do setor de alimentação animal - dezembro 2011**. São Paulo, 2011. Disponível em: <http://sindiracoes.org.br/wp-content/uploads/2011/12/boletim_sindiracoes_DEZ2011.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2012.

SIQUEIRA, J. C. de. **Estimativas das exigências de lisina de frangos de corte pelos métodos dose resposta e fatorial**. 2009. 154 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2009

SPEEDING, C. R. W. General aspects of modelling and its application in livestock production. In: KORVER, S., VAN ARENDOK, J.A.M. **Modelling of livestock production systems**. London: Kluwer Academic, 1988. p.3-13.

THORNLEY, J. H. M.; FRANCE, J. **Mathematical models in agriculture: quantitative methods for the plant, animal and ecological sciences**. Wallingford: CABI Publishing, 2006. 906 p.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, v. 32, n. 1, p. 159-163, 2002.

- VALE, M. et al. Characterization of heat waves affecting mortality rates of broilers between 29 days and market age. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 12, n. 4, p. 279-285, 2010.
- VAN MILGEN, J. et al. Using InraPorc to reduce nitrogen and phosphorus excretion. **Recent Advances in Animal Nutrition**, v. 2008, n. 1, p. 179-194, 2009.
- VAN MILGEN, J.; NOBLET, J. Partitioning of energy intake to heat, protein, and fat in growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 81, Suppl, p. E86-E93, 2003.
- VAN MILGEN, J. et al. Precision pork production: Predicting the impact of nutritional strategies on carcass quality. **Meat Science**, v. 92, n. 3, p. 182-187, 2012.
- VAN MILGEN, J. et al. InraPorc: un modèle pour analyser les performances et évaluer les stratégies alimentaires chez le porc en croissance. **Journées Recherche Porcine**, v. 37, n. 1, p. 291-298, 2005.
- VAN MILGEN, J. et al. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 143, n. 1-4, p. 387-405, 2008.
- WATHES, C. M. et al. Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall? **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 64, n. 1, p. 2-10, 2008.
- WELLOCK, I. J. et al. Modeling the effects of stressors on the performance of populations of pigs. **Journal of Animal Science**, v. 82, n. 8, p. 2442-2450, 2004.
- WHITTEMORE, C. T.; FAWCETT, R. H. Model responses of the growing pig to the dietary intake of energy and protein. **Animal Production**, v. 19, n. 2, p. 221-231, 1974.
- WHITTEMORE, C. T.; FAWCETT, R. H. Theoretical aspects of a flexible model to simulate protein and lipid growth in pigs. **Animal Production**, v. 22, n. 1, p. 87-96, 1976.
- WHITTEMORE, C. T. et al. Technical review of the energy and protein requirements of growing pigs: protein. **Animal Science**, v. 73, n. 3, p. 363-373, 2001.

APÊNDICES

Apêndice A – Programa de dietas e programa alimentar utilizados pela empresa

Programa de dietas suínos crescimento

Programa de dietas: PN_LAN

Procedimentos

#	Condição	Dieta(s) usada
1	Uso total de alimento = 15	INICIAL 2 LAN
2	Uso total de alimento = 36	CRESCIMENTO 1 LAN
3	Uso total de alimento = 47	CRESCIMENTO 2 LAN
4	Uso total de alimento = 40	TERMINAÇÃO 1 LAN
5	Uso total de alimento = 62	TERMINAÇÃO 2 LAN
6	Fim da simulação	TERMINAÇÃO 2 LAN

Parâmetros da operação selecionada

Condição: Uso total de alimento: 15 kg

Dieta(s) usada: 2 dietas

Dieta 1: INICIAL 2 LAN

Dieta 2:

Programa alimentar suínos crescimento

Programa alimentar: MA_LAN

Procedimentos

#	Condição	Alimento ofertado	Índice de alimento
1	Fim da simulação	100% à vontade	2%

Simulação de referência: SIM_LANGUIRU

Perfil animal "PAN1_SHAFFER"
Programa de dietas "PN_LAN"

Resultados de simulação

Eixo-X: Idade (d) | Eixo-Y: Alimento ofertado (kg/d)

Alimento ofertado (kg/d)

Idade (d)

Parâmetros da operação selecionada

Alimento ofertado

Desperdício de alimento: 2

Tipo: % À vontade

100 %

Apêndice B – Perfil animal utilizado na granja comercial

Perfil suíno crescimento

Perfil animal
PAN1_SHAFFER

Condições da granja: Consumo à vontade e desempenho

Gênero: Mixto

Estado inicial

Idade (d): 63

Peso vivo (kg): 22,6

Proteínas (kg): 3,37

Lipídios (kg): 2,82

Estado final

Período (d): 92

Peso vivo (kg): 113,2

Rendimento -%: 79,0

Perfil suíno crescimento

Perfil animal
PAN1_SHAFFER

Condições da granja: Consumo à vontade e desempenho

Parâmetros do modelo

Consumo à vontade

Unidade: Quantidade (kg/d)

