

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**ALIMENTAÇÃO SEQUENCIAL PARA SUÍNOS E AVES: EFEITO SOBRE O
DESEMPENHO E METABOLISMO ENERGÉTICO E PROTEICO**

GUSTAVO DIAS LOVATO

Zootecnista - UFSM
Mestre em Zootecnia - UFSM

Tese apresentada como um dos requisitos para a obtenção do grau de Doutor
em Zootecnia
Área de Concentração em Produção Animal

Porto Alegre (RS), Brasil
Março de 2017.

CIP - Catalogação na Publicação

Lovato, Gustavo Dias

Alimentação sequencial para suínos e aves: efeito sobre o desempenho e metabolismo energético e proteico / Gustavo Dias Lovato. -- 2017.

98 f.

Orientador: Alexandre De Mello Kessler.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2017.

1. avicultura. 2. balanço de nitrogênio. 3. nutrição. 4. suinocultura. I. Kessler, Alexandre De Mello, orient. II. Título.

GUSTAVO DIAS LOVATO
Zootecnista e Mestre em Zootecnia

TESE

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

DOUTOR EM ZOOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovada em: 31.03.2017
Pela Banca Examinadora



ALEXANDRE DE MELLO KESSLER
PPG Zootecnia/UFRGS
Orientador

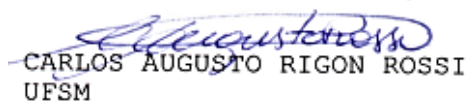
Homologado em: 17.05.2017
Por



PAULO CÉSAR DE FACCIO CARVALHO
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia



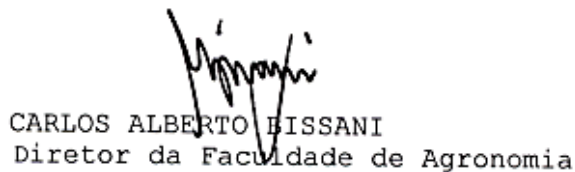
VLADIMIR DE OLIVEIRA
UFSM



CARLOS AUGUSTO RIGON ROSSI
UFSM



RODRIGO BORILLE
UFSM/Palmeira das Missões



CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade de Agronomia

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, carinho, companheirismo, cumplicidade, dedicação e compreensão em mim depositados nesse período de inacabáveis desafios.

Vocês são meu porto seguro e a certeza de que todo o esforço e sacrifício para ver um sorriso em seus rostos vale a pena.

E por isso dedico esse trabalho a vocês.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por guiar meus passos e meus pensamentos durante minha caminhada e oportunizar a convivências com pessoas de grande valor.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia pela oportunidade a que me foi atribuída, de participar do seu sistema de aprendizado e utilizar dos seus recursos e instalações, permitindo assim concluir mais esta etapa da minha caminhada em busca de conhecimento.

Ao Laboratório de Ensino Zootécnico, pela estrutura disponibilizada para a realização dos experimentos.

Ao CNPq pelo incentivo financeiro de apoio a minha formação.

Ao professor Dr. Alexandre de Mello Kessler, meu orientador, pela oportunidade de aprendizagem, formação e experiência, pelas explicações e aulas, pelo convívio, apoio e confiança.

Aos Professores Dra. Andrea Machado Leal Ribeiro, Dr. Luciano Trevizan pelo convívio, ensinamentos e conversas informais que sempre serviram para ampliar nossos horizontes.

Aos Colegas de pós-graduação e de LEZO pela amizade, pelas inúmeras discussões e trocas de conhecimento, pela ajuda nos experimentos. Sem o apoio de vocês com certeza eu não alcançaria meus objetivos.

À todos os estagiários, atuais e que já passaram, pela amizade, companheirismo, dedicação e empenho nos trabalhos realizados enquanto estive presente no laboratório.

À Vitalltech do Brasil pela oportunidade e confiança em mim depositados para mostrar a capacidade técnica e a importância de um Zootecnista na cadeia produtiva.

Ao Sr. Lauro e Dona Fátima, pelas inúmeras conversas, pela ajuda de sempre, e principalmente pela amizade deixada.

ALIMENTAÇÃO SEQUENCIAL PARA SUÍNOS E AVES: EFEITOS SOBRE O DESEMPENHO E METABOLISMO ENERGÉTICO E PROTEÍCO¹

Autor: Gustavo Dias Lovato

Orientador: Dr. Alexandre de Mello Kessler

Resumo: Dois experimentos foram realizados para avaliar o efeito da alimentação sequencial (AS) no desempenho e metabolismo energético e proteico de frangos de corte e suínos em crescimento. No primeiro experimento foram utilizados 144 frangos de corte com 21 dias de idade, alojados em baterias de metabolismo. As dietas A e B foram formuladas para atender 100% e 80% das recomendações de aminoácidos digestíveis, respectivamente. Os tratamentos utilizados foram: Tratamento AA, dieta A, fornecida durante todo o ciclo de 24 horas; Tratamento AB, dieta A fornecida durante o dia e dieta B fornecida durante a noite; Tratamento BA, dieta B fornecida durante o dia e dieta A fornecida durante a noite e; Tratamento BB, dieta B fornecida durante todo o ciclo de 24 horas. No experimento com suínos foram utilizados 16 animais com peso inicial de 30 kg, alojados em gaiolas metabólicas. Os tratamentos e as dietas experimentais seguiram as mesmas proposições do experimento com aves, porém com parâmetros nutricionais ajustados para suínos. Os frangos submetidos à AS apresentaram desempenho semelhante à dieta completa, com ligeira piora na conversão alimentar. Os frangos de corte dos tratamentos com AS ingeriram menos energia, nitrogênio (N) e lisina comparadas aos animais alimentados exclusivamente com a dieta A. Os valores de retenção e excreção de N nos frangos alimentados sob regime de AS compararam-se ao tratamento AA. O tratamento BA excretou menos N e obteve uma relação de retenção de N por quilograma de peso vivo equivalente ao tratamento AA. Em suínos, não foram detectados efeitos da AS sobre o peso final, consumo de ração diário, ganho de peso diário e conversão alimentar. A ingestão de N foi influenciada pela AS, mas não houve diferença na excreção e retenção de N, comparado ao tratamento AA. Os programas de AS apresentam desempenhos similares com reduzida ingestão de nutrientes e retenções de N similares a programas de alimentação convencionais em frangos de corte. AAS mantém o potencial de retenção de nitrogênio de uma dieta convencional, sem alterar os coeficientes de digestibilidade da dieta e o desempenho zootécnico. O fornecimento da dieta deficiente em aminoácidos durante o período da noite parece ser a melhor escolha para otimizar retenção de nitrogênio ao aplicar a estratégia de alimentação sequencial em suínos.

Palavras-chave: avicultura, balanço de nitrogênio, nutrição, suinocultura

¹ Tese de Doutorado em Zootecnia – Produção Animal, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil (97p.), março de 2017.

SEQUENTIAL FEEDING FOR PIGS AND POULTRY: EFFECT ON PERFORMANCE, ENERGETIC AND PROTEIN METABOLISM ¹

Author: Gustavo Dias Lovato

Adviser: Dr. Alexandre de Mello Kessler

Abstract: Two experiments were carried out to evaluate the effect of sequential feeding (AS) on performance and energy and protein metabolism of broiler chickens to growing pigs. In the experiment in birds were used 144 broiler chickens with 21 days of age, housed in metabolism batteries. Diets A and B were formulated to meet 100% and 80% of digestible amino acid recommendations, respectively. The treatments utilized were: Treatment AA, diet A, provided throughout the 24-hour cycle; AB treatment, A diet provided during the day and diet B provided overnight; Treatment BA, diet B provided during the day and diet A provided at night and; Treatment BB, diet B provided throughout the 24 hour cycle. In the experiment with pigs were used 16 animals with initial weight of 30 kg, housed in metabolic cages. The treatments and the experimental diets followed the same propositions of the experiment with birds, however with nutritional parameters adjusted for pigs. The birds submitted to AS presented similar performance to the complete diet, with a slight worsening in feed conversion. The birds in the AS treatments ingested less energy, nitrogen (N) and lysine compared to birds fed exclusively on diet A. The N retention and excretion values in the birds fed under AS regimen were compared to the AA treatment. The BA treatment excreted less N and had a N retention ratio per kilogram live weight equivalent to the AA treatment. In pigs, no effects of AS and final weight, daily feed intake, daily weight gain and feed conversion were detected. N intake was influenced by AS, but there was no difference in N excretion and retention compared to AA treatment. AS programs perform similar performances with reduced nutrient intakes and N retention similar to conventional feeding programs in broilers. AS maintains the nitrogen retention potential of a conventional diet without altering the digestibility coefficients of the diet and the zootechnical performance. The supply of the amino acid deficient diet over night appears to be the best choice to optimize nitrogen retention by applying the sequential dietary strategy.

Key-words:nitrogen balance,nutrition, poultry production, swine production

¹Doctoral Thesis in Animal Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil (97 p.), March, 2017

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	16
1. INTRODUÇÃO.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1. Exigências nutricionais de aminoácidos para aves e suínos.....	18
2.2. Controle da ingestão de alimento.....	20
2.3. Estratégias nutricionais e retenção do nitrogênio dietético	25
2.4. Alimentação sequencial	30
3. HIPÓTESES E OBJETIVOS.....	34
 CAPÍTULO II.....	 35
ALIMENTAÇÃO SEQUENCIAL EM FRANGOS DE CORTE: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO, METABOLISMO ENERGÉTICO E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO NITROGÊNIO.	35
RESUMO	37
INTRODUÇÃO.....	38
MATERIAL E MÉTODOS	39
RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
CONCLUSÕES.....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
 CAPÍTULO III.....	 62
EFEITO DE PROGRAMAS DE ALIMENTAÇÃO SEQUENCIAL SOBRE O METABOLISMO E BALANÇO DE NITROGÊNIO EM SUÍNOS EM CRESCIMENTO.....	62
Resumo	64
Introdução.....	65
Material e métodos.....	66
Resultados e discussão	69
Conclusões.....	76
Referências bibliográficas.....	76
 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	 86
 REFERÊNCIAS	 88

VITA..... 99

Lista de Tabelas

	Página
Capítulo II	
Tabela 1. Ingredientes e valor nutricional das dietas.....	58
Tabela 2. Efeito da alimentação sequencial sobre o peso vivo final (PVF), consumo diário de ração (CDR), ganho de peso diário (GPD), consumo de ração diurno (CDRD), consumo de ração noturno (CDRN) e conversão alimentar (CA) de frangos de corte.....	59
Tabela 3. Efeito da alimentação sequencial sobre o consumo de energia metabolizável total (CEMT), consumo de nitrogênio total (CNT), consumo de lisina digestível total (CLIST) e seus respectivos consumos nos diferentes turnos (CEMD), (CEMN), (CND), CNN), (CLISD) e (CLISN) em frangos de corte.....	60
Tabela 4. Efeito da alimentação sequencial sobre o coeficiente de metabolismo da matéria seca total (CMMS), diurna (CMMSD) e noturna (CMMSN), coeficiente de metabolismo da energia bruta total (CMEB), diurna (CMEBD) e noturna (CMEBN) coeficiente de metabolismo da proteína bruta total (CMPB), diurna (CMPBD) e noturna (CMPBN), proteína metabolizável total (PMT), diurna (PMD) e noturna (PMN), nitrogênio retido (NRET), nitrogênio excretado (NEXC), balanço de nitrogênio total (BALN), diurno (BALND) e noturno (BALNN) e nitrogênio retido por quilograma de peso vivo (NRETPV) em frangos de corte.....	61
Capítulo III	
Tabela 1. Ingredientes e composição nutricional das dietas experimentais.....	83
Tabela 2. Efeito da alimentação sequencial sobre o peso vivo final (PVF), consumo de ração diário total (CDR), durante o dia (CDRD) e durante a noite (CDRN), ganho de peso diário (GPD), conversão alimentar (CA), consumo de lisina digestível diário total (CLIST), durante o dia (CLISD) e durante a noite (CLISN) e relação entre ganho de peso e consumo de lisina diário (GPD:CLIS) em suínos em crescimento.....	84
Tabela 3. Efeito da alimentação sequencial sobre o coeficiente de metabolizabilidade da matéria seca (CMMS), da energia bruta (CMEB), coeficiente de digestibilidade da proteína bruta (CDPB), nitrogênio diário ingerido total (CNT), durante o dia (CND), durante a noite (CNN), nitrogênio total excretado (NEXC), nitrogênio fecal (NF), nitrogênio urinário (NU), nitrogênio urinário excretado durante o dia (NUD) e durante a noite (NUN), eficiência de utilização do	

nitrogênio (EUN) e nitrogênio diário retido (NRET) em suínos em crescimento.....	85
---	----

Lista de Figuras

	Página
Capítulo I	
Figura 1. Modelo de regulação de longo prazo do balanço de energia e do peso corporal.....	22
Figura 2 Representação esquemática do controle da ingestão alimento em suínos, propôs por Emmans, (1991).....	24

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AANE: aminoácidos não essenciais
AS: alimentação sequencial
BALN: balanço de nitrogênio
BALND: balanço de nitrogênio diurno
BALNN: balanço de nitrogênio noturno
CA: conversão alimentar
CDPB: coeficiente de digestibilidade da proteína bruta
CDR: consumo diário de ração
CDRD: consumo de ração diurno
CDRN: consumo de ração noturno
CEMD: consumo de energia metabolizável diurno
CEMN: consumo de energia metabolizável noturno
CEMT: consumo de energia metabolizável
CLISD: consumo de lisina diurno
CLISN: consumo de lisina noturno
CLIST: consumo de lisina
CMEB: coeficiente de metabolismo da energia bruta
CMEBD: coeficiente de metabolismo da energia bruta diurno
CMEBN: coeficiente de metabolismo da energia bruta noturno
CMMS: coeficiente de metabolismo da matéria seca
CMMSD: coeficiente de metabolismo da matéria seca diurno
CMMSN: coeficiente de metabolismo da matéria seca noturno
CMPB: coeficiente de metabolismo da proteína bruta
CMPBD: coeficiente de metabolismo da proteína bruta diurno
CMPBN: coeficiente de metabolismo da proteína bruta noturno
CND: consumo de nitrogênio diurno
CNN: consumo de nitrogênio noturno
CNT: consumo de nitrogênio
CZ: cinzas
EB: energia bruta
EUN: eficiência de utilização do nitrogênio
GH: hormônio do crescimento
GPD: ganho diário de peso
GPD:CLIS: relação ganho de peso consumo de lisina
IPF: IntelligentPrecisionFeeder
Lis/EM: relação lisina digestível e energia metabolizável
MS: matéria seca
N: nitrogênio
NEXC: nitrogênio excretado
NF: nitrogênio fecal
NRET: nitrogênio retido
NRETPV: nitrogênio retido por quilograma de peso vivo
NU: nitrogênio urinário
NUD: nitrogênio urinário diurno
NUN: nitrogênio urinário noturno
PB: proteína bruta

PMD: proteína metabolizável diurna
PMN: proteína metabolizável noturna
PMT: proteína metabolizável
PVF: peso vivo final
PVI: peso vivo inicial

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

As carnes suína e de frango são duas das três principais fontes de proteína de origem animal produzidas, consumidas e exportadas pelo Brasil. O País produz cerca de 3,6 milhões de toneladas de carne suína por ano, sendo 555 mil toneladas destinadas à exportação, posicionando-o como 4º maior produtor e exportador mundial. Em relação à carne de frango, são mais de 13 milhões de toneladas produzidas, sendo o 2º maior produtor e maior exportador mundial, com 4,3 milhões de toneladas exportadas anualmente (ABPA, 2016). As duas atividades juntas consomem cerca de 36,3 milhões de toneladas de ração. Essa grande demanda por matérias primas e por redução de custos fez com que, nos últimos anos, parte das operações dos dois segmentos migrassem para as regiões com maior produção e oferta de grãos, como o Centro-Oeste, que representa cerca de 30% da produção nacional de milho e 45% da produção de soja (CONAB, 2015).

Os sistemas de produção de suínos e aves têm sido modificados para maximizar as respostas dos animais e, em geral, as principais características que se buscam otimizar são ganho de peso e conversão alimentar. Uma das estratégias para maximização do desempenho é a formulação de dietas com margens de segurança no fornecimento de aminoácidos, de modo a atender as exigências dos animais com maior demanda nutricional. Entretanto, o uso de margens de segurança tem se demonstrado pouco efetivo, uma vez que produz resultados inconsistentes sobre o desempenho dos animais (Pope et al., 2004; Rossi et al., 2013), além de reduzir a eficiência de utilização do nitrogênio dietético (Jean DitBailleul et al., 2001; Sirri e Meluzzi, 2012) e aumentar os custos de formulação sem modificações relevantes na margem de lucro.

O uso de estratégias nutricionais que otimizem o fornecimento e a utilização de aminoácidos, além de reduzir custos de formulação têm sido estudadas e, em geral tem demonstrado resultados favoráveis (Pope et al., 2004; O'connell et al., 2005; Pomar et al., 2009; Rossi et al., 2013). Em sistemas de produção avícola, uma estratégia que tem sido pesquisada é a alimentação sequencial (Gous e Du Preez, 1975). Esse esquema alimentar consiste no fornecimento de dietas com diferentes conteúdos nutricionais de maneira alternada por um determinado período de tempo. Algumas pesquisas têm reportado que alimentação sequencial tem efeito positivo sobre o bem-estar e qualidade da carcaça, sem prejuízos ao desempenho de frangos de corte (Bizeray et al., 2002; Leterrier et al., 2008). Além disso, alimentação sequencial parece ter potencial para modular o crescimento (Bouvarel et al., 2004) e melhorar a eficiência de utilização do nitrogênio dietético.

Em suínos e frangos de corte supõe-se que a utilização da alimentação sequencial poderia ser uma estratégia para melhorar a eficiência de utilização dos aminoácidos da dieta pela maior conservação dos aminoácidos limitantes através da redução da oxidação. Esse manejo alimentar pode modular o tipo de tecido depositado e eficiência de retenção de nitrogênio pelos animais. Isso permitiria a definição de uma nova recomendação de estratégia nutricional e que pode adaptar-se em sistemas de alimentação inteligente como o Intelligent Precision Feeder (IPF) (Pomar et al., 2009).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Exigências nutricionais de aminoácidos para aves e suínos

Por muitos anos, a principal ferramenta de ajuste de dietas para não ruminantes foi o conceito de proteína bruta, resultando em níveis de aminoácidos muito superiores aos exigidos pelos animais. Como as rotas importantes de reserva de proteína no corpo dos animais são pouco relevantes, o excedente proteico é deaminado, com a cadeia carbonada sendo utilizada como fonte de energia e o nitrogênio residual sendo metabolizado pelo fígado e excretado pelos rins. Essa rota metabólica gera um gasto energético muito grande para o organismo animal. Alguns estudos relatam que o excesso de proteína bruta nas dietas de monogástricos deprimem o desempenho por aumentar as exigências de energia de manutenção, deixando um menor nível energético para funções de deposição muscular, por exemplo (Chen et al., 1999; Araujo et al., 2001). Segundo Leclercq (1996), quase 40% da proteína bruta ingerida pelo frango de corte é excretada, sendo que o custo metabólico para incorporar um aminoácido na cadeia protéica é estimado em 4 mol de adenosina trifosfato (ATP), e que o custo para excretar um aminoácido é estimado em torno de 6 a 18 mol de ATP. Como esses valores variam em função da quantidade de N do aminoácido, pode-se observar que a eliminação destes aminoácidos tem alto custo energético para o frango e para o suíno. Dessa forma, a energia que poderia estar sendo utilizada para deposição de tecidos é desviada para excreção de nitrogênio (Costa et al., 2001). Além disso, o excesso de nitrogênio excretado tem causado problemas ambientais dado o potencial poluidor desse elemento.

Após alguns anos, muitas pesquisas demonstraram a relevância do conceito de proteína ideal como uma importante ferramenta de ajuste nutricional de dietas, redução de custos, redução do impacto ambiental da produção animal, melhorada eficiência de utilização do nitrogênio dietético e redução de incidência de doenças entéricas (Chen et al., 1999; Otto et al., 2003; Oliveira et al., 2006; Namroud et al., 2008; Rochell et al., 2016). Segundo Vidal et al. (2010), a redução do teor de proteína bruta com suplementação de aminoácidos sintéticos melhora a conversão alimentar sem prejudicar o ganho de peso em suínos dos 70 kg ao 100 kg. No estudo de Vasconcellos et al. (2010), com frangos de corte dos 21 aos 42 dias, a suplementação de aminoácidos cristalinos com redução de proteína bruta melhorou o ganho de peso e o rendimento de peito. Entretanto, outros estudos têm determinado que reduções bruscas no teor de proteína bruta com suplementação de aminoácidos cristalinos também prejudicam o desempenho animal (De Lata et al., 2002; Namroud et al., 2008). A redução de desempenho pode ser atribuída a fatores como a falta de nitrogênio para sintetizar aminoácidos não essenciais (AANE), capacidade insuficiente do organismo em atender as exigências de AANE especialmente Glicina, Serina, Prolina e Glutamina e os desequilíbrios entre certos aminoácidos tais como Arginina:Lisina e Lisina:Treonina, entre outros aminoácidos de cadeia ramificada (D'Mello, 2003).

A determinação precisa das exigências de cada aminoácido é um aspecto fundamental da nutrição e da alimentação animal. Dessa forma, muitos esforços

têm sido despendidos para determinar as exigências de aminoácidos nas diferentes espécies e diferentes categorias animais.

A abordagem mais clássica entre os cientistas é a metodologia de dose resposta (método empírico). As exigências nutricionais para um determinado aminoácido são estimadas avaliando a resposta da população alimentada com diferentes concentrações deste aminoácido 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, rendimento de cortes, por exemplo) (Rostagno et al., 2007; Sakomura e Rostagno, 2007).

O método fatorial estima as exigências nutricionais pelo cálculo das demandas por nutrientes para as principais funções metabólicas do animal, divididas em funções de manutenção e crescimento. Este método tem sido apresentado sob a forma de vários modelos matemáticos, que permitem estimar as exigências em aminoácidos, considerando características como diferenças genéticas, peso corporal, fase alimentar, capacidade de deposição de carne, aspectos relacionados ao ambiente e seus efeitos sobre os animais. Adicionalmente, o método considera informações do potencial nutritivo dos alimentos e o efeito da complementaridade entre eles (Pesti et al., 2009; Siqueira, 2009).

Embora seja uma abordagem distinta, a metodologia fatorial considera, para suas predições, experimentos de dose-resposta, levando em consideração ainda, a eficiência de utilização metabólica dos aminoácidos para o manutenção e crescimento. Alguns comitês de pesquisa em nutrição têm publicado estimativas de exigências nutricionais baseadas no método fatorial (NRC, 1994; Rostagno et al., 2011; NRC, 2012). Segundo seus autores, este modelo permite flexibilizar as exigências, uma vez que é possível calcular o nível nutricional adequado de acordo com o desempenho esperado, evitando desta maneira excesso de fornecimento de nutrientes que dificilmente seriam aproveitados pelo animal e que aumentariam a contaminação ambiental, da mesma forma que fornecimentos deficientes ou desbalanceados de nutrientes reduziram a produtividade (Rostagno et al., 2007).

O método fatorial representa uma ferramenta importante para a construção de modelos matemáticos capazes de prever as exigências em aminoácidos para suínos e aves. Nas últimas décadas, especial atenção tem sido dada para os modelos que descrevem as exigências, absorção e utilização de aminoácidos durante o crescimento animal. Tais modelos são representações do sistema real. É importante ressaltar que tais modelos permitem testes de hipóteses rigorosa em torno do que é um sistema relativamente complexo e altamente interativo. É pelo processo de refutação e pela formulação de novas hipóteses para substituir as ideias mais antigas ou menos adequadas que a modelagem avança (Moughan, 2003). São inúmeros os modelos de predição de exigências e crescimento tanto em aves (Fischer et al., 1973; Hruby et al., 1994; Pesti & Miller, 1997; Hauschild et al., 2015), como em suínos (Whittemore e Fawcett, 1974; Fergusson et al., 1997; Dourmad et al., 2008; Van Milgen et al., 2008; Pomar et al., 2009). Boa parte dos modelos são teóricos, embora existam

alguns com grande potencial de aplicação e aproximação dos resultados obtidos em condições reais de produção.

2.2. Controle da ingestão de alimento

O consumo voluntário de alimento determina o nível de ingestão de nutrientes e tem impacto significativo sobre a eficiência da produção de suínos e aves. A intensiva seleção por animais com melhor conversão alimentar tem selecionado animais com reduzido consumo voluntário, porém com melhores índices de eficiência (Torrallardona e Roura, 2009). Linhagens comerciais, selecionadas para rápido crescimento e alto rendimento de tecido muscular, regulam o consumo voluntário de alimento conforme suas exigências nutricionais, mas esse consumo apresenta forte influência do ambiente (Forbes, 2007). Consequentemente, os sistemas de criação têm sido amplamente desafiados, seja oscilações no clima, na condição sanitária e também na condição nutricional, sendo importantes fatores de limitação de produtividade e de deposição de componentes corporais de interesse zootécnico e econômico. Isso também dificulta pesquisadores e nutricionistas na tarefa de definir o nível adequado dos nutrientes da dieta com base na estimativa de consumo. Muitos são os fatores que interferem na ingestão voluntária de alimento.

O consumo voluntário de alimento é influenciado por diversos fatores associados a condições ambientais de temperatura e umidade, ambiente físico, ambiente social, condições sanitárias, genótipo e composição das dietas alimentares. Por esse motivo, prever o consumo voluntário tem sido uma tarefa difícil e, sendo necessário expressá-lo em condições ideais, as quais nem sempre caracterizam os sistemas comerciais de produção (Forbes, 2007). Um claro entendimento dos fatores-chave que envolvem o controle da ingestão de alimento é um importante pré-requisito para implementar o melhor manejo e a melhor estratégia alimentar.

O início e o término da ingestão de alimento são controlados por sistemas hormonais e neurais, sendo o centro da fome e da saciedade, no eixo hipotalâmico, responsável pela regulação da ingestão. Algumas moléculas sinalizadoras do controle da ingestão de alimento funcionam em tecidos periféricos ou diretamente no sistema nervoso central, para ativar circuitos neurais específicos ou modular ações metabólicas e endócrinas que regulam a ingestão de alimento e a homeostase energética (Richards et al., 2007). Exemplos específicos de algumas moléculas de sinalização bem estudadas incluem neuropeptídeo Y, a proopiomelanocortina e o alfa-hormônio estimulante do melanócito, colecistoquinina e bombesina (Jensen, 2001; Furuse, 2002). É claro que, apesar da natureza geralmente conservada destas moléculas de sinalização em aves e mamíferos, existem diferenças em função de sinais peptídicos específicos. Por exemplo, o peptídeo YY e o polipeptídeo pancreático suprimem o apetite em mamíferos, enquanto que são agentes potentes orexígenos em aves (Ando et al., 2001). A grelina é um exemplo de estimulante da alimentação em mamíferos, que em aves demonstra ser um potente anorexígeno (Saito et al., 2002; Saito et al., 2005; Geelissen et al., 2006). Por outro lado, alguns hormônios como a melanina, orexinas (A e B), a galanina e

motilina são potentes agentes orexígenos em mamíferos, mas não tem qualquer efeito aparente sobre a ingestão de alimentos em frangos (Ohkubo et al., 2002). Assim, o fato de aves e mamíferos utilizarem moléculas de sinalização comuns não significa necessariamente que eles também compartilham uma função comum.

O principal hormônio envolvido na regulação da ingestão de alimento é a leptina que, quando secretada, reduz o consumo e aumenta a secreção de hormônio do crescimento (Barb, 1998). A leptina, originalmente identificada em ratos, é produzida predominantemente no tecido adiposo, mas também já foi relatada ser produzida por outros tecidos, em menor grau (Richards, 2003). Estudos verificaram que a leptina desempenha um papel importante na regulação do apetite, no gasto de energia e na manutenção do peso corporal através de suas ações em locais específicos do hipotálamo como parte de um sistema de controle de *feedback* negativo (Friedman e Halaas, 1998; Friedman, 2002).

De maneira geral, o mecanismo pelo qual a sensação de saciedade ocorre após a ingestão de alimento ainda não é completamente definido. Muitas são as substâncias envolvidas na supressão do consumo. Além da leptina, a colecistoquinina, que é secretada pelas células I do duodeno após consumo de alimentos, é atribuída como hormônio regulador do consumo entre uma e outra refeição, mecanismo pelo qual será abordado mais adiante nesta revisão. A leptina por sua vez, tem maior potencial de regulação via mecanismos de longo prazo. Entretanto, acredita-se que exista um mecanismo sinérgico envolvendo colistoquinina e leptina na regulação de curto prazo, uma vez que pesquisas demonstraram que a secreção de leptina é marcada por incremento na secreção de colicistoquinina, estimulada pela ingestão (Sansinanea et al., 2001).

Baseado em estudos a cerca da ingestão de alimentos em mamíferos, está claro que existem dois componentes chave envolvidos na sua regulação: um que envolve o mecanismo de regulação de curto prazo de controle da ingestão e outro, de longo prazo (Figura 1), envolvido na regulação do balanço energético e das reservas nutricionais (Forbes et al., 1989; Kyriazakis e Emmans 1999; McNeel et al., 2000). Acredita-se que, na teoria de regulação de longo prazo, em situações onde há baixa reserva de nutrientes no organismo, o centro de alimentação do hipotálamo torna-se mais ativo, induzindo o animal a aumentar o consumo de alimento, por conta da sensação de fome. A regulação de longo prazo do balanço de energia ocorre através de vias neurais e neuroendócrinas ativadas no hipotálamo em resposta a moléculas de sinalização a partir de estímulos periféricos. Os sinais destas vias aferentes periféricas também estão integrados com as vias de sinalização da saciedade originárias do tronco cerebral. O resultado líquido é um sistema que regula a ingestão de alimentos cumulativa, refeição a refeição, juntamente com a manutenção a longo prazo do armazenamento de energia (gordura) para atingir a homeostase e, em última análise, para promover a estabilidade do peso corporal (Jensen, 2001; Berthoud, 2002; Blevins et al., 2002).

Já a teoria de regulação de curto prazo baseia-se em explicar a duração e a frequência de alimentação ou a busca por alimentos. A regulação de curto prazo é aplicável em diversas situações, mas o controle do consumo na verdade envolve a integração de vários estímulos (Richards et al., 2003). O

comportamento alimentar também pode ser influenciado por fatores externos, como condições ambientais e constituintes da ração, como por exemplo, a temperatura e a densidade nutricional, respectivamente, especialmente no que concerne a energia.

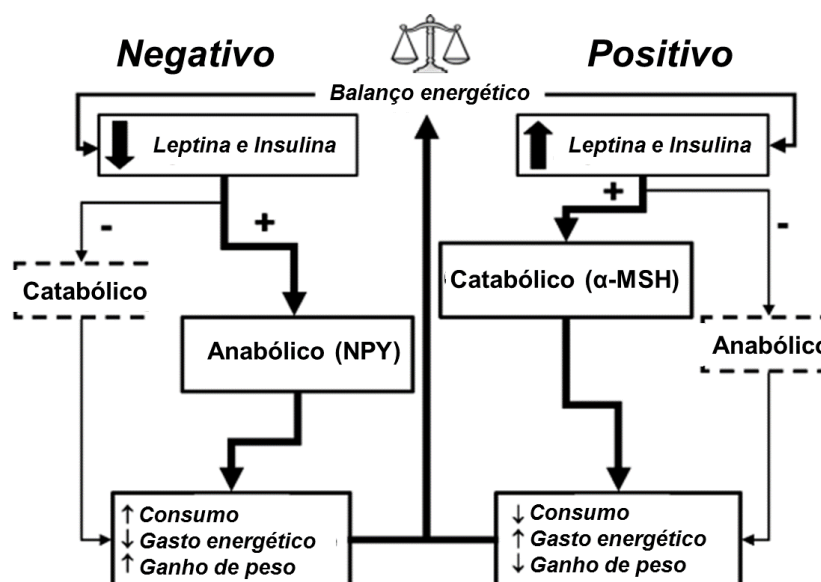


Figura 1. Modelo de regulação de longo prazo do balanço de energia e do peso corporal (McDonalds et al., 2011)

A teoria quimiostática baseia-se na regulação através de mecanismos sensíveis aos nutrientes ingeridos que chegam a determinados órgãos que desencadeiam reações que inibem ou estimulam o centro hipotalâmico. Por exemplo a chegada de glicose ao fígado no período pós-prandial, que estimula o centro de saciedade (Teoria Glicostática). Da mesma forma, a ingestão de lipídeos pelo animal está relacionada com a regulação energética do seu organismo. Quando as reservas energéticas estão elevadas ocorre ativação do centro de saciedade, provocando redução de consumo (Teoria Lipostática) (Sakomura et al., 2014).

No caso dos suínos, tem sido demonstrado que a ingestão de alimento é regulada pela concentração de energia da dieta (Quiniou e Noblet, 2012), embora a capacidade de controlar o consumo possa ser limitada também por fatores como tamanho do trato digestório, digestibilidade e densidade da dieta (Whittemore et al., 2001a). Nas fases iniciais, por exemplo, a menor capacidade de ingestão limita o potencial de crescimento. Em contraste, no período próximo ao abate a capacidade de ingestão excede a quantidade de energia para maximizar a proporção de carne magra em detrimento a gordura (Black et al., 1995). A principal consequência é a maior deposição de gordura e a redução da eficiência de utilização dos nutrientes. No caso da ingestão de aminoácidos, ao consumir uma dieta com desbalanço aminoácido em relação as suas reais exigências, ocorre uma alteração na concentração plasmática de aminoácidos,

especialmente aqueles essenciais. Isso faz com que o animal reduza ou estimule o consumo de alimento como forma de reestabelecer os níveis plasmáticos ideais (Teoria Aminostática). Entretanto esse mecanismo gera perdas produtivas como redução de desempenho e da eficiência alimentar. Dessa forma, o conteúdo de proteína bruta e o balanço de aminoácidos dietético também podem influenciar a ingestão de alimento, mas este parece ser afetado quando os suínos são alimentados com dietas de baixo nível proteico suplementadas com aminoácidos (Le Bellego et al., 2002).

A teoria termostática está relacionada com a regulação térmica dos animais, sendo influenciada pelas trocas de calor com o ambiente. A temperatura do ar tem sido muito estudada como um fator ambiental diretamente relacionado ao desempenho animal. A troca de calor entre os animais e o ambiente é um fator influenciador da ingestão voluntária de alimento (Black, 1995, Black et al., 1999; Whittemore et al., 2001). A temperatura efetiva do ambiente é o resultado de vários fatores ambientais, incluindo a temperatura do ar, velocidade do ar, taxa de ventilação, umidade relativa e características da reflectância das superfícies circundantes.

Alguns importantes fatores influenciam na perda de calor pelo suíno, como a proporção de área de superfície da pele que está umedecida, a habilidade do suíno em modificar seu ambiente térmico (amontoamento, seleção de microambientes dentro da baia) ou aumento da vasoconstrição ou vasodilatação periférica (Collin et al., 2001). De maneira geral, animais crescem de maneira ideal em ambientes onde a temperatura está dentro de uma zona termoneutra ou de termoneutralidade, que é definida como a faixa de temperatura ambiente que não exige do animal aumentar a taxa metabólica para produção ou dissipação de calor (NRC, 1998). Fora da zona de termoneutralidade, os suínos e aves tendem a influenciar a ingestão voluntária de alimento.