Equação: $a \cdot PV^b$

Parâmetros

a: 0,5785 (50 kg) 2,056

b: 0,3242 (100 kg) 2,574

Potencial de crescimento

DP média (g/d): 159,35

Precocidade (/d): 0,01630

Mantença: 1,000

PV DPmax (kg): 70

Simulação de referência

Programa de dietas: D3

Programa alimentar: MA_AL

Calibração

Resultados de simulação

Tipo de gráfico: Mostrar dinâmico

Eixo - Y: Ganho peso (g/d)

Eixo - X: Idade (d)

Curva resposta

Ganho	imento ofertado (desperdiço)	A:G	DP	DL	ssura de tou	Carne magra
995	2220 (0%)	2,23	159	231	16,0	59,4
995	2265 (2%)	2,28	159	231	16,0	59,4

Apêndice C – Parâmetros utilizados no modelo para calibração do perfil animal

Dados observados

Linha	Idade (d)	Uso acumulado de alimento (kg)	Peso vivo (kg)	Espessura de toucinho (mm)	Carne magra (%)
1	63	0,0	22,4		
2	76	15,8	34,6		
3	93	51,5	51,2		
4	111	99,3	69,6		
5	127	140,2	86,3		
6	154	202,7	113,7		

Calibração

Resultados de simulação

Parâmetros do modelo

Peso vivo inicial (kg)

IA50

IA100

DP média (g/d)

Precocidade (/d)

Mantença

Modo padrão
 Modo "expert"

Método

Limiting amino acids

Eixo esquerda:

Eixo direita:

Variáveis dependentes

	Peso Estat.	DPR	R ²	wRSS
Uso acumulado de alimento	0,31405	6,7 kg	99,47 %	97,82 %
Peso vivo	0,68595	0,6 kg	99,98 %	2,18 %
Espessura de toucinho				
Carne magra				

CPU tempo (segundos)

Parâmetros estimados

	Valor inicial	Valor final	Desvio Padrão
Initial BW	22,4	22,6	1,6
IA50	2,056	2,056	0,032
IA100	2,574	2,574	0,095
DP média	159,35	159,35	5,85
Precocidade	0,01630	0,01630	0,00291
Mantença	1,000	1,000	

Apêndice D – Programa de dietas e programa alimentar ajustados ao perfil animal da granja

Programa de dietas suínos crescimento

Programa de dietas
PN_NP

Procedimentos

#	Condição	Dieta(s) usada
1	Uso total de alimento = 15	INICIAL 2 NP
2	Uso total de alimento = 35	CRESCIMENTO 1 NP
3	Uso total de alimento = 47	CRESCIMENTO 2 NP
4	Uso total de alimento = 40	TERMINAÇÃO 1 NP
5	Uso total de alimento = 62	TERMINAÇÃO 2 NP
6	Fim da simulação	TERMINAÇÃO 2 NP

Inserir Excluir

Parâmetros da operação selecionada

Condição
Uso total de alimento 15 kg

Dieta(s) usada
 2 dietas

Dieta 1 INICIAL 2 NP

Dieta 2

Programa alimentar suínos crescimento

Programa alimentar
MA_NP

Procedimentos

#	Condição	Alimento ofertado	Índice de alimento
1	Fim da simulação	100% à vontade	2%

Inserir Excluir

Parâmetros da operação selecionada

Alimento ofertado
Desperdício de alimento 2
Tipo % À vontade 100 %

Simulação de referência
SIM_NUTRIÇÃO DE PRECISÃO

Perfil animal "PAN1_SHAFFER"
Programa de dietas "PN_NP"

Resultados de simulação

Eixo-X Idade (d) Eixo-Y Alimento ofertado (kg/d)

Idade (d)	Alimento ofertado (kg/d)
80	1,60
100	2,10
120	2,40
140	2,75

Apêndice E – Desempenho global comparativo entre programa nutricional comercial (CNP) e o programa nutricional ajustado ao perfil animal (ANP)



InraPorc®

Comparação de simulações suínos crescimento

Desempenho global

Simulação	1	2	3	4	5
Idade inicial (d)	63	63	0	0	0
Idade final (d)	155	155	0	0	0
Período (d)	92	92	0	0	0
Peso vivo inicial (kg)	22,6	22,6	0,0	0,0	0,0
Peso vivo final (kg)	115,8	114,4	0,0	0,0	0,0
Ganho diário médio (g/d)	1012	997	0	0	0
Deposição média de proteína (g/d)	159	159	0	0	0
Média de deposição lipídica (g/d)	256	235	0	0	0
Uso total de alimento (kg)	209	209	0	0	0
Média diária de utilização de alimento (g/d)	2274	2267	0	0	0
Desperdício de alimento (%)	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00
Média relação alimento:ganho (kg dieta/Ganho kg)	2,25	2,27	0,00	0,00	0,00
Espessura de tocinho ao abate (mm)	16,9	16,1	0,0	0,0	0,0
Carne ao abate (%)	58,1	59,2	0,0	0,0	0,0
Rendimento (%)	79,0	79,0	0,0	0,0	0,0

Características

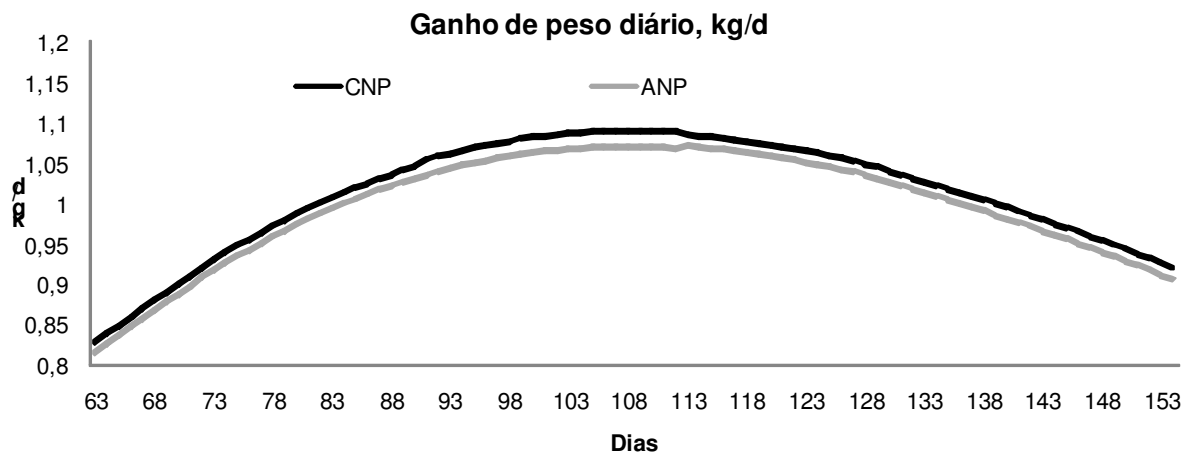
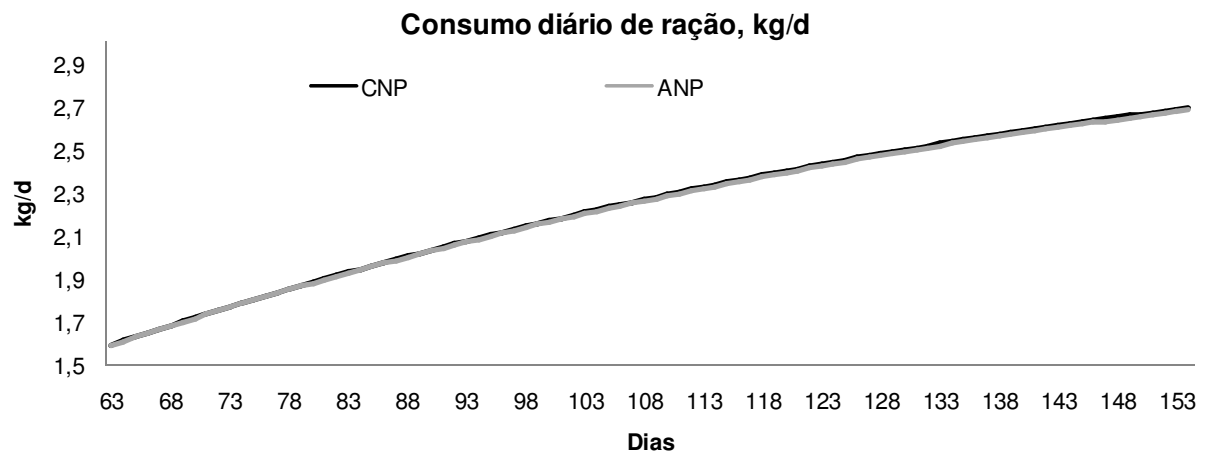
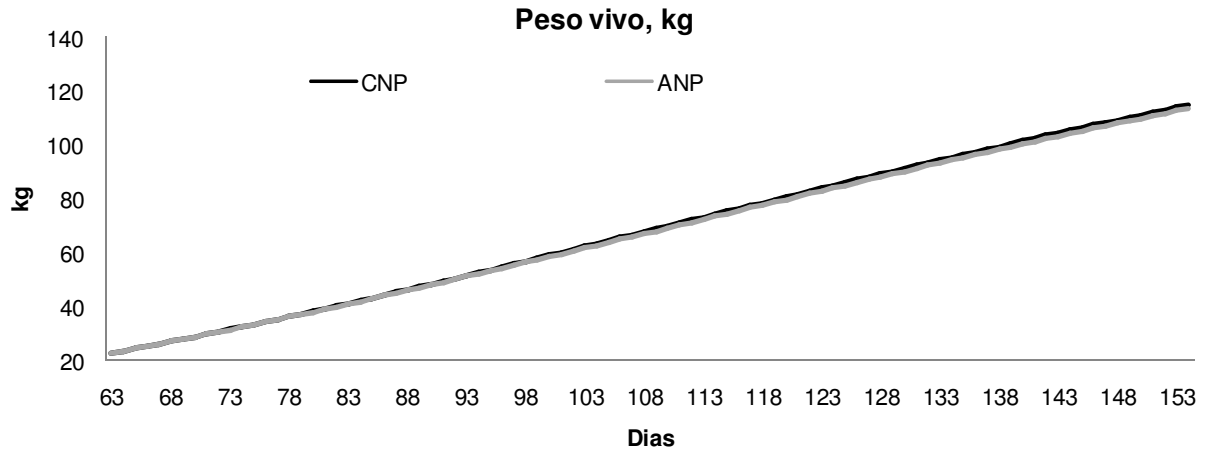
Simulação 1