O impacto das altas ou baixas temperaturas sobre a ingestão de alimento ocorre principalmente nas mudanças no tamanho da refeição e número diário de refeições (Quiniou et al., 2000). Esta observação demonstra a complexidade dos processos metabólicos envolvidos na regulação do consumo, e salienta a necessidade de mais investigação nesta área. A temperatura também influencia o padrão de alimentação de suínos. Em condições de alta temperatura, os suínos tendem a consumir mais alimentos durante a noite do que durante o dia, mas temperaturas mais baixas não parecem ter efeitos semelhantes sobre padrões de alimentação (Hyun et al., 1998; Quiniou et al., 2000). No estudo de Quiniou et al. (2000), os suínos consumiram 69% em comparação com 55% das suas refeições durante o dia quando as temperaturas dos ambientes avaliados eram de 19 e 29 °C, respectivamente. No estudo de Huynh et al. (2005), acima de determinadas temperaturas, iniciando aproximadamente em 22 °C, claras mudanças fisiológicas ocorrem em suínos na fase de crescimento e terminação. Isso envolve aumento da taxa de respiração e da relação de ingestão entre água e alimento, seguido pela diminuição da produção de calor e da ingestão de alimento e finalmente aumento da temperatura retal. Huynh et al. (2005) relatam também uma menor influência da umidade relativa do ar sobre as variáveis acima citadas.

Em frangos de corte, observa-se um comportamento similar, com redução do consumo e demais características de desempenho. Além disso, as aves aumentam a seleção para dietas mais energéticas em condições de alta temperatura (Alleman & Leclercq, 1997; Furlan et al., 2004; Syafwan et al. 2012). A representação esquemática do controle da ingestão de alimento pelo suíno (Figura 2), proposta por Emmans, (1991) ajuda a compreender de maneira sucinta como os diferentes fatores ligados a genótipo e ambiente interferem na ingestão e, conseqüentemente no desempenho.

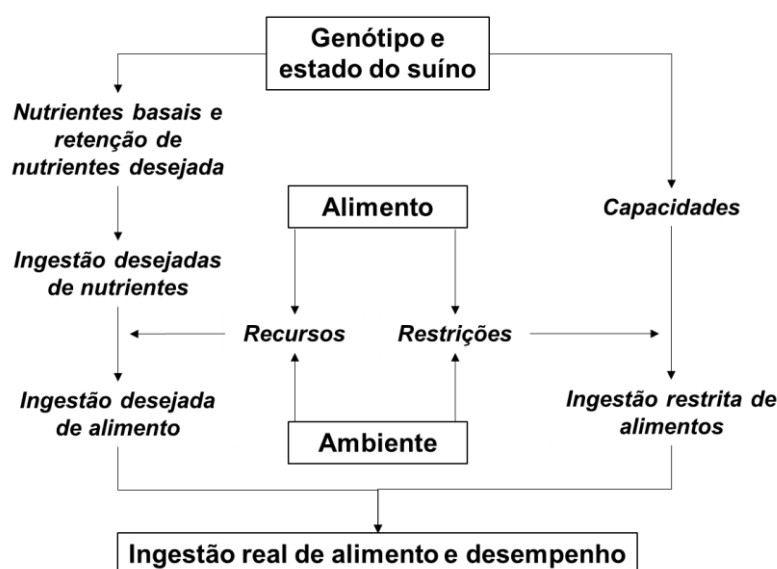


Figura 2. Representação esquemática do controle de ingestão alimento em suínos, proposto por Emmans. (1991).

A teoria de regulação física da ingestão está relacionada a capacidade física do trato gástrico. Essa teoria leva em consideração não somente a capacidade de ingestão física, mas também as características do alimento, as quais tem relação com a ingestão voluntária. O estômago tem uma capacidade de se distender durante uma refeição. A distensão só é cessada mediante liberação de colicistocinina, que emite sinais ao hipotálamo que, por sua vez ativa o centro de saciedade, impedindo que mais alimento seja ingerido pelo animal. Algumas pesquisas vêm tentando estabelecer relações de genótipos com a capacidade física de consumo de alimento, entretanto isso ainda não está claramente definido devido a necessidade de tais relacionamentos serem estabelecidos em condições ideais (Forbes, 2007).

A capacidade de consumo de ração é determinada pelo tamanho do aparelho digestório, pela taxa de passagem da digesta, capacidade de absorção e metabolismo por unidade de massa de tecido. As diferenças observadas nos tamanhos dos órgãos digestivos entre genótipos de suínos alimentados com dietas semelhantes sugerem que existe efeito do genótipo sobre a capacidade de consumo voluntário (Quiniou et al., 1996). No entanto, esses estudos devem

ser interpretados com alguma cautela de forma a não relacionar genótipos suínos com os níveis de alimentação.

O consumo de ração tem efeitos diretos sobre tamanhos de órgãos viscerais (Zhao et al., 1995; Jorgensen et al., 1996; Nyachoti et al., 2005). Além disso, os efeitos de dieta sobre absorção e a capacidade metabólica por unidade de massa de tecido têm de ser estabelecidas. Nas últimas décadas, a intensiva seleção genética permitiu uma redução considerável da ingestão de alimento (Torrallardona e Roura, 2009). Essa redução foi devida, principalmente, à menor exigência em energia através da redução gordura corporal e a melhor eficiência em converter nutrientes em tecido magro. Essa mudança parece estar associada com um aumento na capacidade dos suínos para adaptar a ingestão às dietas com menor concentração energética (Quiniou e Noblet, 2012). Esse processo evolutivo permitiu melhor eficiência alimentar e menores custos por unidade de produto.

2.3. Estratégias nutricionais e retenção do nitrogênio dietético

O nitrogênio é um dos principais componentes do crescimento muscular e o segundo elemento mais oneroso da dieta dos animais de interesse zootécnico, sobretudo aves e suínos. É importante garantir o balanço ideal entre a capacidade de retenção do nitrogênio dietético pelo animal e a composição da dieta, de forma a tornar o sistema de produção eficiente e rentável. A literatura cita um grande número de estratégias nutricionais que têm sido utilizadas de forma melhorar a eficiência de retenção do nitrogênio em aves e suínos (Otto et al., 2003; Reynolds e O'Doherty, 2006; Rostagno et al., 2007; Namroud et al., 2008; van Milgen et al., 2008; Pomar et al., 2009; Sirri e Meluzzi, 2012; Rossi et al., 2013; Pomar et al., 2014; Sakomura et al., 2015). Algumas estratégias e seus efeitos serão sucintamente descritos a seguir, neste item.

A principal fonte de nitrogênio é a proteína dietética, que o compõe em cerca de 16%. A proteína ingerida é inicialmente digerida no estômago pela ação dos sucos gástricos. No intestino delgado encontram-se os principais sítios de digestão e absorção da proteína na forma de aminoácidos e peptídeos. Os aminoácidos são absorvidos a partir do intestino para a corrente sanguínea por transporte ativo e transferidos para as células. Isto requer um fornecimento de energia, uma vez que a concentração de aminoácidos na célula pode ser de até 100 vezes a do sangue, e a transferência para a célula tem de ocorrer contra um gradiente de concentração muito grande. Uma troca contínua ocorre entre o sangue e os aminoácidos celulares, mas não entre os aminoácidos livres e as proteínas dos tecidos (McDonald et al., 2011).

Entre 70 e 85% dos aminoácidos presentes no lúmen intestinal são absorvidos a partir da digestão nos enterócitos, na forma de pequenos peptídeos. Depois da absorção pelos enterócitos, estima-se que 85% dos aminoácidos aparecem no sangue portal hepático como aminoácidos livres, como produto da digestão intracelular (D'Mello, 2003). A partir da absorção, os aminoácidos podem seguir vários destinos metabólicos. O principal deles é a síntese de proteínas que pode ser dividido em quatro estágios: ativação dos aminoácidos, onde o ácido ribonucleico transportador (RNAt) conduz os

aminoácidos dispersos no citoplasma até os ribossomos. A ligação dos aminoácidos ao RNAt ocorre por meio de um processo enzimático formando o complexo aminoácidos-RNAt. Esse processo requer energia e, portanto, presença de ATP. A iniciação da formação da cadeia de peptídeos envolve a ligação de subunidades de RNAt e RNAm formando o códon de iniciação. No processo de alongação, um segundo RNAt transporta um aminoácido específico de acordo com cada códon. O ribossomo encontra o códon de finalização, terminando assim a alongação. Quando último RNAt sai dos ribossomos, as subunidades dos ribossomos separam-se e a proteína é libertada (D'Mello, 2003). O mecanismo acima não ocorre com cadeias de peptídeos pré-formados. A síntese acontece somente com um simples aminoácido e a cadeia polipeptídica é originada pela adição sucessiva de aminoácidos individualmente. Se todos os aminoácidos requeridos para formar tal estrutura peptídica não estão presentes no meio celular no momento certo, a síntese não ocorrerá e os aminoácidos presentes serão removidos e desaminados, com o esqueleto de carbono sendo utilizado no metabolismo energético (D'Mello, 2003). O mesmo processo ocorre em casos de deficiência energética da dieta. O grupo amino, além daqueles aminoácidos absorvidos em excesso às necessidades, são eliminados via urina, seja na forma de uréia, no caso dos suínos e demais mamíferos, ou ácidos úricos, no caso das aves.

Uma das principais estratégias nutricionais de otimização do nitrogênio dietéticos utilizada tanto em frangos de corte como em suínos é a redução do teor de proteína bruta associado a suplementação de aminoácidos cristalinos. Essa estratégia é baseada na suplementação daqueles aminoácidos que são considerados limitantes, em função da fonte protéica utilizada e da exigência nutricional do animal (Bertechini., 2013). Os aminoácidos limitantes se referem aqueles que estão presentes na dieta em uma concentração menor do que a exigida para o máximo desempenho. Em uma dieta um ou mais aminoácidos podem estar em condição de limitação em relação à exigência do animal (Bertechini., 2013).

Oliveira et al. (2010) e Ospina-Rojas et al. (2012) demonstraram que a redução do teor de proteína bruta com suplementação de aminoácidos não afeta o desempenho e reduz o teor de nitrogênio ingerido em frangos de corte. Vasconcelos et al. (2010), ao realizar um estudo com níveis decrescentes de proteína e suplementação de aminoácidos, também não observaram redução de desempenho até o nível de 17%. No entanto, ao avaliarem reduções mais severas, os mesmos autores observaram redução no ganho de peso e piora na conversão alimentar.

Em suínos podemos observar resultados semelhantes com a modulação do teor de proteína dietético. O estudo de Oliveira et al. (2006) demonstrou que os níveis de proteína bruta de até 12%, não altera o desempenho e a retenção de proteína, desde que as dietas sejam suplementadas com os aminoácidos limitantes. Quando avaliadas em condições termoneutras e alta temperatura a redução de proteína bruta de 16% para 12% com suplementação de aminoácidos não causa efeitos negativos sobre o desempenho (Kerr et al., 2003). Entretanto, o estudo de DeLlata et al. (2002) demonstrou que suplementações maiores 0,15% de L-Lisina HCl com redução da proteína bruta e sem suplementação dos demais aminoácidos limitantes reduziram o

desempenho de suínos em crescimento e terminação. Isso sugere que a redução dos níveis de proteína bruta deve ser acompanhada de suplementação de todos os aminoácidos limitantes na dieta, como forma de garantir que haja substrato para síntese proteica. O baixo desempenho com dietas de reduzido teor de proteína bruta sem suplementação de aminoácidos também está relacionado à falta de ajuste no balanço entre as exigências e o nível ofertado de aminoácidos essenciais, ao desbalanço na relação entre aminoácidos essenciais e não essenciais, a falta de um *pool* de nitrogênio para síntese de aminoácidos não essenciais e insuficiente capacidade de reunir os todos os aminoácidos não essenciais (D'Mello, 2003; De Llata et al., 2002; Namroud et al., 2008).

A utilização de dietas multifases aplicadas na suinocultura e na avicultura apresentem importantes resultados sobre a utilização do nitrogênio dietético, uma vez que são formuladas para atender as recomendações nutricionais em um espaço de tempo mais curto e, portanto, suprem de maneira mais precisa as exigências dos animais. No trabalho de Pomar et al. (2014), a utilização de dietas multifases para suínos em crescimento e terminação reduziu cerca de 7% a ingestão de proteína e 12% na excreção de nitrogênio, comparados ao método tradicional de três fases. Em frangos de corte, Pope et al. (2004) utilizando um sistema de alimentação com redução de aminoácidos ao longo do tempo, reduziu em 20% a excreção de nitrogênio em melhorou em 3% a eficiência alimentar, comparado com frangos de corte alimentados com as recomendações do NRC (1994). Esses sistemas de alimentação multifases promovem considerável redução de custos de formulação em sistemas de produção em grande escala, o que contribui para melhorar as margens financeiras.

Várias pesquisas têm buscado estratégias para melhorar a eficiência de utilização de aminoácidos dietéticos, como a utilização do conceito de proteína ideal, formulação com aminoácidos sintéticos e energia líquida, enzimas e diferentes estratégias nutricionais. Algumas dessas pesquisas têm demonstrado que a relação de lisina/energia metabolizável (Lis/EM) que otimiza diferentes respostas tem sido alcançada em valores inferiores a 0,8g/MJ, tanto em suínos jovens como em suínos adultos (Batterham et al., 1990; Bikker et al., 1994; Urynek e Buraczewska, 2003). Outras estratégias alimentares demonstraram que a redução na ingestão através da restrição alimentar quantitativa (Briganó et al., 2008) e qualitativa (Fraga et al., 2008a) melhoram a eficiência de utilização do nitrogênio dietético. Avaliando sistemas de restrição alimentar quantitativa para suínos, Briganó et al. (2008) demonstram que restrições mais tardias, a partir ds 70 kg, melhoraram a conversão alimentar e a eficiência econômica, necessitando de 2,9 kg de ração para agregar 1 kg de peso vivo, enquanto que sistemas *ad libitum* necessitaram de 20% mais ração.

A restrição qualitativa também demonstrou ser uma ferramenta em potencial na redução da excreção de nitrogênio e dos custos de alimentação (Fraga et al., 2008a; Fraga et al., 2008b). Entretanto, a utilização dessa estratégia alimentar somente se justifica em condições técnico-econômicas favoráveis, como disponibilidade e economicidade de ingredientes alternativos capazes de diluir energia e componentes nitrogenados da dieta. Em frangos de corte, alguns autores sugerem que a restrição alimentar melhora a eficiência alimentar (Urdaneta-Rincon e Leeson, 2002; Zhan et al., 2007), enquanto que

outras pesquisas pressupõem perdas produtivas consideráveis com o uso da restrição (Camacho et al., 2004; Wijtten et al., 2010).

Adicionalmente, ferramentas inteligentes de suporte a tomadas de decisão em sistemas alimentares e para ajustes nutricionais (Van Milgen et al., 2008; Hauschild et al., 2015) têm auxiliado pesquisadores e nutricionistas na tomada de decisão para ajustar o fornecimento e a utilização do nitrogênio dietético de modo a otimizar o desempenho (Jean Dit Bailleul et al., 2001; Brossard et al., 2009; Pomar et al., 2009; Rossi et al., 2013).

Um dos principais mecanismos que influenciam a retenção do nitrogênio em suínos de alto potencial de crescimento é a ingestão de lisina. Em linhas gerais, dietas com mesmo nível energético suplementadas com lisina aumentam a retenção de nitrogênio em suínos (Fuller et al., 1987a). A retenção de nitrogênio apresenta uma resposta quadrática em relação a ingestão de lisina, como demonstrado nos ensaios de Batterham et al. (1990). Nesse estudo, os autores descrevem que o declínio da retenção de nitrogênio a altos níveis de lisina coincide com a redução da eficiência de retenção quando o consumo de lisina se aproxima ou excede as necessidades máximas. Da mesma forma que baixas retenções a baixos níveis de ingestão de lisina são provavelmente um reflexo da maior proporção de lisina usada para a manutenção de suínos em crescimento mais lento. Adicionalmente, relações maiores de Lis/EM reduzem a energia de manutenção por causa do custo energético de 2,4MJ/kg de proteína desaminada e do total de 7,2MJ/kg de componente nitrogenados eliminados pela urina (Whittemore et al., 2001b).

Estratégias de redução do conteúdo de proteína da dieta e suplementação com aminoácidos sintéticos têm sido utilizadas sem comprometer a retenção de nitrogênio (Otto et al., 2003). O balanço de aminoácidos na dieta também tem forte influência sobre a utilização do nitrogênio, sobretudo os aminoácidos de cadeia ramificada, onde o catabolismo deste grupo de aminoácidos parece esgotar as reservas plasmáticas de alguns aminoácidos, o que inibe o crescimento (Languer e Fuller, 1996; Langer et al., 2000). Esses resultados demonstram que estratégias de ajuste do conteúdo proteico da dieta melhoram a eficiência de utilização do nitrogênio sem constrangimentos ao desempenho animal. Entretanto, é evidente que o ponto chave da definição da ingestão adequada de aminoácidos são as exigências nutricionais, uma vez que variam entre animais.

O uso de enzimas exógenas na alimentação de aves e suínos tem sido uma importante estratégia na otimização dos nutrientes de dieta, sobretudo proteína e aminoácidos. Os efeitos positivos do uso de *blends* enzimáticos tem sido relatado em várias espécies animais (Guggenbuhl et al., 2012). A utilização de *blends* enzimáticos tem sido mais efetiva em função da forma de ação no organismo animal, uma vez que os alimentos ingeridos contêm diferentes substratos com potencial de digestibilidade, mas com baixa hidrólise e grande resistência às enzimas endógenas secretadas. Adeola e Cowieson (2011) sugerem diferentes modos de ação de cada das enzimas presentes em tais *blends*, por exemplo as carboidrases que degradam os componentes da parede celular, tais como arabinosilanos solúveis e insolúveis, liberando nutrientes encapsulados dentro da parede da célula e melhorando o acesso das enzimas endógenas para dentro do conteúdo celular. Enzimas tais como amilases e

proteases podem aumentar a atividade enzimática endógena e reduzir perdas endógenas de aminoácidos, através da modulação da produção de enzimas pancreáticas e secreção de mucinas (Jiang et al., 2008). Adicionalmente, a utilização de enzimas exógenas permite a utilização de ingredientes alternativos disponíveis, como fontes mais econômicas de proteína e energia, dependendo do contexto de produção (Mc Alpine et al., 2012).

Em suínos em crescimento e terminação, Jo et al. (2012) relatam melhora de 5% no ganho de peso e de 4% na digestibilidade aparente da proteína bruta, com a suplementação de um blend enzimático composto por α -amilase, β -glucanase e protease. Em frangos de corte, o uso de xilanase, α -amilase e protease reduziu a conversão alimentar em 2% e melhorou a digestibilidade do nitrogênio em 6% de acordo com trabalho recente de Amerah et al. (2016). Outros estudos também evidenciaram o efeito positivo das enzimas sobre a otimização do desempenho e do nitrogênio dietético em suínos e frangos de corte (Omogbenigun et al., 2004; Barbosa et al., 2012).

As estratégias de redução do teor e da ingestão de proteína por aves e suínos reportam melhora na eficiência energética. Existe ainda, menor desperdício de nutrientes com a melhora no coeficiente de metabolizabilidade da matéria seca. Rocha et al. (2003) e Vasconcelos et al. (2011) observaram melhor aproveitamento da energia e da matéria seca quando utilizaram dietas com redução do teor de proteína bruta e suplementação de aminoácidos em frangos de corte. Em suínos, Fuller et al. (1987b) e Le Bellego et al. (2001) reportaram que a redução na ingestão de compostos nitrogenados reduziu as perdas energéticas, principalmente via urina e calor, e melhorou a digestibilidade da dieta, além de reduzir taxas de deaminação.

De acordo com Noblet et al. (1987) e Roth et al. (1999), dietas com baixo teor de proteína têm sido associadas com redução das perdas energéticas. Em geral, o aumento do consumo ou fornecimento de proteína dietética aumenta a taxa de *turnover* proteico (Reeds et al., 1981; Van Milgen et al., 2001) e se relacionam com o aumento da produção de calor. Com a menor ingestão de proteína, a melhora no aproveitamento da energia pode ser explicada pela menor taxa de deaminação e produção de calor pelos animais. Ao se diminuir os teores de proteína bruta da dieta, reduzem-se também, a deaminação do excesso de aminoácidos e, com isso, a síntese e a excreção de ácido úrico nas excretas das aves e de uréia excretada pelos suínos. Além disso, ocorre menor taxa de *turnover* das proteínas corporais e diminuição da produção de calor dos animais. Consequentemente, a redução do teor de proteína bruta da dieta aumenta a disponibilidade de energia para a deposição de tecidos, o que implica em melhor ajuste do conteúdo energético da dieta, afim de evitar aumento na deposição de gordura na carcaça.

De maneira geral, a eficiência de utilização de nitrogênio dietético é dependente da ingestão de energia. Estudos demonstram que o aumento da relação entre a energia e lisina digestível da dieta aumentam o N retido e reduzem o N urinário em suínos (Pophal, 2000). O ponto-chave nessa questão é a capacidade de regulação de consumo pelos animais. Frangos de corte parecem ter habilidade de regular sua ingestão de acordo com a concentração energética e aminoacídica da dieta (Forbes e Shariatmadari, 1996), enquanto que em suínos isso parece não ser tão consistente (Gattás et al., 2012).

2.4. Alimentação sequencial

A alimentação sequencial (AS) é uma estratégia alimentar inicialmente reportada em frangos de corte por Gous e Du Press (1975) que consiste em colocar os animais em uma situação contrastante, oferecendo-lhes dietas com diferentes valores nutricionais por um ciclo de um ou vários dias. No trabalho citado, os autores hipotetizaram como seria a habilidade dos frangos de corte em aproveitar o nitrogênio da dieta quando os aminoácidos eram fornecidos separadamente do restante da dieta. Adicionalmente, animais jovens exigem que todos os aminoácidos sejam ingeridos ao mesmo tempo na dieta para garantir altas taxas de crescimento, enquanto animais adultos podem fazer uso dos aminoácidos de forma individualizada, mesmo se todos os aminoácidos essenciais estiverem ausentes (Gous e Du Preez, 1975). Os autores concluíram que o regime alternado de fornecimento de duas dietas com níveis diferentes de aminoácidos melhora a utilização da proteína líquida com alternância de dietas em intervalos de 6 horas. Intervalo de 12 horas reduziram o ganho de peso e a utilização do nitrogênio dietético.

Na Europa, o uso da AS com alimentos de diferentes valores nutricionais tem sido praticada para alternar dietas com base no grão de trigo, por exemplo, com uma dieta complementar rica em proteína (Shariatmadari, 2009). Pesquisas com galinhas poedeiras tem demonstrado que a AS melhora a eficiência alimentar (Faruk et al., 2010). Estudos mais recentes têm abordado que a AS tem sido efetiva na redução da mortalidade e do escore de lesões na carcaça, além de melhorar a qualidade da carne de frangos de corte (Bizeray et al., 2002). Embora algumas pesquisas tenham reportado que a AS pode induzir a pequenas reduções no ganho de peso comparados com dietas completas ou de sequencias mais curtas (Shariatmadari & Forbes, 1993; Bouvarel et al., 2004), outros trabalhos indicam melhora na utilização do nitrogênio dietético e na modulação do crescimento (Leterrier et al., 2008; Sirri & Meluzzi, 2012).

Em uma abordagem digestiva e metabólica, a ação da AS induz a rápidos ajustes na síntese proteica e na lipogênese, sobretudo quando ocorrem alterações na concentração proteica. A hipótese para esse fenômeno está na taxa de *turnover* proteico que pode variar rapidamente conforme a necessidade de se formar novas proteínas em diferentes partes do corpo. Usualmente, após a refeição ocorre um aumento instantâneo nas concentrações de aminoácidos no plasma, mas esse aumento é pequeno em função da velocidade de digestão da proteína. Em suínos, o ápice do aumento da concentração de aminoácidos no sangue ocorre 2 a 3 horas após a refeição (Cai et al., 1994). Após entrarem no sangue, os aminoácidos são absorvidos por praticamente todas as células do corpo, onde são ligadas entre si por ligações peptídicas para formar proteína corporal. Entretanto, muitas proteínas intracelulares são decompostas novamente em aminoácidos por enzimas digestivas lisossômicas. Esses aminoácidos são transportados novamente para fora da célula, provavelmente para formar novas proteínas em outras partes do corpo (Guyton e Hall, 2006).

Quando os animais são submetidos a períodos de restrição de nutrientes, alguns mecanismos regulatórios normalmente entram em funcionamento para

garantir as funções de manutenção e até mesmo de crescimento. Fuller et al. (1987a) reportaram que a suplementação de dietas deficientes em lisina melhoram a retenção de proteína sem alterar a taxa de síntese proteica. Para os autores, esse aumento na retenção está relacionado a redução da degradação proteica provocada pela melhora da qualidade proteica em função da suplementação de lisina e do melhor balanço de aminoácidos. Contrariamente, Roy et al. (2000) demonstraram que a suplementação de lisina aumenta a taxa de síntese proteica, mas sem efeitos sobre a quantidade de proteína retida, supondo que os mecanismos de síntese proteica requerem a presença de todos aminoácidos de maneira simultânea nos sítios de síntese. No entanto, como já foi referenciado na presente revisão, este mecanismo é dependente da idade do animal (Gous & Du Preez, 1975). Além disso, o trabalho de Roy et al. (2000) também reportaram redução na degradação proteica com a suplementação de lisina, o que reforça a hipótese da funcionalidade de um mecanismo inibitório da oxidação de aminoácidos quando estes são limitantes na dieta.

Outros mecanismos metabólicos adaptativos também têm sido reportados em frangos de corte sob restrição alimentar, intermitente ou não (Nir et al., 1996). Essas adaptações incluem aumento da capacidade e menor taxa de esvaziamento do trato gastrointestinal para melhorar o aproveitamento de nutrientes em períodos de privação alimentar. Entretanto, supõe-se que esse mecanismo seja regulado a longo prazo, de modo a alcançar o equilíbrio entre as exigências em energia e nutriente e a base genética (Bouvarel et al., 2008). Nir et al. (1996) citam ainda aumento da lipogênese hepática, síntese do glicogênio durante o ciclo de alimentação, redução da perda de calor, além do aumento da síntese e secreção de enzimas digestivas em dias de privação de alimento.

Alguns metabólitos plasmáticos e hormônios estão direta ou indiretamente envolvidos nas respostas metabólicas à redução na ingestão de nutrientes. A albumina é a principal proteína sintetizada pelo fígado e tem funções importantes no transporte de hormônios e na manutenção da pressão oncótica e situações que causem reduzida absorção de aminoácidos podem reduzir a produção dessa proteína (Guyton e Hall, 2006). O fosfato também é um metabólito de grande importância, pois é encontrado no ATP, no monofosfato cíclico de adenosina (AMPc), 2,3 - difosfoglicerato, muitas proteínas e outros compostos vitais do corpo. Além disso, a fosforilação e desfosforilação de proteínas estão envolvidas na regulação da função das células (Barrett et al., 2010). Dessa forma, condições de restrição de nutrientes podem afetar as concentrações plasmáticas de fósforo e, por consequência, o metabolismo energético.

A concentração plasmática de ureia tem sido um parâmetro importante na avaliação da qualidade da proteína ingerida pelos suínos, pois é alta e inversamente correlacionada com a utilização da proteína da dieta (Cai et al., 1994). Reduzidos níveis de proteína bruta na dieta, acompanhados de um adequado balanço de aminoácidos reduzem tanto a excreção urinária de nitrogênio como a concentração plasmática de ureia (Figueroa et al., 2002). A ureia excretada na urina é o principal produto nitrogenado do catabolismo dos aminoácidos da dieta e a concentração plasmática da ureia pode ser um indicativo da excreção de nitrogênio pela urina (Zervas e Zijlstra, 2002). Em geral, a concentração de ureia no sangue aumenta nas primeiras 3 a 4 horas

após a alimentação onde atinge seu pico de concentração, no entanto, existem flutuações na concentração plasmática em função do regime alimentar utilizado sobre os animais. Em seu trabalho, Cai et al. (1994) demonstraram que alimentação de livre acesso apresenta uma flutuação de 8% entre o período de menor e de maior concentração. Por outro lado, suínos alimentados apenas duas vezes por dia, mesmo que ingerindo a mesma quantidade de ração que os animais alimentados à vontade apresentaram uma flutuação de 30%. Esse fato é importante para se definir metodologias de determinação da concentração de ureia e, assim demonstrar os reais efeitos de sistemas de AS sobre a utilização do nitrogênio.

O aumento da concentração plasmática de insulina tem sido relacionado ao fornecimento de aminoácidos de acordo com as exigências nutricionais (Fuller et al., 1987b; Roy et al., 2000; Barretero-Hernandez et al., 2010). A insulina é necessária para síntese proteica. Organismos com deficiência de insulina tem reduzida síntese de proteínas. O mecanismo pelo qual isso ocorre é desconhecido, no entanto, sabe-se que a insulina acelera o transporte de aminoácidos circulantes no plasma para dentro das células, o que pode ser o mecanismo de estímulo para a síntese proteica (Guyton e Hall, 2006). Adicionalmente, o aumento na concentração de glicose estimula a liberação de insulina para facilitar a captação, utilização e armazenamento de glicose nas células, de modo que a exigência energética para a síntese proteica pode ser reduzida, exercendo uma espécie de efeito poupador de energia. Em sistemas de alimentação intermitente para frangos de corte, postula-se que reintrodução de ingestão voluntária aumenta os níveis de insulina (Nir et al., 1996). No entanto, tem sido demonstrado que a insulina, juntamente com o hormônio do crescimento, está relacionada com o controle homeostático do metabolismo durante a restrição alimentar (Barretero-Hernandez et al., 2010), o que permite a regulação da condição estável de crescimento do animal.

Além da insulina, o hormônio do crescimento (GH) também exerce função sobre a deposição proteica. Os mecanismos do GH aumentam o transporte de aminoácidos através das membranas celulares e aceleram os processos de transcrição e de tradução para síntese de proteínas. Além disso, o GH é conhecido por ter importante papel na regulação do metabolismo, na composição corporal e no gasto energético. Contrariamente ao que se tem postulado sobre insulina, a restrição alimentar aumenta as concentrações plasmáticas de GH (Roy et al., 2000; Barretero-Hernandez et al., 2010). Postulou-se que o aumento da concentração de GH durante a restrição alimentar permite a mobilização de gordura para fornecer a energia adicional necessária para manter a homeostase (Mcneel et al., 2000).

Em linhas gerais a utilização da estratégia de AS para suínos tem o objetivo de tornar mais precisa a utilização dos nutrientes da dieta, sobretudo aminoácidos. Em sistemas industriais de produção de frangos de corte e suínos, a alimentação perfaz cerca de 60% a 70% dos custos de produção e, por consequência, utilizar sistema de alimentação inteligentes tem sido a maneira mais eficiente de produzir proteína animal a custos menores. Sistemas de alimentação inteligente ou de precisão têm sido desenvolvidos para prover condições de nutrição mais adequada, melhorando a utilização dos nutrientes da dieta e otimizando o custo das formulações (Pomar et al., 2009; Hauschild et al.,

2012). Dessa forma, a AS pode ter potencial em sistemas de alimentação inteligente, como um fator poupador de aminoácidos, seja como elemento adicional em sistemas como o *Intelligent Precision Feeder* (Pomar et al., 2009) ou como uma nova recomendação para sistemas de produção de suínos que permitem ajustes nutricionais personalizados.

3. HIPÓTESES E OBJETIVOS

As hipóteses deste estudo são:

Os programas de alimentação sequencial aplicados a frangos de corte podem melhorar a eficiência de utilização do nitrogênio dietético e influenciar diretamente as características de desempenho;

O uso de programas de alimentação sequencial em frangos de corte pode manter o mesmo desempenho zootécnico comparado com programas alimentares convencionais, com a vantagem do menor custo de alimentação.

O uso da alimentação sequencial em programas alimentares para suínos em crescimento e terminação pode melhorar utilização do nitrogênio dietético.

Esquemas de alimentação sequencial podem ser aplicados a suínos em crescimento, sem prejuízos ao desempenho zootécnico.

O Objetivo geral foi:

Avaliar o efeito de programas de alimentação sequencial sobre o desempenho e eficiência de retenção do nitrogênio em frangos de corte e suínos em crescimento.

Os objetivos específicos foram:

1. Investigar os efeitos do programa de alimentação sequencial, fornecido em um ciclo de 24 horas, sobre o desempenho, ingestão de nutrientes, metabolismo de energia e eficiência de utilização do nitrogênio dietético em frangos do corte dos 21 aos 32 dias de idade.
2. Avaliar a eficiência de utilização do nitrogênio dietético em frangos de corte dos 21 aos 32 dias de idade submetidos programas de alimentação sequencial;
3. Avaliar o efeito da alimentação sequencial sobre o metabolismo energético em frangos de corte dos 21 aos 32 dias de idade;
4. Avaliar o desempenho zootécnico de frangos de corte dos 21 aos 32 dias de idade alimentados com programas de alimentação sequencial;
5. Avaliar o efeito da alimentação sequencial sobre o desempenho, a digestibilidade dos componentes da dieta e a eficiência de retenção do nitrogênio dietético em suínos.
6. Avaliar a eficiência de utilização do nitrogênio dietético e o metabolismo energético em suínos em crescimento submetidos a programas de alimentação sequencial;
7. Avaliar os efeitos a alimentação sequencial sobre o desempenho de suínos em crescimento, alojados em gaiolas metabólicas.

CAPÍTULO II

Alimentação sequencial em frangos de corte: avaliação do desempenho, metabolismo energético e eficiência de utilização do nitrogênio.

Este capítulo é apresentado de acordo com as normas de publicação da **Livestock Science**

**Alimentação sequencial em frangos de corte: avaliação do desempenho,
metabolismo energético e eficiência de utilização do nitrogênio**

Sequential feeding in broiler chicken: evaluation of performance, energy metabolism and nitrogen utilization efficiency

G. D. Lovato.^{1*}, R. Borille*, P. Moraes*, R. D. Gianluppi* and A. M. Kessler*

**Departamento de Zootecnia da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Avenida Bento Gonçalves, 7712. Cep: 91540-000, Porto Alegre, RS, Brasil. diaslovato@gmail.com.*

¹Corresponding author: diaslovato@gmail.com

RESUMO

Este trabalho foi conduzido com objetivo de investigar os efeitos da alimentação sequencial sobre o desempenho, excreção de nitrogênio e metabolismo de energia e proteína bruta em frangos do corte dos 21 aos 32 dias de idade. Foram utilizados 144 frangos de corte, alojados em 24 gaiolas de seis baterias por 11 dias. A dieta A foi formulada para atender 100% das recomendações de aminoácidos digestíveis para frangos de corte machos e a dieta B, formulada para atender 80% das exigências de aminoácidos digestível. Os tratamentos utilizados foram: Tratamento AA, dieta A, fornecida durante todo o período experimental; Tratamento AB, dieta A fornecida das 7:00 AM até as 5:00PM e dieta B fornecida fornecida das 5:00 PM até as 7:00 AM; Tratamento BA, dieta B fornecida das 7:00AM até as 5:00PM e dieta A fornecida fornecida das 5:00 PM até as 7:00 AM e; Tratamento BB, dieta B fornecida durante todo o período experimental. O delineamento foi inteiramente casualizado, com seis repetições por tratamento e seis aves por gaiola, sendo a gaiola a unidade experimental. Foram avaliados os dados de desempenho, ingestão de nutrientes e de metabolismo dos componentes da dieta. Os resultados indicam que os frangos submetidos à alimentação sequencial apresentaram desempenho semelhante à dieta completa. Os frangos de corte alimentados com a dieta completa tiveram melhor conversão alimentar comparados aos demais tratamentos. Os animais dos tratamentos AB e BA ingeriram menos energia, nitrogênio e lisina comparadas às aves alimentadas exclusivamente com a dieta A. Os valores de retenção e excreção de nitrogênio nas aves alimentadas sob regime de alimentação sequencial compararam-se ao tratamento AA, sendo que o tratamento BA excretou menos nitrogênio e obteve uma relação de retenção de nitrogênio por quilograma de peso vivo equivalente ao tratamento AA. Os programas de alimentação sequencial

apresentam desempenhos similares com reduzida ingestão de nutrientes e energia e retenções de nitrogênio similares a programas de alimentação convencionais.