Perfil animal	PAN1_SHAFFER
Programa de dietas	PN_LAN
Programa alimentar	MA_LAN

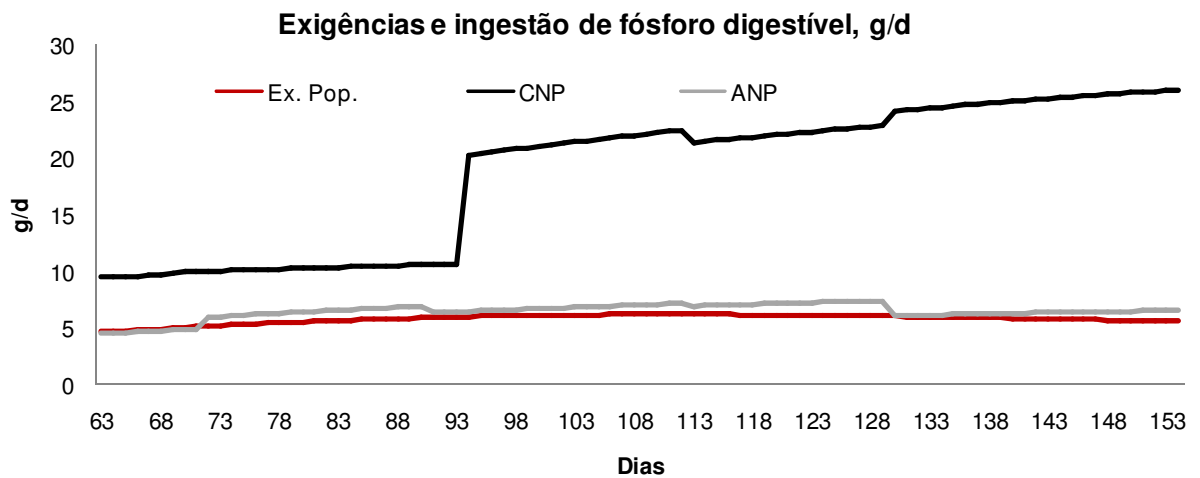
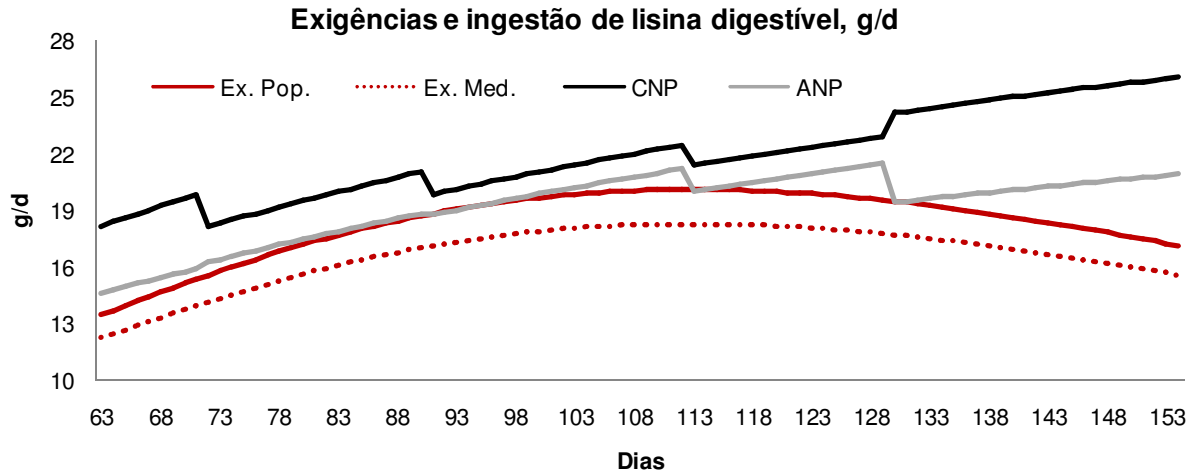
Simulação 2