Palavras-chave: aminoácidos, avicultura, nutrição, programas alimentares

INTRODUÇÃO

Os sistemas de produção de frangos de corte têm sido propostos para maximizar as respostas como ganho de peso e eficiência alimentar. Uma das estratégias para maximização do desempenho é a formulação de dietas com margens de segurança no fornecimento de aminoácidos, de modo a atender as exigências dos animais com maior demanda nutricional. Entretanto, essa estratégia tem se demonstrado pouco efetiva, uma vez que não demonstra resultados consistentes sobre o desempenho dos animais (Pope et al., 2004), além de reduzir a eficiência de utilização do nitrogênio dietético (Sirri e Meluzzi, 2012) e aumentar os custos das dietas sem modificações relevantes na margem de lucro.

O uso de estratégias nutricionais que otimizem o fornecimento e a utilização de aminoácidos, em geral tem demonstrado resultados favoráveis (Pope et al., 2004). Em sistemas de produção avícola, uma estratégia que tem sido explorada é a alimentação sequencial (Gous e Du Preez, 1975). Esse esquema alimentar consiste no fornecimento de dietas com diferentes conteúdos nutricionais de maneira alternada por um determinado período de tempo. Algumas pesquisas têm reportado que a alimentação sequencial tem efeito positivo sobre o bem-estar e qualidade da carcaça, sem prejuízos ao desempenho de frangos de corte (Bizeray et al., 2002; Leterrier et al., 2008). Além disso, a alimentação sequencial parece ter potencial para modular o crescimento e melhorar a eficiência de

utilização do nitrogênio dietético, sem alterações significativas sobre o desempenho (Bouvarel et al., 2004).

Em frangos de corte supõe-se que a utilização da alimentação sequencial pode ser uma estratégia para melhorar a eficiência de utilização dos aminoácidos da dieta pela maior conservação dos aminoácidos limitantes através da redução da oxidação. Esse manejo alimentar pode modular a eficiência de retenção de nitrogênio. Entretanto, a aplicação de programas de alimentação sequencial, com o objetivo de controlar a ingestão e a excreção de nitrogênio, no período de 24 horas do dia, tem sido pouco explorado. Dessa forma, o objetivo do estudo foi investigar os efeitos do programa de alimentação sequencial, aplicado em um ciclo de 24 horas, sobre o desempenho, ingestão de nutrientes, metabolismo de energia e eficiência de utilização do nitrogênio dietético em frangos do corte dos 21 aos 32 dias de idade.

MATERIAL E MÉTODOS

Animais e caracterização das instalações

O experimento foi realizado na instalação experimental de produção de frangos de corte do Laboratório de Ensino Zootécnico da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

A sala experimental foi equipada com sistema de aquecimento gás para controlar a temperatura e a zona de conforto térmico das aves de acordo com sua idade, conforme recomendação para a linhagem Cobb. A iluminação da sala foi feita por lâmpadas fluorescentes do tipo PL23 de 30W, sendo aplicado um programa de 20 horas de luz (2:00 AM até as 10:00 PM) e 4 horas de escuridão (10:PM até as 2:00 AM).

Foram utilizados 144 frangos de corte da linhagem Cobb, com 21 dias de idade. Os animais foram distribuídos em 24 gaiolas usadas para ensaios de digestibilidade e metabolismo, equipadas com comedouro e bebedouro tipo calha. A temperatura da sala

foi mantida dentro da zona de termoneutralidade, de acordo com as recomendações da linhagem e da fase. Os animais permaneceram dentro das gaiolas por 11 dias.

Dietas e Alimentação

Todos os frangos receberam a mesma ração e água a vontade até os 21 dias de idade. As dietas foram formuladas para atender as recomendações nutricionais de frangos de corte de desempenho superior (Rostagno et al., 2011), conforme Tabela 1. Até os 21 dias duas dietas foram fornecidas de acordo com a idade: pré-inicial (1 a 7 dias) e inicial (8 a 21 dias).

A partir dos 21 dias até os 32 dias de idade, foram fornecidas às aves duas dietas, sendo a Dieta A, formulada para atender as recomendações nutricionais de frangos de corte machos com desempenho superior, com 3,15 Mcal/kg de energia metabolizável e 11,31 g/kg de lisina digestível e a Dieta B, formulada para atender 80% das exigências de lisina digestível, com 3,15 Mcal/kg de energia metabolizável e 9,05 g/kg de lisina digestível. As dietas e a relação de aminoácidos digestíveis foram baseadas nas Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (Rostagno et al., 2011). As dietas foram fornecidas na forma farelada, a base de milho, farelo de soja e óleo de soja. O milho e o farelo de soja foram processados em triturador de martelos com peneira de 2,5 mm de diâmetro, resultando em uma granulometria média de 854 µm. Todos os frangos foram alimentados à vontade, sendo que a ração foi pesada e trocada duas vezes por dia (7:00 AM e 5:00 PM) e os bebedouros lavados e reabastecidos diariamente.

Tratamentos experimentais e delineamento experimental

Os frangos foram distribuídas em 4 tratamentos experimentais: Tratamento AA, dieta A, fornecida durante todo o ciclo de 24 horas; Tratamento AB, dieta A fornecida das 7:00AM até as 5:00PM e dieta B fornecida fornecida das 5:00 PM até as 7:00 AM;

Tratamento BA, dieta B fornecida das 7:00AM até as 5:00PM e dieta A fornecida fornecida das 5:00 PM até as 7:00 AM e; Tratamento BB, dieta B fornecida durante todo o ciclo de 24 horas. Os frangos foram alocados em seus tratamentos com o peso vivo inicial médio de $846,1 \pm 43,7$ g. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com seis repetições por tratamento e seis aves por gaiola, sendo a gaiola a repetição.

Avaliação de desempenho

Para as avaliações de desempenho, os frangos foram pesados individualmente no início e no final do experimento. Deste valor foi estimado o ganho de peso diário. O consumo de ração foi mensurado diariamente e em cada turno de alimentação. Dessa forma, foi possível estimar o consumo de ração total e consumo de ração no turno do dia e no turno da noite. Destes dois valores foi estimada a conversão alimentar. O consumo de energia, e o consumo de lisina digestível foram estimados com base na relação entre o consumo de ração total e por turno e o nível de energia metabolizável e lisina diestível das dietas, respectivamente.

Ensaio de metabolismo

Entre o dia 21 e o dia 25 foi realizado o período de adaptação às dietas experimentais e às gaiolas. Entre o dia 26 e o dia 32 de idade, foi iniciado o ensaio de digestibilidade para determinar os coeficientes de metabolizabilidade de energia e proteína, bem como a retenção de nitrogênio. As excretas foram coletadas duas vezes por dia, no início da manhã (7:00 AM) e no final da tarde (5:00 PM). As excretas coletadas foram pesadas, homogeneizadas e uma alíquota de 10% foi retirada e armazenada sob congelamento à -18°C . As coletas foram realizadas diariamente entre o dia 26 e 32. As excretas coletadas

foram homogeneizadas entre si em cada turno e para cada gaiola e enviadas para análises laboratoriais.

Determinação dos coeficientes de retenção aparentes

Os coeficientes de retenção aparentes foram determinados a partir da metodologia de coleta total de excretas. Após a homogeneização, foi adicionada uma solução de HCl às excretas, de modo a evitar as perdas de nitrogênio. As amostras foram secas a 60 °C por 72 horas e moídas em moinhos de facas. As análises foram realizadas de acordo com AOAC Official Methods of Analysis (1995) para matéria seca (MS), cinzas (CZ), proteína bruta (PB), energia bruta (EB). A partir dos laudos laboratoriais (teores de MS, EB, PB) utilizou-se a metodologia proposta por Sakomura e Rostagno (2007), para determinação dos coeficientes de metabolizabilidade da energia bruta (CMEB), coeficiente de metabolizabilidade da proteína (CMPB), nitrogênio retido (NRET), nitrogênio excretado (NEXC) e balanço de nitrogênio (BALN) total e por turno, além do nitrogênio retido por kg de peso vivo (NRETPV).

Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância univariada. Para comparar os tratamentos, as variáveis que apresentaram normalidade, foram avaliadas considerando o efeito fixo de tratamento e os efeitos aleatórios do resíduo, utilizando o procedimento MIXED do SAS, versão 9.4. Foi realizado teste de seleção de estruturas, utilizando o critério de informação bayesiano (BIC). Quando observadas diferenças, as médias entre os tratamentos foram comparadas utilizando o recurso LSMEANS, com critério de significância de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de desempenho estão apresentados na tabela 2. O manejo de alimentação sequencial e as dietas contendo 100% das exigências e 80% das exigências em aminoácidos não influenciaram significativamente o peso vivo final dos frangos, dentro do intervalo de 10 dias do ensaio experimental. Os animais alimentados exclusivamente com a dieta que atendia 100% das exigências de aminoácidos consumiram 5% menos alimento, comparadas às aves que consumiram exclusivamente a dieta com 80% das exigências. O consumo de ração e o ganho de peso foram influenciados significativamente ($P < 0.05$) pela composição da dieta, mas não houve diferença ($P > 0.05$) entre o tratamento controle e os tratamentos com alimentação sequencial. O manejo de alimentação sequencial não alterou de maneira significativa ($P > 0.05$) o consumo total de ração por dia, comparados entre si e entre os tratamentos AA e BB. Em relação ao ganho de peso diário, os frangos que consumiram exclusivamente dieta que atende 80% das exigências em aminoácidos tiveram uma menor taxa de crescimento diária comparada aos demais tratamentos. O manejo de alimentação sequencial não influenciou o ganho de peso diário e este foi significativamente similar à taxa de crescimento dos frangos alimentados exclusivamente com a dieta que atende 100% das exigências de aminoácidos. Durante o dia, os animais que consumiram a dieta com 100% das exigências aminoácídicas atendidas (AA e AB) ingeriram 5,2% menos ração ($P < 0.01$) do que os frangos dos tratamentos BA e BB, que receberam dieta deficiente em aminoácidos. No período da noite, com a inversão no fornecimento das dietas para os tratamentos AB e BA, foi observado menor consumo de ração ($P < 0.01$), cerca de 4,5%, para os tratamentos que receberam dieta que atendia em 100% das exigências de aminoácidos (AA e BA) comparado aos tratamentos que receberam dieta deficiente (AB e BB). As aves que receberam dieta que atendia plenamente as exigências em aminoácidos apresentaram

melhor conversão alimentar ($P < 0.05$), comparada com as duas estratégias de alimentação sequencial, que por sua vez tiveram melhor conversão alimentar que as aves alimentadas exclusivamente com a dieta de atendia 80% das exigências em aminoácidos.

A alimentação sequencial tem demonstrado benefícios sobre a redução de mortalidade, modulação do ganho de peso, redução de problemas locomotores e melhoria da condição de bem-estar das aves (Bizeray et al., 2002). Em nosso estudo, as diferenças de desempenho observadas entre os tratamentos no período de 11 dias foram pouco sensíveis. Embora tenham sido observados efeitos deletérios sobre a conversão alimentar, o peso vivo final, o consumo de ração total e o ganho diário de peso não foram reduzidos pelo manejo de alimentação sequencial. Esses resultados corroboram com outros estudos que avaliaram uso de estratégias de alimentação sequencial em frangos de corte (Bizeray et al., 2002; Bouvarel et al., 2004), onde foi observado que dietas de alta ou baixa proteína fornecidas de maneira alternada tem mostrado pequenas e insignificantes reduções no peso vivo e na taxa de crescimento de frangos de corte em fases curtas. Essa observação sugere que em fases finais de alimentação de frangos de corte, a alimentação sequencial pode ser uma estratégia interessante no que diz respeito a questões econômicas.

O consumo médio diário das aves que receberam exclusivamente dieta que atendiam plenamente as exigências de aminoácidos foi apenas 1.45 g/d menor comparado com as recomendações para frangos de corte machos de desempenho superior, proposto pelas Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (Rostagno et al., 2011). As aves alimentadas no manejo de alimentação sequencial apresentaram consumo de ração 2% superior ao que a literatura nacional preconiza. Já as aves alimentadas exclusivamente com dietas deficiente em aminoácidos apresentaram consumo 6% superior.

O comportamento alimentar das aves alimentadas exclusivamente com dieta deficiente pode ser explicado pela tentativa de compensar a deficiência nutricional da dieta B ingerindo mais alimento, de maneira a atender as exigências mínimas de aminoácidos. Quando uma dieta desbalanceada é oferecida, as aves tendem a compensar consumindo dietas complementares, mas se alimentação desequilibrada é induzida, as aves não procuram complementar a alimentação (Shariatmadari e Forbes, 1993). Isso sugere que aves podem compensar dietas de baixa ou alta proteína somente se forem capazes de medir as propriedades sensoriais do alimento (Forbes e Shariatmadari, 1996). Nesse caso, as aves foram submetidas tanto às estratégias de alimentação sequencial quanto a dieta exclusivamente deficiente por 11 dias. Nesse tempo, foram hábeis em identificar rapidamente as deficiências da dieta B e ajustar seu consumo de ração, sobretudo entre um turno e outro, conforme os resultados de consumo durante o dia e durante a noite.

O padrão de alimentação mudou rapidamente entre os tratamentos AB e BA no momento da troca de dietas, provavelmente induzido pelo baixo teor de aminoácidos da dieta, como se conseguissem distinguir dieta adequada e dieta deficiente em aminoácidos. Bouvarelet al. (2004) relataram em seu estudo com alimentação sequencial o rápido ajuste das aves sobre o consumo quando a dieta era deficiente em proteína. Além disso, os autores relataram maior número de bicadas e ciscadas por parte das aves alimentadas com baixa concentração de proteína, como um comportamento exploratório, a fim de complementar a proteína da dieta. Em geral, frangos mais jovens têm menor habilidade de compensar a deficiência nutricional consumindo mais comparado a aves mais velhas (Picard et al., 1999). Evidentemente que a avaliação de comportamento exploratório das aves não foi o propósito do presente estudo, pelo fato das mesmas estarem alojadas em baterias de gaiolas, sem acesso ao chão e à cama.

Embora a literatura reporte uma certa aversão das aves a consumirem dietas desbalanceadas (Rose, 1995), o que se observou no presente estudo foi uma tentativa de ajuste na ingestão inversamente à concentração nutricional da dieta que era oferecida. Isso aconteceu provavelmente pelo fato das aves serem mais velhas, terem a capacidade de modular o status metabólico de acordo com o alimento e terem uma capacidade maior de aprendizado frente aos contatos cíclicos com alimentos completos e deficientes.

O ganho de peso médio das aves alimentadas de acordo com a recomendação nutricionais foi 6.5% superior ao ganho preconizado nas tabelas brasileiras (Rostagno et al., 2011). Já os dois tratamentos submetidos à alimentação sequencial obtiveram um ganho médio diário 4.4% superior ao preconizado, no período avaliado. As aves alimentadas com dieta exclusivamente deficientes em aminoácidos tiveram um ganho igual ao preconizado pela literatura. De maneira geral, o lote apresentou melhor eficiência alimentar comparado com o que é preconizado para frangos de corte machos de desempenho superior conforme relatado pelas tabelas brasileiras para aves e suínos (Rostagno et al., 2011).

Na tabela 3 estão apresentados os consumos de nutrientes e componentes da dieta. O consumo de energia metabolizável total pelos frangos do tratamento AA foi 3.5% inferior do que a média de consumo nos demais tratamentos ($P=0.03$). Durante o dia, os frangos alimentados com dieta que atende 80% das exigências de aminoácidos (BA e BB) tiveram um consumo de energia metabolizável 5.2% superior ($P<0.01$) comparado ao consumo pelos frangos que receberam a dieta completa (AA e AB). No turno da noite, os frangos dos tratamentos AB e BB consumiram 4.4% mais energia metabolizável ($P<0.01$) do que os frangos que recebiam dieta que atendiam plenamente as exigências em aminoácidos. Os animais que receberam exclusivamente a dieta A consumiram 8%

mais lisina digestível ($P < 0.01$) do que os frangos alimentados no manejo de alimentação sequencial, que por sua vez tiveram uma ingestão de lisina digestível 10% superior aos frangos alimentados apenas com a dieta B. A ingestão de nitrogênio dietético apresentou o mesmo comportamento que o consumo de lisina digestível, sendo que, em uma visão geral dos dados, os frangos do tratamento AA consumiram significativamente mais nitrogênio ($P < 0.01$) comparado com os tratamentos alimentos com o manejo sequencial, que por sua vez consumiram mais nitrogênio ($P < 0.01$) comparado aos frangos do tratamento com deficiência em aminoácidos.

Ao confrontarmos os dados de ingestão de energia metabolizável e lisina digestível obtidos no estudo, foi observado uma ingestão de energia 9%, 12% e 14% superior e uma ingestão de lisina 1.8%, 9% e 18% inferior nos tratamentos AA, com alimentação sequencial e BB, respectivamente, comparado com o que preconiza a literatura nacional (Rostagno et al., 2011). O comportamento dos dados de consumo de energia e de componentes nitrogenados sugere que as aves submetidas à alimentação sequencial parecem não ter identificado de maneira hábil a deficiência em aminoácidos presente na dieta B tanto nos tratamentos com alimentação sequencial como no tratamento exclusivamente deficiente. Há várias hipóteses para esse resultado, dentre elas a exigência superestimada das tabelas nutricionais, o excesso de energia e aminoácidos com que as aves foram submetidas ou as mesmas estavam no limite da sua capacidade ingestiva.