Perfil animal	PAN1_SHAFFER
Programa de dietas	PN_NP
Programa alimentar	MA_LAN

Apêndice F – Comparativo de desempenho (peso vivo, consumo diário de ração e ganho de peso diário) entre os programas nutricionais avaliados, nas simulações do InraPorc®.



Apêndice G – Comparativo de consumo de lisina digestível e fósforo digestível entre os programas nutricionais avaliados, nas simulações do InraPorc[®].



Apêndice H – Produção científica durante o curso de mestrado

Artigos completos aceitos para publicação em periódicos

ROSSI, C. A. R.; LOVATTO, P. A.; LEHNEN, C. R.; FRAGA, B. N.; LOVATO, G. D.; CERON, M. S. Dietas ajustadas para suínos através do modelo InraPorc[®]: desempenho, características de carcaça e impacto econômico. **Ciência Rural**, Santa Maria, 2012.

Artigos completos tramitando

LOVATO, G. D.; VALE, M. M.; ROSSI, C. A. R.; FRAGA, B. N.; QUADROS, A. R. B. de; CERON, M. S. Nutritional adjustments for growing and finishing pigs through a precision nutrition tool: performance, nutrient intake and carcass characteristics. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras.

Resumos expandidos publicados em anais de eventos

GIANLUPPI, R. D.; VALE, M. M.; ROSSI, C. A. R.; LOVATO, G. D.; FRAGA, B. N.; CERON, M. S. Nutrição de precisão no ajuste dos níveis nutricionais e da restrição alimentar para suínos em crescimento e terminação: resposta ao consumo de nutrientes, deposição proteica e lipídica. In: 49^a REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 2012, Brasília. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira De Zootecnia, 2012.

GIANLUPPI, R. D.; VALE, M. M.; ROSSI, C. A. R.; LOVATO, G. D.; FRAGA, B. N.; CERON, M. S. Nutrição de precisão no ajuste dos níveis nutricionais e da restrição alimentar para suínos em crescimento e terminação: desempenho e características de carcaça. In: 49^a REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 2012, Brasília. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira De Zootecnia, 2012.

BROMBILLA, T.; SOARES, M.; ROSSI, C. A. R.; CERON, M. S.; LOVATO, G. D.; BURIN, A. P. Controle dos sinais clínicos da diarreia neonatal em leitões com o uso de óleos essenciais. In: 27º SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2012, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Jornada Acadêmica Integrada, 2012.

FRAGA, B. N.; QUADROS, A. R. B. de; ROSSI, C. A. R.; GARCIA, G. G.; CERON, M. S.; LOVATO, G. D. Estudo econômico da implantação do *Intelligent Precision Feeder* pela indústria de rações. In: 3º SALÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 2012, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Jornada Acadêmica Integrada, 2012.

CERON, M. S.; ROSSI, C. A. R.; SOARES, M.; LOVATO, G. D.; FRAGA, B. N.; MACIEL, R. M. Alimentação de suínos com dietas contendo extratos vegetais na fase de crescimento/terminação: perfil eletroforético das proteínas séricas. In: 3º SALÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 2012, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Jornada Acadêmica Integrada, 2012.

LOVATO, G. D.; VALE, M. M.; QUADROS, A. R. B. de; ROSSI, C. A. R.; FRAGA, B. N.; CERON, M. S. Avaliação da intensidade e do tempo de restrição alimentar sobre o desempenho e deposição tecidual em suínos na fase de crescimento e terminação: meta-análise. In: 3º SALÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 2012, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Jornada Acadêmica Integrada, 2012.

RIBEIRO, S.; QUADROS, A. R. B. de; ROSSI, C. A. R.; FRAGA, B. N.; CERON, M. S.; LOVATO, G. D. Estudo econômico da implantação do *Intelligent Precision Feeder* no transporte de rações. In: 27º SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2012, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Jornada Acadêmica Integrada, 2012.