Se observarmos o percentual de deficiência nutricional da dieta B, que preconizava atender 80% das exigências em aminoácidos, a ingestão de lisina digestível do tratamento BB atingiu 84% do que ingeriu o tratamento alimentado exclusivamente com dieta que atendia as exigências. Adicionalmente, a ingestão de lisina digestível do tratamento BB atingiu apenas 82% do que é preconizado pela literatura (Rostagno et al., 2011). Em

relação aos frangos submetidas a alimentação sequencial, a ingestão de lisina digestível foi maior, atingindo na média dos dois tratamentos 92% da lisina ingerida pelas aves alimentadas apenas com a dieta A. Entretanto, menor também foi a intensidade da restrição feita via dieta, uma vez que as aves permaneciam metade do tempo alimentadas com a dieta A e outra metade com a dieta B. O tratamento BA teve uma ingestão de lisina ligeiramente superior ao tratamento AB, embora essa variação não tenha sido estatisticamente diferente para o consumo de lisina total.

Os componentes de metabolismo estão apresentados na tabela 4. O coeficiente de metabolismo da matéria secatotal (CMMST), diurna (CMMSD) e noturna (CMMSN) foram superiores no tratamento BB, comparados aos demais tratamentos. Os coeficientes de metabolismo de matéria seca das aves alimentadas no regime de alimentação sequencial obtiveram resultados semelhantes ou superiores ao tratamento AA, indicando similaridade ou melhoria no aproveitamento da matéria seca fornecida.

O coeficiente de metabolismo da energia total (CMEBT) nos frangos alimentados exclusivamente com dieta deficiente em aminoácidos foram superiores aos demais tratamentos ($P < 0.01$), que por sua vez não diferiram entre si. Quando comparamos os coeficientes de metabolismo da energia no turno diurno (CMEBD) e noturno (CMEBN) podemos observar uma ligeira piora do tratamento AB no período diurno ($P = 0.04$) e um compartimento similar ao total no período noturno ($P = 0.02$). Na comparação dos turnos de alimentação, as aves que consumiram somente a dieta com menor teor de aminoácidos melhoraram o aproveitamento da energia da dieta ($P < 0.01$) em relação aos demais tratamentos. Estes dados mostram que a redução do teor proteico torna as dietas mais eficientes do ponto de vista energético. Adicionalmente, há menor desperdício de nutrientes com a melhora no coeficiente de metabolizabilidade da matéria seca. Esses

resultados corroboram com os estudos de Rocha et al. (2003) e Vasconcelos et al. (2011). De acordo com Noblet et al. (1987) e Roth et al. (1999), dietas com baixo teor de proteína têm sido associadas com redução das perdas energéticas. Em geral, o aumento do consumo ou fornecimento de proteína dietético aumenta a taxa de turnover proteico (Reeds et al., 1981; Van Milgen et al., 2001) e se relacionam com o aumento da produção de calor. Com a menor ingestão de proteína observada no present estudo, a melhora no aproveitamento da energia pode ser explicada pela menor taxa de desaminação e produção de calor pelos animais.

Os coeficientes de metabolismo da proteína bruta, total (CMPBT) e por turnos (CMPBD e CMPBN), não diferiram entre os tratamentos avaliados ($P > 0.05$). A quantidade total de proteína metabolizável (PMT) por kg de alimento ingerido do tratamento BA se equiparou ao tratamento AA, por outro lado, as aves alimentadas exclusivamente com a dieta A tiveram conteúdo de proteína metabolizável superior aos tratamentos AB e BB. A proteína metabolizável nos diferentes turnos analisados (PMD e PMN) acompanhou o comportamento da ingestão de nitrogênio, com tratamentos AA e AB com valor superior aos tratamentos BA e BB no período diurno, e AA e BA superiores à AB e BB no período noturno ($P < 0.01$).

As aves do tratamento BA reteram diariamente quantidades de nitrogênio (NRET) estatisticamente semelhantes ao tratamento AA. As aves deste tratamento por sua vez reteram mais nitrogênio ($P < 0.01$) comparado com os tratamentos AB e BB. Os tratamentos com alimentação sequencial não diferiram entre si ($P > 0,05$) em relação a retenção diária de nitrogênio. Mesmo retendo mais nitrogênio, as aves do tratamento AA excretaram 19% mais nitrogênio (NEXC) que as aves dos tratamentos BA e BB ($P < 0.01$),

mas o tratamento AA não diferiu do tratamento AB, que por sua vez teve excreção de nitrogênio semelhante aos dois tratamentos anteriores.

O balanço de nitrogênio total (BALNT) e por turnos (BALND e BALNT) não foi influenciado pelo manejo de alimentação sequencial. Em relação à eficiência de retenção de nitrogênio por quilograma de peso vivo (NRETPV), é possível observar que as aves submetidas a alimentação sequencial obtiveram um resultado semelhante às aves alimentadas exclusivamente com a dieta A. As aves alimentadas apenas com dieta deficiente apresentaram os menores ($P < 0.01$) valores de retenção de nitrogênio por quilograma de peso vivo, diferindo estatisticamente dos tratamentos AA e BA.

Os coeficientes de metabolismo da matéria seca (CMMS) e da energia bruta (CMEB) apresentaram um comportamento dos dados muito semelhante, sobretudo no que diz respeito ao tratamento BB, o qual apresentou os maiores coeficientes. Isto se deve ao fato de que na composição desta dieta a proporção de farelo de soja, de menor digestibilidade, é menor, ao passo que a de milho, mais digestível, é maior. A fração de carboidratos do farelo de soja apresenta baixa digestibilidade em frangos de corte, o que afeta diretamente o CMMS, e também o CMEB, sendo que o efeito sobre este último é atenuado pela maior inclusão dietética de óleo. Também pode ser hipotetizado que isso pode estar relacionado com a tentativa das aves em compensar a ingestão prolongada de uma dieta deficiente em nutrientes, nesse caso aminoácidos, aumentando a digestibilidade e a metabolizabilidade do alimento.

Alguns mecanismos metabólicos adaptativos são reportados em frangos de corte sob restrição alimentar, intermitente ou não (Nir et al., 1996). Essas adaptações incluem aumento da capacidade e menor taxa de esvaziamento do trato gastrointestinal para melhorar o aproveitamento de nutrientes em períodos de privação alimentar. Entretanto,

supõe-se que esse mecanismo seja regulado a longo prazo, de modo a alcançar o equilíbrio entre as exigências em energia e nutriente e a base genética (Bouvarel et al., 2008). A revisão de Nir et al. (1996), os autores citam aumento da lipogênese hepática, síntese do glicogênio durante o ciclo de alimentação, redução da perda de calor, além do aumento da síntese e secreção de enzimas digestivas em dias de privação de alimento. O mesmo comportamento não foi observado nos coeficientes de metabolismo da proteína bruta, o que poderia indicar com mais clareza que, em condições de privação de componentes proteicos da dieta, os frangos teriam uma habilidade de compensar a deficiência melhorando o aproveitamento. Entretanto, os dados comportaram-se conforme cita a literatura (Bouvarel et al., 2004), onde introduções tardias do manejo de alimentação sequencial levam a um efeito deletério sobre a eficiência proteica, sugerindo que aves adaptam seu metabolismo proteico mais facilmente com experiências precoces de alimentação sequencial.

No que tange aos dados de proteína metabolizável, nitrogênio retido por dia, nitrogênio retido por quilograma de peso vivo e nitrogênio excretado por dia podemos observar que o tratamento BA apresentou resultados mais similares ao tratamento AA. Uma das hipóteses para esse comportamento pode ser explicada pelo maior tempo de exposição de um alimento com maior teor de nutrientes às enzimas e sucos digestivos no trato gastro intestinal das aves, uma vez que as aves sofriam restrição alimentar de 4 horas durante o período da noite, com programa de luz. Essa hipótese pode ser reforçada por conta da similaridade estatística do tratamento AB com o tratamento BA nas variáveis relacionadas acima. Zhan et al. (2007) relatam que o período de restrição alimentar leva a adaptações metabólicas como a melhora do aproveitamento do alimento e da eficiência alimentar.

Nos frangos sob alimentação sequencial, houve diferença marcante na PMD e PMN, e no BALND e BALNN, sempre com os valores mais altos quando consumiram a dieta A. O fato dos frangos submetidos à alimentação sequencial serem mais eficientes no metabolismo proteico ao receberem o alimento A é um indicativo importante da ocorrência de crescimento compensatório em um curto prazo. Há uma sinalização de mudança no metabolismo do nitrogênio e utilização de maneira mais eficiente depois de uma privação de nutrientes. Esse fenômeno é muito bem descrito em suínos (Tulis, 1986) e sugere que a retenção compensatória de nitrogênio após um período de restrição proteica pode estar relacionado ao reestabelecimento das reservas lábeis de nitrogênio, tais como vísceras, pele, plasma, mas não no músculo esquelético.

Os resultados de retenção e excreção de nitrogênio corroboram com os estudos de Sirri e Meluzzi (2012), onde os autores demonstraram que frangos submetidos à alimentação sequencial em um ciclo de 12 horas reduzem sua excreção de nitrogênio e aumentam sua eficiência de utilização. Várias tentativas têm sido feitas para reduzir a excreção de nitrogênio em frangos de corte, principalmente por meio da manipulação do conteúdo de proteína bruta com suplementação de aminoácidos ou utilizando a suplementação enzimática (Ferguson et al., 1998; Meluzzi et al., 2001; Ferket et al., 2007). Contudo, à medida que os animais são alimentados com dietas mais próximas dos verdadeiros requerimentos de nitrogênio, mais reduções no conteúdo de proteína dietética podem resultar em uma redução menos pronunciada da excreção de nitrogênio.

De maneira geral, a alimentação sequencial demonstrou ser um esquema alimentar promissor no que diz respeito à manipulação do desempenho e utilização do nitrogênio dietético, além dos demais propósitos já mencionados pela literatura. A alimentação sequencial também tem repercussão positiva do ponto de vista ambiental pela redução da

emissão de nitrogênio, no entanto, a estratégia de alimentação sequencial ideal para cada sistema de produção deve ser avaliada. Como é uma técnica alimentar que visa o fornecimento de diferentes dietas de forma intercalada, ainda serão necessários estudos de viabilidade técnica para implementação da alimentação sequencial.

CONCLUSÕES

Os programas de alimentação sequencial apresentam desempenhos similares a programas convencionais de arrazoamento, apesar de leves reduções na conversão alimentar. A ingestão de nutrientes e energia é reduzida com o uso da alimentação sequencial. A redução da ingestão de proteína torna o aproveitamento da matéria seca e da energia mais eficientes. A retenção e excreção de nitrogênio são manipuladas pelo uso do manejo de alimentação sequencial, sendo que o uso de dietas menos concentradas em aminoácidos no período diurno aumenta a eficiência de retenção do nitrogênio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Association of Official Analytical Chemists International - AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. 16 ed. Arlington.
- Bizeray, D., C. Leterrier, P. Constantin, M. Picard, and J. M. Fauree. 2002. Sequential feeding can increase activity and improve gait score in meat-type chickens. *Poult. Sci.* 81:1798–1806.
- Bouvarel, I. A. M. Chagneau, P. Lescoat, S. Tesseraud, and C. Leterrier. 2008a. Forty-eight-hour cycle sequential feeding with diets varying in protein and energy contents: adaptation in broilers at different ages. *Poult. Sci.* 87: 196-203.
- Bouvarel, I., B. Barrier-Guillot, P. Larroude, B. Boutten, C. Leterrier, F. Merlet, M. Vilariño, L. Roffidal, S. Tesseraud, J. Castaing, and M. Picard. 2004. Sequential feeding programs for broiler chickens: twenty-four- and forty-eight-hour cycles. *Poult. Sci.* 83:49-60.
- Bouvarel, I., C. Vallée, A. M. Chagneau, P. Constantin, P. Lescoat, G. Ferreira, and C. Leterrier. 2008b. Effects of various energy and protein levels during sequential feeding on feed preferences in meat-type chickens. *Anim.* 2:1674–1681
- Ferguson, N. S., R. S. Gates, J. L. Taraba, A. H. Cantor, A. J. Pescatore, M. L. Straw, M. J. Ford, and D. J. Burnham. 1998. The effect of dietary protein and phosphorus on ammonia concentration and litter composition in broilers. *Poult. Sci.* 77:1085–1093.
- Ferret, P. R., E. van Heugten, T. A. T. G. van Kempen, and R. Angel. 2002. Nutritional strategies to reduce environmental emission from nonruminants. *J. Anim. Sci.* 80:(E-Suppl. 2):E168–E182.

- Forbes, J. M., and F. Shariatmadari. 1996. Short-term effects of food protein content on subsequent diet selection by chickens and the consequences of alternate feeding of high- and low protein foods. *Br. Poult. Sci.* 37:597–607.
- Gous, R. M., and J. J. Du Preez. 1975. The sequential feeding of growing chickens. *Br. J. Nutr.* 34:113-118.
- Leterrier, C., C. Vallée, P. Constantin, A. M. Chagneau, M. Lessire, P. Lescoat, C. Berri, E. Baéza, D. Bizeray, and I. Bouvarel. 2008. Sequential feeding with variations in energy and protein levels improves gait score in meat-type chickens. *Anim.* 2:1658-1665.
- Meluzzi, A., F. Sirri, N. Tallarico, and A. Franchini. 2001. Nitrogen retention and performance of brown-laying hens fed on diets with different protein content and constant of amino acids and energy. *Br. Poult. Sci.* 42:213–217.
- Nir, I., Z. Nitsan, E. A. Dunnington, and P. B. Siegel. 1996. Aspects of food intake restriction in young domestic fowl: metabolic and genetic considerations. *W. Poult. Sci. J.* 52:251-266.
- Noblet, J., Henry, Y., & Dubois, S. 1987. Effect of protein and lysine levels in the diet on body gain composition and energy utilization in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 65:717-726.
- Picard, M., M. Plouzeau, and J. M. Faure. 1999. A behavioural approach to feeding broilers. *Ann. Zoot.* 48:233–245.
- Pope, T., L. N. Loupe, P. B. Pillai, and J. L. Emmert. 2004. Growth performance and nitrogen excretion of broilers using a phase-feeding approach from twenty-one to sixty-three days of age. *Poult. Sci.* 83:676–682.

- Reeds, P. J., Fuller, M. F., Cadenhead, A., Lobley, G. E., & McDonald, J. D. 1981. Effects of changes in the intakes of protein and non-protein energy on whole-body protein turnover in growing pigs. *Br. J. Nutr.* 45:539-546.
- Rocha, P. T., Stringhini, J. H., Andrade, M. A., Leandro, N. S. M., Andrade, M. L., & Café, M. B. 2003. Desempenho de frangos de corte alimentados com rações pré-iniciais contendo diferentes níveis de proteína bruta e energia metabolizável. *Rev. Bras. Zootec.* 32: 162-170.
- Rose, S. P., M. Fielden, W. R. Foote, and P. Gardin. 1995. Sequential feeding whole wheat to growing broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 36:97–111.
- Rostagno, H. S., L. F. T. Albino, J. L. Donzele, P. C. Gomes, R. F. de Oliveira, D. C. Lopes, A. S. Ferreira, S. L. de T. Barreto, and R. F. Euclides. 2011. Tabelas brasileiras para aves e suínos: Composição de alimentos e exigências nutricionais. 3rd ed. Universidade Federal de Viçosa, MG, Brazil.
- Roth, F. X., Gotterbarm, G. G., Windisch, W., & Kirchgessner, M. 1999. Influence of dietary level of dispensable amino acids on nitrogen balance and whole-body protein turnover in growing pigs. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 81:232-238.
- Sakomura, N. K., and H. S. Rostagno. 2007. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. ed. Funep, Jaboticabal.
- Shariatmadari, F., and J. M. Forbes. 1993. Growth and food intake responses to diets of different protein contents and a choice between diets containing two levels of protein in broiler and layer strains of chickens. *Br. Poult. Sci.* 34:959–970.
- Sirri, F., and A. Meluzzi. 2012. Effect of sequential feeding on nitrogen excretion, productivity, and meat quality of broiler chickens. *Poult. Sci.* 91:316-321.

- Tullis, J. B., Whittemore, C. T., Phillips, P. 1986. Compensatory nitrogen retention in growing pigs following a period of N deprivation. *Br. J. Nutr.*, 56:259-267.
- Van Milgen, J., Noblet, J., & Dubois, S. 2001. Energetic efficiency of starch, protein and lipid utilization in growing pigs. *J. Nutr.* 131:1309-1318.
- Vasconcellos, C. H. F., Fontes, D. O., Lara, L. J. C., Vidal, T. Z. B., Silva, M. A., & Silva, P. C. 2011. Determinação da energia metabolizável e balanço de nitrogênio de dietas com diferentes teores de proteína bruta para frangos de corte. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 63: 659-669.
- Zhan, X. A., M. Wang, H. Ren, R. Q. Zhao, J. X. Li, and Z. L. Tan. 2007. Effect of early feed restriction on metabolic programming and compensatory growth in broiler chickens. *Poult. Sci.* 86:654–660

Tabela 1

Ingredientes e valor nutricional das dietas.

Ingredientes		Pré-inicial	Inicial	Dieta A	Dieta B
Milho 8%	%	59.45	55.67	58.10	71.16
Farelo de soja 45%	%	31.15	36.89	33.92	22.97
Óleo soja	%	1.09	3.60	4.55	2.36
Glúten de milho 60%	%	4.00	-	-	-
Fosfato Bicálcico 18%	%	1.95	1.58	1.37	1.48
Calcariocalcítico 35%	%	1.00	0.99	0.92	0.92
Sal comum 39%	%	0.40	0.48	0.46	0.46
L-Lisina HCl	%	0.40	0.21	0.19	0.22
DL-Metionina	%	0.29	0.31	0.27	0.20
L-Treonina	%	0.06	0.06	0.04	0.03
Premix mineral ¹	%	0.08	0.08	0.08	0.08
Premix vitamínico ²	%	0.04	0.04	0.04	0.04
Monensina	%	0.02	0.02	0.02	0.02
Cloreto Colina 60%	%	0.07	0.07	0.04	0.06
-----Níveis nutricionais calculados-----					
Energia Metabolizável	Mcal/kg	3.00	3.05	3.15	3.15
Proteína Bruta	%	22.00	21.41	20.27	16.32
Matéria seca	%	88.12	87.29	87.84	87.48
Extrato etéreo	%	4.21	6.63	7.22	5.34
Fibra Bruta	%	2.78	2.67	2.80	2.45
Lisina digestível	%	1.39	1.22	1.13	0.90
Metionina digestível	%	0.64	0.59	0.54	0.43
Metionina+Cistina digestível	%	0.99	0.88	0.82	0.66
Treonina digestível	%	0.93	0.79	0.73	0.58
Triptofano digestível	%	0.25	0.24	0.23	0.17
Arginina digestível	%	1.36	1.36	1.27	0.97
Valina digestível	%	1.10	0.91	0.86	0.69
Cálcio	%	0.92	0.84	0.76	0.76
Fósforo disponível	%	0.46	0.41	0.32	0.32

¹Composição premix mineral (mg/kg de ração) = mangênes: 88; zinco: 81,3; ferro: 62,5; cobre: 12,5; iodo: 1,25; selênio: 0,375.

²Composição premix vitamínico (por kg de ração) = Vitamina A: 9375 UI; Vitamina D3: 2375 UI; Vitamina E: 35 UI, Vitamina K3: 1,88 mg; Vitamina B1: 2,50 mg; Vitamina B2: 6,25 mg; Vitamina B6: 3,5 mg; Vitamina B12: 0,015 mg; Ácido Pantotênico: 12,5 mg; Ácido Nicotínico: 37,5 mg; Ácido Fólico: 0,875 mg; Biotina: 0,088 mg; Dieta A. dieta que atende 100% das recomendações nutricionais para frangos de corte de desempenho superior; Dieta B. dieta que atende 80% das recomendações nutricionais para frangos de corte de desempenho superior;

Tabela 2

Efeito da alimentação sequencial sobre o peso vivo final (PVF), consumo diário de ração (CDR), ganho de peso diário (GPD), consumo de ração diurno (CDRD), consumo de ração noturno (CDRN) e conversão alimentar (CA) de frangos de corte.

Variaveis	Programas alimentares				SEM	P-valor
	AA	AB	BA	BB		
PVI, g	846.3	845.8	846.4	845.9	8.804	0.99
PVF, g	1930.3	1910.0	1914.1	1865.6	18.786	0.11
CDR, g/d	150.6b	155.2ab	155.1ab	158.2a	1.715	0.03
GPD, g/d	98.1a	96.7a	97.1a	92.7b	1.300	0.02
CDRD, g/d	68.3b	68.7b	72.4a	71.9a	0.856	<0.01
CDRN, g/d	82.4b	86.5a	82.7b	86.3a	0.988	<0.01
CA, g/g	1.53c	1.60b	1.59b	1.71a	0.013	<0.01

AA. Dieta A, fornecida durante todo o ciclo de 24 horas; AB. Dieta A fornecida das 7:00AM até as 5:00PM e dieta B fornecida fornecida das 5:00 PM até as 7:00 AM; BA. Dieta B fornecida das 7:00AM até as 5:00 PM e dieta A fornecida das 5:00 PM até as 7:00 AM e; BB. Dieta B fornecida durante todo o ciclo de 24 horas.

Tabela 3

Efeito da alimentação sequencial sobre o consumo de energia metabolizável total (CEMT), consumo de nitrogênio total (CNT), consumo de lisina digestível total (CLIST) e seus respectivos consumos nos diferentes turnos (CEMD), (CEMN), (CND), CNN), (CLISD) e (CLISN) em frangos de corte.

Variáveis	Programas alimentares				SEM	P-valor
	AA	AB	BA	BB		
CEMT, kcal.d ⁻¹	521.8b	537.6a	537.4a	548.2a	5.945	0.03
CEMD, kcal.d ⁻¹	236.5b	237.9b	250.7a	249.2a	2.966	<0.01
CEMN, kcal.d ⁻¹	285.3b	299.7a	286.6b	299.0a	3.423	<0.01
CNT, g.d ⁻¹	5.37a	4.93b	5.03b	4.54c	0.053	<0.01
CND, g.d ⁻¹	2.43a	2.45a	2.08b	2.07b	0.027	<0.01
CNN, g.d ⁻¹	2.94a	2.48b	2.95a	2.48b	0.031	<0.01
CLIST, g.d ⁻¹	1.70a	1.55b	1.59b	1.42c	0.017	<0.01
CLISD, g.d ⁻¹	0.77a	0.78a	0.65b	0.65b	0.013	<0.01
CLISN, g.d ⁻¹	0.92a	0.78b	0.93a	0.78b	0.016	<0.01

AA. Dieta A, fornecida durante todo o ciclo de 24 horas; AB. Dieta A fornecida das 7:00 AM até as 5:00 PM e dieta B fornecida fornecida das 5:00 PM até as 7:00 AM; BA. Dieta B fornecida das 7:00AM até as 5:00 PM e dieta A fornecida das 5:00 PM até as 7:00 AM e; BB. Dieta B fornecida durante todo o ciclo de 24 horas.

Tabela 4

Efeito da alimentação sequencial sobre o coeficiente de metabolismo da matéria seca total (CMMS), diurna (CMMSD) e noturna (CMMSN), coeficiente de metabolismo da energia bruta total (CMEB), diurna (CMEBD) e noturna (CMEBN), proteína metabolizável total (PMT), diurna (PMD) e noturna (PMN), nitrogênio retido (NRET), nitrogênio excretado (NEXC), balanço de nitrogênio total (BALN), diurno (BALND) e noturno (BALNN) e nitrogênio retido por quilograma de peso vivo (NRETPV) em frangos de corte.

Variáveis	Programas alimentares				SEM	P-valor
	AA	AB	BA	BB		
CMMS, %	73.51c	73.99bc	74.43b	75.98a	0.274	<0.01
CMMSD, %	75.43bc	74.40c	76.26ab	76.86a	0.479	<0.01
CMMSN, %	71.78c	73.63b	72.73bc	75.18a	0.399	<0.01
CMEB, %	74.19b	73.90b	74.51b	75.59a	0.315	<0.01
CMEBD, %	75.78a	74.36b	75.81a	76.64a	0.525	0.04
CMEBN, %	72.77b	73.49b	73.35b	74.65a	0.401	0.02
PMT, g.kg-1	134.5a	120.8b	127.2ab	109.9c	3.646	<0.01
PMD, g.kg-1	137.1a	139.4a	107.6b	111.8b	1.726	<0.01
PMN, g.kg-1	132.1a	105.1b	145.3a	108.1b	4.845	<0.01
NRET, g.d ⁻¹	3.10a	2.88bc	3.02ab	2.67c	0.076	<0.01
NEXC, g.d ⁻¹	1.57a	1.43ab	1.34b	1.30b	0.060	0.02
BALN, %	66.38	66.67	69.25	67.31	1.329	0.43
BALND, %	67.65	68.78	65.94	68.51	1.008	0.21
BALNN, %	65.20	64.43	71.70	66.23	2.542	0.19
NRETPVg.kg ⁻¹	9.67a	9.03ab	9.48a	8.59b	0.229	0.01

AA. Dieta A, fornecida durante todo o ciclo de 24 horas; AB. Dieta A fornecida das 7:00 AM até as 5:00 PM e dieta B fornecida fornecida das 5:00 PM até as 7:00 AM; BA. Dieta B fornecida das 7:00AM até as 5:00 PM e dieta A fornecida das 5:00 PM até as 7:00 AM e; BB. Dieta B fornecida durante todo o ciclo de 24 horas.

CAPÍTULO III

Efeito de programas de alimentação sequencial sobre o metabolismo e balanço de nitrogênio em suínos em crescimento

Este capítulo é apresentado de acordo com as normas de publicação da **Revista Brasileira de Zootecnia**.

Efeito de programas de alimentação sequencial sobre o metabolismo e balanço de nitrogênio em suínos em crescimento

Gustavo Dias Lovato^{1a}, Rodrigo Borille^a, Priscila de Oliveira Moraes^a, Marcos SperoniCeron^a, Rafael Dal Forno Gianluppi^a, Alexandre de Mello Kessler^a

^aFederal University of Rio Grande do Sul, Department of Animal Science, PO Box 7712, 91540-000 Porto Alegre, RS, Brazil

¹ Corresponding author e-mail address: diaslovato@gmail.com
Departament of Animal Science,
Federal University of Rio Grande do Sul
Porto Alegre, RS, Brazil
Phone: +55 51 3308 6854

Resumo

O objetivo do estudo foi avaliar o efeito da alimentação sequencial sobre o desempenho, a digestibilidade dos componentes da dieta e a eficiência de retenção do nitrogênio dietético em suínos. Foram utilizados dezesseis suínos machos castrados com peso médio de 30 kg. Os animais foram distribuídos em 4 tratamentos em um delineamento changeover em dois períodos consecutivos. Cada animal foi alojado em gaiolas para ensaios metabólicos. Duas diferentes dietas foram utilizadas no experimento, sendo a dieta A, formulada para atender 100% das exigências em aminoácidos digestíveis e dieta B, formulada para atender 80% das exigências em aminoácidos digestíveis. As dietas compuseram 4 tratamentos: Tratamento AA, dieta A, fornecida o período do dia e da noite, durante todo o período experimental; Tratamento AB, dieta A fornecida no período das 7:00 AM até as 7:00 PM e dieta B fornecida 7:00 PM até as 7:00 AM, durante o período experimental; Tratamento BA, dieta B fornecida no período das 7:00 AM até as 7:00 PM e dieta A fornecida 7:00 PM até as 7:00 AM, durante o período experimental; Tratamento BB, dieta B, fornecida o período do dia e da noite, durante todo o período experimental. Os animais foram mantidos nas gaiolas metabólicas por 12 dias consecutivos, sendo 7 dias de adaptação à dieta e ao ambiente, seguido de 5 dias de coleta. Não foram detectados efeitos da alimentação sequencial e da redução de aminoácidos na dieta sobre o peso final, consumo diário de ração, consumo de ração nos períodos diurno e noturno, ganho de peso diário e conversão alimentar. A ingestão de lisina digestível foi influenciada pela alimentação sequencial e pela redução no teor de aminoácidos da dieta. O consumo de lisina também foi estatisticamente diferente nos turnos de avaliação. Os animais submetidos à alimentação sequencial não foram mais ou menos eficientes que os tratamentos AA e BB em utilizar a lisina para incrementar peso nos suínos. Os coeficientes de metabolizabilidade da matéria seca, metabolizabilidade energia bruta e de

digestibilidade proteína bruta não foram influenciados pela alimentação sequencial. A ingestão de nitrogênio foi influenciada pela alimentação sequencial, mas não houve diferença na excreção e retenção de nitrogênio, comparado ao tratamento controle. A alimentação sequencial mantém o potencial de retenção de nitrogênio de uma dieta convencional, sem alterar os coeficientes de digestibilidade da dieta e o desempenho zootécnico. O fornecimento da dieta deficiente em aminoácidos durante o período da noite parece ser a melhor escolha para otimizar retenção de nitrogênio ao aplicar a estratégia de alimentação sequencial.

Palavras-chave: aminoácidos, balanço do nitrogênio, manejo alimentar, suinocultura

Introdução

Os sistemas de produção de suínos buscam otimizar o ganho de peso e a conversão alimentar. Umadas estratégias para maximização do desempenho é a formulação de dietas com margens de segurança no fornecimento de aminoácidos, de modo a atender as exigências dos animais com maior demanda nutricional. Entretanto, issotem se demonstrado pouco efetivo, uma vez que não apresenta resultados consistentes sobre o desempenho dos animais (Rossi et al., 2013), além de reduzir a eficiência de utilização do nitrogênio dietético (Jean DitBailleul et al., 2001; Sirri e Meluzzi, 2012) e aumentar os custos de formulação sem modificações relevantes na margem de lucro.

O uso de diferentes esquemas nutricionais que otimizem o fornecimento e a utilização de aminoácidos tem demonstrado resultados favoráveis (O'connell et al., 2005; Pomar et al., 2009; Rossi et al., 2013). Em sistemas de produção avícola, uma estratégia que tem sido explorada é a alimentação sequencial (AS) (Gous e Du Preez, 1975). A AS consiste no fornecimento de dietas com diferentes conteúdos nutricionais de maneira alternada por um determinado período de tempo. Algumas pesquisas têm reportado que AS tem efeito

positivo sobre o bem-estar e qualidade da carcaça sem prejuízos ao desempenho de frangos de corte (Bizeray et al., 2002; Leterrier et al., 2008). Além disso, a AS parece ter potencial para modular o crescimento (Bouvarel et al., 2004) e melhorar a eficiência de utilização do nitrogênio dietético. Em suínos, a utilização de tal ferramenta nutricional com estratégia de aumentar a eficiência de utilização do nitrogênio dietético não tem sido relatada.

Em suínos supõe-se que a utilização da alimentação sequencial poderia ser uma estratégia para melhorar a eficiência de utilização dos aminoácidos da dieta pela maior conservação dos aminoácidos limitantes através da supressão da oxidação. Esse manejo alimentar pode modular o tipo de tecido depositado e a eficiência de retenção de nitrogênio pelos animais. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar o efeito da alimentação sequencial sobre o desempenho, a digestibilidade dos componentes da dieta e a eficiência de retenção do nitrogênio dietético em suínos.

Material e métodos

O ensaio experimental foi realizado no Laboratório de Ensino Zootécnico da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dezesesseis suínos machos castrados oriundos de cruzamentos industriais, com peso médio inicial de 30 kg e 70 dias de idade foram distribuídos em um delineamento experimental change-over em dois períodos consecutivos (Gill e Magee, 1976). Os animais foram divididos em 4 tratamentos com 4 repetições por tratamento 2 dois períodos experimentas, com o animal sendo a unidade experimental. Os suínos foram alojados em gaiolas para ensaios metabólicos, medindo 50 cm de largura, 135 cm de comprimento e 85 cm de altura, equipadas com bebedouro automático e comedouro manual. A sala é equipada com iluminação e ventilação mecânica. Os animais tiveram livre acesso a água.

Duas diferentes dietas foram utilizadas no experimento, sendo a dieta A, formulada para atender 100% das exigências em aminoácidos digestíveis de acordo com as recomendações das Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (Rostagno et al., 2011) e dieta B, formulada para atender 80% das exigências em aminoácidos digestíveis recomendadas pela Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (Rostagno et al., 2011), ambas formuladas a base de milho e farelo de soja, com base no conceito de proteína ideal (Tabela 1). As dietas compuseram 4 tratamentos: Tratamento AA, dieta A, fornecida o período do dia e da noite, durante todo o período experimental; Tratamento AB, dieta A fornecida no período das 7:00 AM até as 7:00 PM e dieta B fornecida 7:00 PM até as 7:00 AM, durante o período experimental; Tratamento BA, dieta B fornecida no período das 7:00 AM até as 7:00 PM e dieta A fornecida 7:00 PM até as 7:00 AM, durante o período experimental; Tratamento BB, dieta B, fornecida o período do dia e da noite, durante todo o período experimental. As dietas foram formuladas a base de milho e farelo de soja. Os animais receberam alimento à vontade de forma a não prejudicar o consumo voluntário e um possível ajuste no consumo em função da concentração nutricional. Ao final do experimento, a ingestão observada de nutrientes foi comparada a ingestão preconizada com base nas equações de estimativa de ingestão de lisina digestível das Tabelas Brasileiras (Rostagno et al., 2011).

Os animais foram mantidos nas gaiolas metabólicas por 12 dias consecutivos, sendo 7 dias de adaptação à dieta e ao ambiente, seguido de 5 dias de coleta. Os animais foram pesados no início do período de adaptação, no início do período de coletas e no final do período de coletas. O consumo diário de ração foi determinado de acordo com o total de ração fornecido menos as sobras diárias presentes nos comedouros. O ganho de peso diário foi medido através de pesagens no início e no final do experimento. A conversão

alimentar foi estimada pelas variáveis anteriores. A urina foi drenada para recipientes contendo 1ml de H_2SO_4 com concentração de 1M. As coletas de urina foram realizadas 2 vezes ao dia em intervalos regulares de 12 horas, sendo a primeira coleta imediatamente antes do arraçoamento das 7:00 AM e a segunda coleta imediatamente antes do arraçoamento das 7:00 PM. Uma alíquota de 20% do total produzido de urina foi coletada e armazenada sob congelamento à -16°Celsius .

Durante os 5 dias de coleta, as fezes foram coletadas uma vez ao dia seguindo a metodologia de coleta total de excretas proposta por Sakomura e Rostagno (2007). Após a coleta e homogeneização, uma alíquota de 20% foi armazenada sob congelamento à -16°Celsius . O início e o término das coletas de fezes foram marcados pelo aparecimento de fezes coloridas pelo óxido de ferro (Fe_2O_3 ; 0,3% da dieta) fornecido nas refeições. Após descongeladas, as amostras foram homogeneizadas e foi adicionado 1 ml de HCl para evitar as perdas de nitrogênio. Após as amostras foram secas em estufa de ar forçado à 60°C por 72 horas e moídas em moinho de martelos com peneira de 1mm. As alíquotas de urina coletadas foram homogeneizadas e uma amostra de 25 ml foi colocada em tubo Falcon e encaminhada ao laboratório para análise de nitrogênio e matéria seca.