SALLES, A. P. Q.; VALE, M. M.; LOVATO, G. D.; ROSSI, C. A. R.; FRAGA, B. N.; CERON, M. S. Desempenho de suínos em crescimento e terminação alimentados em diferentes tipos de comedouros. In: 27º SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2012, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Jornada Acadêmica Integrada, 2012.

PEREIRA, J. L.; ROSSI, C. A. R.; FRAGA, B. N.; CERON, M. S.; LOVATO, G.D.; QUADROS, A. R. B. de. Características de carcaça de suínos alimentados no crescimento/terminação com dietas ajustadas através do modelo InraPorc[®]. In: 27^º SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2012, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Jornada Acadêmica Integrada, 2012.

GIANLUPPI, R. D.; ROSSI, C. A. R.; LOVATO, G. D.; FRAGA, B. N.; CERON, M. S.; QUADROS, A. R. B. de. Uso de dietas ajustadas para suínos através do modelo InraPorc[®]: avaliação de desempenho. In: 27^º SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2012, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Jornada Acadêmica Integrada, 2012.

VALE, M. M.; LOVATO, G. D.; CERON, M. S.; GARCIA, G. G. Estimativas da excreção ambiental de nitrogênio em suínos devido a estratégias nutricionais utilizando o modelo InraPorc[®]. In: I WORKSHOP INTERNACIONAL DE EMISSÕES DE GASES, VENTILAÇÃO E BEM-ESTAR NA PRODUÇÃO ANIMAL, 2012, Campinas. **Anais...** Campinas: Unicamp, 2012.

LOVATO, G. D.; VALE, M. M.; ROSSI, C. A. R.; GARCIA, G. G.; CERON, M. S.; FRAGA, B. N. Avaliação de estratégias nutricionais para otimização do retorno financeiro em sistemas de crescimento e terminação de suínos através do modelo InraPorc[®]. In: III CONGRESSO SUL BRASILEIRO DE AVICULTURA, SUINOCULTURA E LATICÍNIOS, 2012, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: AVISULAT, 2012.

LOVATO, G. D.; VALE, VALE, M. M.; ROSSI, C. A. R.; CERON, M. S.; FRAGA, B. N.; SOARES, M. Tempo de alojamento e características de carcaça de suínos em terminação submetidos a diferentes estratégias nutricionais definidas através do modelo InraPorc[®]. In: III CONGRESSO SUL BRASILEIRO DE AVICULTURA, SUINOCULTURA E LATICÍNIOS, 2012, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: AVISULAT, 2012.

LOVATO, G. D.; ROSSI, C. A. R.; SOARES, M.; FRAGA, B. N.; CERON, M. S. Avaliação econômica de dietas ajustadas para suínos em crescimento e

terminação através do modelo InraPorc[®]. In: III CONGRESSO SUL BRASILEIRO DE AVICULTURA, SUINOCULTURA E LATICÍNIOS, 2012, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: AVISULAT, 2012.

LOVATO, G. D.; SOARES, M.; ROSSI, C. A. R.; CERON, M. S.; BROMBILLA, T.; BURIN, A. P.; MARTINS, V. L. F.; LUCCA, M. S. Administração de óleos essenciais em leitões do primeiro ao oitavo dia de vida: controle dos sinais clínicos de diarreia. In: III CONGRESSO SUL BRASILEIRO DE AVICULTURA, SUINOCULTURA E LATICÍNIOS, 2012, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: AVISULAT, 2012.

CERON, M. S.; VALE, M. M.; ROSSI, C. A. R.; SOARES, M.; FRAGA, B. N.; LOVATO, G. D. Avaliação da ingestão e excreção de nitrogênio pela suinocultura brasileira através de modelos de nutrição de precisão. In: III CONGRESSO SUL BRASILEIRO DE AVICULTURA, SUINOCULTURA E LATICÍNIOS, 2012, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: AVISULAT, 2012.

CERON, M. S.; VALE, M. M.; ROSSI, C. A. R.; SOARES, M.; FRAGA, B. N.; LOVATO, G. D. Avaliação da ingestão e excreção de fósforo pela suinocultura brasileira através de modelos de nutrição de precisão. In: III CONGRESSO SUL BRASILEIRO DE AVICULTURA, SUINOCULTURA E LATICÍNIOS, 2012, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: AVISULAT, 2012.

CERON, M. S.; SOARES, M.; ROSSI, C. A. R.; LOVATO, G. D.; BROMBILLA, T.; BURIN, A. P.; MARTINS, V. L. F.; LUCCA, M. S. Avaliação da ingestão e excreção de fósforo pela suinocultura brasileira através de modelos de nutrição de precisão. In: III CONGRESSO SUL BRASILEIRO DE AVICULTURA, SUINOCULTURA E LATICÍNIOS, 2012, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: AVISULAT, 2012.

CHEMERIS, Y. O.; LOVATTO, P. A.; LOVATO, G. D.; GARCIA, G. G.; GIANLUPPI, R. D.; FELIN, F. P. Restrição alimentar em suínos: meta-análise dos componentes nutricionais e de desempenho. In: 26^º SALÃO DE INICIAÇÃO

CIENTÍFICA, 2011, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria, Jornada Acadêmica Integrada, 2011.

ROSSI, C. A. R.; LOVATTO, P. A.; GARCIA, G. G.; LOVATO, G. D.; KOSZTRZEPA, I.; REMUS, A. Uso da modelagem no ajuste de dietas convencionais para suínos machos castrados em crescimento e terminação: impacto no custo de alimentação. In: 2º SALÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 2011, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria, Jornada Acadêmica Integrada, 2011.

FRAGA, B. N.; LOVATTO, P. A.; GARCIA, G. G.; LOVATO, G. D.; KOSZTRZEPA, I.; REMUS, A. Fornecimento de Fósforo em diferentes sistemas de nutrição para suínos em crescimento e terminação. In: 2º SALÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 2011, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria, Jornada Acadêmica Integrada, 2011.

LOVATO, G. D.; LOVATTO, P. A.; GARCIA, G. G.; CERON, M. S.; SALLES, A. P. Q.; MADRUGA, L. F. Restrição alimentar em suínos: meta-análise das características de carcaça. In: 2º SALÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 2011, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria, Jornada Acadêmica Integrada, 2011.

ANEXOS

Anexo A – Análise bromatológica via NIRS (NearInfra-Red System) do milho utilizado no experimento.



Controle: 12018406
 Cliente: LAMIC – LABORATÓRIO DE ANÁLISES MICOTOXICOLÓGICAS
 Origem: Santa Maria/RS
 Chegada: 17 de Agosto de 2012 - 09:46
 Saída: 17 de Agosto de 2012 - 09:52

Aminoácidos Totais e Digestíveis (AATD), em aves, in vivo, via nirs

O GH indica a similaridade da calibração com relação à amostra. Geralmente, se GH>3, as previsões não são precisas. Os resultados são válidos EXCLUSIVAMENTE para a(s) amostra(s) ou espectro(s) recebido(s) pelo laboratório. Composição: (g/100g), base úmida.

Arquivo de espectros		1508ss.nir													
Amostra	Número da Amostra	GH	Proteína	Aminoácidos	Lys	Met	Cys	Thr	Trp	Val	Ile	Leu	Phe	His	Arg
MILHO	Milho SS	1.53	7.80	total	0.24	0.15	0.17	0.26	0.06	0.36	0.23	0.93	0.35	0.22	0.37
				digestível	0.20	0.14	0.14	0.22	0.05	0.31	0.21	0.86	0.32	0.19	0.34
				digestibilidade (%)	84	94	82	82	86	85	91	93	92	87	91

Aminoácidos Totais e Digestíveis (AATDS) em suínos, base-AmiPig, via nirs

Composição: (g/100g), base úmida.

Arquivo de espectros		1508ss.nir													
Amostra	Número da Amostra	GH	Proteína	Aminoácidos	Lys	Met	Cys	Thr	Trp	Val	Ile	Leu	Phe	His	Arg
MILHO	Milho SS	1.53	7.80	total	0.24	0.15	0.17	0.26	0.06	0.36	0.23	0.93	0.35	0.22	0.37
				digestível	0.20	0.14	0.15	0.22	0.05	0.31	0.20	0.86	0.32	0.19	0.34
				digestibilidade (%)	80	91	88	83	80	87	88	93	91	89	91

Energia Metabolizável Aparente para aves (AME) e corrigida para balanço zero de nitrogênio (AMEn), via nirs

Composição: (Kcal/Kg), base úmida

Arquivo de espectros		1508ss.nir							
Amostra	Número da Amostra	GH	AME	Diferença da referência interna (Kcal/Kg)	Diferença da referência interna (%)	AMEn	Diferença da referência interna (Kcal/Kg)	Diferença da referência interna (%)	
MILHO	Milho SS	2.65	3634	+117	+3.33	3511	+113	+3.33	

"Referência interna" representa o valor médio da base de dados "in vivo" da Adisseo

Amilose (Amil), vianirs

Composição: (g/100g), base úmida.

Arquivo de espectros		1508ss.nir	
Amostra	Número da Amostra	GH	Amil
MILHO	Milho SS	2.09	25.97

Extrato Etéreo (EE), vianirs

Composição: (g/100g), base úmida.

Arquivo de espectros		1508ss.nir	
Amostra	Número da Amostra	GH	EE
MILHO	Milho SS	3.60	3.87

Fibra Bruta (FB), vianirs

Composição: (g/100g), base úmida.

Arquivo de espectros		1508ss.nir	
Amostra	Número da Amostra	GH	FB
MILHO	Milho SS	3.60	2.13

Umidade (UMI), vianirs

Composição: (g/100g), base úmida.

Arquivo de espectros		1508ss.nir	
Amostra	Número da Amostra	GH	UMI
MILHO	Milho SS	3.60	12.29

Amido (AMD), vianirs

Composição: (g/100g), base úmida.

Arquivo de espectros		1508ss.nir	
Amostra	Número da Amostra	GH	AMD
MILHO	Milho SS	3.60	65.29

Atividade de Água (ATA), vianirs

Composição: (g/100g), base úmida.

Arquivo de espectros		1508ss.nir	
Amostra	Número da Amostra	GH	ATA
MILHO	Milho SS	3.60	0.53

Anexo B – Análise bromatológica via NIRS (NearInfra-Red System) do farelo de soja utilizado no experimento.



Controle: 12018406
 Cliente: LAMIC – LABORATÓRIO DE ANÁLISES MICOTOXICOLÓGICAS
 Origem: Santa Maria/RS
 Chegada: 17 de Agosto de 2012 - 09:46
 Saída: 17 de Agosto de 2012 - 09:52

Aminoácidos Totais e Digestíveis (AATD), em aves, in vivo, via nirs

O GH indica a similaridade da calibração com relação à amostra. Geralmente, se GH>3, as previsões não são precisas.
 Os resultados são válidos EXCLUSIVAMENTE para a(s) amostra(s) ou espectro(s) recebido(s) pelo laboratório.
 Composição: (g/100g), base úmida.

Arquivo de espectros		1508ss.nir													
Amostra	Número da Amostra	GH	Proteína	Aminoácidos	Lys	Met	Cys	Thr	Trp	Val	Ile	Leu	Phe	His	Arg
F. SOJA	F. sojaSS	0.84	44.53	total	2.77	0.59	0.68	1.77	0.66	2.23	2.15	3.47	2.25	1.11	3.26
				digestível	2.51	0.54	0.54	1.52	0.60	1.92	1.95	3.09	2.03	1.00	3.04
				digestibilidade (%)	91	92	79	86	91	86	90	89	90	89	93

Aminoácidos Totais e Digestíveis (AATDS) em suínos, base-AmiPig, via nirs

Composição: (g/100g), base úmida.

Arquivo de espectros		1508ss.nir													
Amostra	Número da Amostra	GH	Proteína	Aminoácidos	Lys	Met	Cys	Thr	Trp	Val	Ile	Leu	Phe	His	Arg
F. SOJA	F. sojaSS	0.84	44.53	total	2.77	0.59	0.68	1.77	0.66	2.23	2.15	3.47	2.25	1.11	3.26
				digestível	2.46	0.53	0.57	1.51	0.58	1.94	1.90	3.06	2.01	1.00	3.04
				digestibilidade (%)	89	91	84	86	88	87	88	88	89	90	93

Energia Metabolizável Aparente para aves (AME) e corrigida para balanço zero de nitrogênio (AMEn), via nirs

Composição: (Kcal/Kg), base úmida

Arquivo de espectros		1508ss.nir						
Amostra	Número da Amostra	GH	AME	Diferença da referência interna (Kcal/Kg)	Diferença da referência interna (%)	AMEn	Diferença da referência interna (Kcal/Kg)	Diferença da referência interna (%)
F. SOJA	F. sojaSS	1.97	2451	+200	+8.88	2218	+134	+6.43

Referência interna representa o valor médio da base de dados "in vivo" da Adisseo

Extrato Etéreo (EE), vianirs

Composição: (g/100g), base úmida.

Arquivo de espectros		1508ss.nir	
Amostra	Número da Amostra	GH	EE
F. SOJA	F. sojaSS	3.89	1.05

Fibra Bruta (FB), vianirs

Composição: (g/100g), base úmida.

Arquivo de espectros		1508ss.nir	
Amostra	Número da Amostra	GH	FB
F. SOJA	F. sojaSS	3.89	5.08

Umidade (UMI), vianirs

Composição: (g/100g), base úmida.

Arquivo de espectros		1508ss.nir	
Amostra	Número da Amostra	GH	UMI
F. SOJA	F. sojaSS	3.89	12.12

Atividade de Água (ATA), vianirs

Composição: (g/100g), base úmida.

Arquivo de espectros		1508ss.nir	
Amostra	Número da Amostra	GH	ATA
F. SOJA	F. sojaSS	3.89	0.68

ADISSEO BRASIL * CEAN* Av. Presidente Vargas, 2135, s/502, CEP 97015-513 Santa Maria / RS / Brasil – Tel.: 55 55 3219 4313