As análises foram realizadas de acordo com AOAC Official Methods of Analysis (1995) para matéria seca (MS), cinzas (CZ), proteína bruta (PB), energia bruta (EB). A energia bruta da urina foi estimada com base em 9,17 kcal/g N urinário, proposto por Morgan et al. (1975). A partir dos laudos laboratoriais (teores de MS, EB, PB, nitrogênio urinário) utilizou-se a metodologia proposta por Sakomura e Rostagno (2007), para determinação dos coeficientes de metabolizabilidade da matéria seca (CMMS), da energia bruta (CMEB), coeficiente de digestibilidade da proteína (CDPB), nitrogênio

ingerido (NING), nitrogênio retido (NRET), nitrogênio excretado (NEXC) e eficiência de utilização do nitrogênio (EUN).

Os dados foram submetidos à análise de variância univariada. Para comparar os tratamentos, as variáveis que apresentaram normalidade foram avaliadas considerando o efeito fixo de tratamento e os efeitos aleatórios do resíduo, utilizando o procedimento MIXED do SAS, versão 9.4. Foi realizado teste de seleção de estruturas, utilizando o critério de informação bayesiano (BIC). Quando observadas diferenças, as médias entre os tratamentos e dias de avaliação foram comparadas utilizando o recurso LSMEANS. O critério de significância foi considerado como $P < 0.05$.

Resultados e discussão

Os resultados de desempenho, consumo de ração, consumo de lisina e relação entre ganho de peso e lisina ingerida estão apresentados na tabela 2. Não foram detectados efeitos ($P > 0.05$) da alimentação sequencial e da redução de aminoácidos na dieta sobre o peso final, consumo de ração diário, consumo de ração nos períodos diurno e noturno, ganho de peso diário e conversão alimentar. Chiba et al. (1994), Fabian et al. (2002) e Fabian et al. (2004) estudando restrições precoces seguidas de reabilitação de níveis de aminoácidos também observaram respostas semelhantes ao presente estudo. Gattás et al. (2011) estudando o efeito da redução do teor de proteína bruta sem a suplementação de aminoácidos também não observaram efeito significativo sobre o consumo de ração, assim como Haese et al. (2011). Em ambos estudos, houve redução do nível de proteína bruta, acompanhado dos níveis de aminoácidos digestíveis, similarmente ao presente estudo, que se diferencia pelo fornecimento alternado de dietas com diferentes teores de aminoácidos.

Experimentos como os de Le Bellego (2001), Figueroa et al. (2002) e Otto et al. (2003), com redução no teor de proteína dietética, mas suplementação de aminoácidos para manter a relação de proteína ideal apresentaram reduções na ingestão de alimento com a redução do teor de proteína. Embora tenham propósitos semelhantes, de avaliar a redução da ingestão de proteína bruta sobre desempenho e eficiência de utilização do nitrogênio dietético, esses estudos não reduziram o fornecimento de aminoácidos digestíveis, ao contrário do presente estudo que reduziu em 20% o teor aminoacídico. No presente estudo, a relação de aminoácidos, levando em consideração o conceito de proteína ideal, foi respeitado apesar da diferença entre a concentração de lisina e demais aminoácidos na dieta experimental. D'Mello, (1993) e Kerret al. (2003) tem reportado que dietas com aminoácidos não balanceados podem resultar em redução no consumo de ração em suínos.

A ingestão de lisina digestível (Tabela 2) foi influenciada pela alimentação sequencial e pela redução no teor de aminoácidos da dieta ($P < 0.01$). Os animais dos tratamentos AB e BA consumiram 10,6% e 19,4% menos lisina do que o tratamento AA, respectivamente. Os animais do tratamento BB consumiram 25% menos lisina que o tratamento alimentado exclusivamente com a dieta A. Considerando que a dieta BB tinha uma redução de 20% no conteúdo de lisina, estes resultados mostram uma certa dificuldade dos suínos em ajustar o consumo para aumentar a ingestão de lisina. O consumo de lisina também foi estatisticamente diferente nos turnos de avaliação. Durante o dia, os tratamentos AA e AB consumiram 36% mais lisina do que os tratamentos BA e BB que consumiram nesse período exclusivamente a dieta B, com 20% de deficiência de aminoácidos. Já durante a noite, o consumo de lisina dos tratamentos AA e BA, consumindo apenas dieta A foi, em média, 22% superior ao consumo de lisina nos tratamentos AB e BB, consumindo dieta

B. Entretanto, não houve diferença entre os tratamentos AB e BA durante a noite, apesar da amplitude da diferença, 12% superior para o tratamento AB.

Como não foi observada variação significativa no consumo diário de ração no presente experimento, e as concentrações de lisina variaram de acordo com a dieta experimental, pode-se inferir que a redução na ingestão diária de lisina está diretamente relacionada ao nível de lisina das rações e que não houve incremento adaptativo no consumo de alimento. Resultados semelhantes são observados nos estudos de Donzele et al. (1994), Abreu et al. (2007), Gattás et al. (2011), Haese et al. (2011) que trabalharam com níveis crescentes de lisina digestível para suínos em crescimento, mantendo a relação com os demais aminoácidos.

Segundo Rostagno et al. (2011), a ingestão de lisina digestível estimada para linhagens genéticas de alto desempenho aos 30 kg de peso vivo é 16.74 g/dia. Ao compararmos com a ingestão média de nosso estudo, os animais dos tratamentos AA, AB e BA consumiram praticamente o teor de lisina que garantiria o atingimento dos níveis preconizados para pleno desempenho. Nesse aspecto a alimentação sequencial seria uma ferramenta em potencial para garantir desempenho satisfatório com menor ingestão de diária de lisina. Entretanto, o tratamento BB consumiu 11% de lisina a menos que o preconizado, mas sem efeitos sobre o ganho de peso nesse tratamento. A explicação para isso pode estar relacionada ao potencial genético que pode ter sido superestimado para o estudo, ou por conta do tempo em que os animais estiveram no experimento, que não foi o suficiente para maiores impactos da menor ingestão de lisina sobre o desempenho.

Na análise do ganho de peso em relação à ingestão de lisina, é possível observar que o tratamento BB foi 37% mais eficiente do que o tratamento AA, em utilizar a lisina ingerida para converter em ganho de peso. Os animais submetidos à alimentação

sequencial não foram estatisticamente ($P > 0.05$) mais ou menos eficientes que os tratamentos AA e BB em utilizar a lisina para incrementar peso nos suínos. Resultados semelhantes foram relatados por Kamalakuret al. (2009), que trabalharam restrição precoce de aminoácidos dietéticos seguidos de realimentação em suínos em crescimento.

Os resultados observados podem ser atribuídos à um efeito poupador de aminoácidos quando suínos são alimentados com dietas deficientes em aminoácidos (Chiba et al., 1991). Medidas de oxidação de lisina têm demonstrado que a taxa de oxidação da lisina é menor quando o consumo deste aminoácido é reduzido, indicando um uso mais eficiente da lisina ingerida. O consumo inadequado de proteína ou aminoácidos também tem reduzido a oxidação de aminoácidos, bem como o turnover proteico. Em frangos de corte, a privação de alimento induz a rápidos ajustes na síntese proteica e na lipogênese, sobretudo quando ocorrem alterações na concentração proteica (Nir et al., 1996). Similarmente uma ação poupadora de aminoácidos tem sido reportada em ratos em resposta a privação de proteína (Schreurs et al., 1985).

A hipótese para esse fenômeno metabólico está na taxa de turnover proteico que pode variar rapidamente com a necessidade de se formar novas proteínas em diferentes partes do corpo. Usualmente, após a refeição ocorre um aumento instantâneo nas concentrações de aminoácidos no plasma, mas esse aumento é pequeno em função da velocidade de digestão da proteína. Em suínos, aumento da concentração de aminoácidos no sangue ocorre 2 a 3 horas após a refeição (Cai et al., 1994). Após entrarem no sangue, os aminoácidos são absorvidos por praticamente todas as células do corpo e ligados entre si por ligações peptídicas para formar proteína corporal. Entretanto, muitas proteínas intracelulares são decompostas novamente em aminoácidos por enzimas digestivas lisossômicas. Esses aminoácidos são transportados novamente para fora da célula e

provavelmente formarão novas proteínas em outras partes do corpo (Guyton e Hall, 2006).

Os coeficientes de metabolizabilidade da matéria seca (CMMS), metabolizabilidade energia bruta (CMEB) e de digestibilidade proteína bruta (CDPB) não foram influenciados ($P > 0.05$) pela alimentação sequencial e tampouco pela redução dos aminoácidos da dieta. A literatura reporta que a redução na ingestão de compostos nitrogenados reduz as perdas energéticas, principalmente via urina e produção de calor, e melhora a digestibilidade (Le Bellego et al., 2001), além de reduzir a taxa de deaminação, que tem baixa eficiência na transformação de energia (Fuller et al., 1987). De acordo com Noblet et al. (1987) e Roth et al. (1999), dietas com baixo teor de proteína têm sido associadas com redução das perdas energéticas. Em geral, o aumento do consumo ou fornecimento de proteína dietética aumenta a taxa de turnover proteico (Reeds et al., 1981; Van Milgen et al., 2001) e se relacionam com o aumento da produção de calor. Entretanto, no presente estudo não foi possível observar aumento significativo no aproveitamento da energia com a redução do teor de proteína bruta. A explicação para isso pode estar na quantidade de proteína reduzida.

A ingestão de nitrogênio (Tabela 3) foi influenciada pela alimentação sequencial e pela redução do conteúdo de aminoácidos dietético ($P < 0.01$), o que é coerente com a literatura (Le Bellego et al., 2001; Figueroa et al., 2002; Otto et al., 2003; Oliveira et al., 2007). A ingestão diurna de nitrogênio dos tratamentos que ingeriram a dieta A foi, em média, 25% superior aos tratamentos que consumiram dieta B. No turno da noite, o consumo de nitrogênio na dieta A foi, em média, 12% superior aos animais submetidos à dieta B. Os dados de consumo de nitrogênio comportaram-se de maneira semelhante ao do consumo de lisina, o que já era esperado. Da mesma forma que a lisina, o menor consumo de

nitrogênio pelos suínos submetidos à alimentação sequencial e os suínos alimentados exclusivamente com a dieta B pode ser atribuída à menor concentração de aminoácidos, sobretudo a lisina nas dietas. A excreção total e urinária de nitrogênio não foi influenciada pelos tratamentos experimentais ($P>0.05$). Apenas foi observada menor excreção de nitrogênio fecal no tratamento BA em comparação aos tratamentos AA e AB. Figueroa et al. (2002), estudando redução do nitrogênio da dieta, com ou sem suplementação de aminoácidos, como ferramenta para reduzir o potencial poluente dos dejetos, observaram que a redução da concentração de proteína sem suplementação de aminoácidos não influenciou a excreção de nitrogênio urinário. Esses resultados nos indicam que manejos alimentares que visam reduzir a proteína dietética sem suplementação de aminoácidos, como a alimentação sequencial, parecem não ser uma ferramenta em potencial para redução do poder poluente dos dejetos.

A eficiência de utilização do nitrogênio não foi alterada ($P>0.05$) pela alimentação sequencial e também pela redução do teor de proteína dietética. O tratamento AB, com alimentação sequencial, reteve quantidades de nitrogênio estatisticamente semelhantes ao tratamento AA, alimentado exclusivamente com dieta que atende as exigências de aminoácidos. Já os tratamentos BA e BB tiveram valor de nitrogênio retido piores que o tratamento AA. A ordem de fornecimento da dieta deficiente em aminoácidos não influenciou a retenção de nitrogênio. Os resultados de eficiência de utilização do nitrogênio e nitrogênio retido são semelhantes aos encontrados na literatura (Figueroa et al., 2002; Otto et al., 2003; Almeida et al., 2011). Em algumas situações, observa-se menor retenção de nitrogênio quando a redução de proteína é significativa, ou seja, quando três ou quatro aminoácidos sintéticos são adicionados à ração (D'Mello, 2003). Kerret et al. (2003), verificaram que a redução do teor de proteína das rações de suínos em

crescimento pode ser reduzida em até quatro pontos percentuais sem alterações no ganho de peso, conversão alimentar e concentração de proteína e lipídios da carcaça, desde que não haja deficiências de aminoácidos essenciais, o que não é o propósito desse estudo.

Roth et al. (1999), utilizando dietas purificadas, estudaram relações entre ingestão de nitrogênio por quilograma de peso metabólico e verificaram que para combinar máxima retenção e mínima excreção de nitrogênio, a quantidade diária mínima de nitrogênio ingerida deve ser de 2 g.kg^{-1} de $\text{PV}^{0.75}$. Resultados semelhantes foram obtidos por Leniset al. (1999) utilizando suínos castrados com 45 quilos de peso vivo. Esses autores verificaram que o consumo diário de nitrogênio inferior a dois gramas de nitrogênio por quilo de peso metabólico foi insuficiente para a máxima retenção de nitrogênio. No presente estudo, a menor relação foi observada no tratamento BB, com 2.065 g.kg^{-1} $\text{PV}^{0.75}$. É provável que linhagens genéticas mais modernas necessitem de maiores quantidades de nitrogênio e valores próximos a 2 g.kg^{-1} de $\text{PV}^{0.75}$ podem ser limitadores para a máxima retenção de nitrogênio.

De maneira geral, a alimentação parece ser uma estratégia alimentar em potencial para otimizar o nitrogênio dietético. No que tange à eficiência de utilização da lisina digestível em relação ao ganho de peso, a alimentação sequencial tem potencial para otimizar essa relação, em virtude da menor ingestão e da menor concentração desse aminoácido quando a dieta é manipulada. Entretanto, ajustes na relação de aminoácidos são importantes de modo a evitar eventuais problemas relacionados ao consumo de ração, conforme citado por D'Mello (1993) e Kerret al. (2003). No que diz respeito à retenção de nitrogênio, a estratégia de alimentação sequencial mostrou que é possível manter retenções de nitrogênios semelhantes à dieta convencional, com menor ingestão de nitrogênio dietético, sendo uma ferramenta potencial para melhorar a eficiência de utilização do

nitrogênio. O fornecimento de uma dieta com baixos teores de aminoácidos em sistemas de alimentação sequencial parece ser mais eficiente na retenção de nitrogênio quando fornecidos durante o período da noite, o que pode ter relação com orítmo circadiano da utilização do nitrogênio, supondo que possa existir uma maior secreção de enzimas e sucos gástricos responsáveis por aumentar a digestão, além de outros mecanismos relacionados à modulação da permeabilidade e da capacidade de absorção de nutrientes pelos enterócitos e modulação da taxa de turnover proteico (Tulis, 1986; Wykes, 1996; Chiba et al., 1995; Fabian et al., 2004). Relatos semelhantes também são reportados em frangos de corte submetidos a restrições proteicas (Zhan et al., 2007). Outro componente que tem grande importância na alimentação diz respeito ao custo das dietas e a alimentação pode permitir reduções no uso de ingredientes nobres e utilização de ingredientes alternativos, dependendo da conjuntura técnico-econômica. Isso pode auxiliar na redução custos de alimentação sem impactos significativamente negativos sobre o desempenho. Embora no presente estudo a alimentação sequencial não promoveu reduções importantes na excreção de nitrogênio, é possível que tal estratégia tenha potencial de reduzir da emissão de nitrogênio, devendo ser mais explorada para esse fim.

Conclusões

A alimentação sequencial mantém o potencial de retenção de nitrogênio de uma dieta convencional, sem alterar os coeficientes de digestibilidade da dieta e o desempenho zootécnico. O fornecimento da dieta deficiente em aminoácidos durante o período da noite parece ser a melhor escolha para otimizar retenção de nitrogênio ao aplicar a estratégia de alimentação sequencial.

Referências bibliográficas

- Association of Official Analytical Chemists International - AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. 16 ed. Arlington.
- Bizeray, D., Leterrier, C., Constantin, P., Picard, M., Faure, J. M. (2002). Sequential feeding can increase activity and improve gait score in meat-type chickens. *Poultry Science*, 81(12), 1798-1806.
- Bouvarel, I., Barrier-Guillot, B., Larroude, P., Boutten, B., Leterrier, C., Merlet, F., Vilariño, M., Roffidal, L., Tesseraud, S., Castaing, J., Picard, M. (2004). Sequential feeding programs for broiler chickens: twenty-four-and forty-eight-hour cycles. *Poultry Science*, 83(1), 49-60.
- Cai, Y., Zimmerman, D. R., Ewan, R. C. (1994). Diurnal variation in concentrations of plasma urea nitrogen and amino acids in pigs given free access to feed or fed twice daily. *The Journal of Nutrition*, 124(7), 1088-1093.
- Chiba, L. I. (1994). Effects of dietary amino acid content between 20 and 50 kg and 50 and 100 kg live weight on the subsequent and overall performance of pigs. *Livestock Production Science*, 39(2), 213-221.
- Chiba, L. I., Lewis, A. J., Peo, E. R. (1991). Amino acid and energy interrelationships in pigs weighing 20 to 50 kilograms: I. Rate and efficiency of weight gain. *Journal of Animal Science*, 69(2), 694-707.
- DitBailleul, P. J., Rivest, J., Dubeau, F., Pomar, C. (2001). Reducing nitrogen excretion in pigs by modifying the traditional least-cost formulation algorithm. *Livestock Production Science*, 72(3), 199-211.
- D'Mello, J. F. (2003). *Amino acids in animal nutrition* (No. Ed. 2). CABI publishing.
- D'Mello, J. P. F. (1993). Amino acid supplementation of cereal-based diets for non-ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 45(1), 1-18.

- Donzele, J., Freitas, R., Oliveira, R. (1994). Níveis de lisina para leitoas de 30 a 60 kg de peso vivo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 24(6), 967-973.
- Fabian, J., Chiba, L. I., Frobish, L. T., McElhenney, W. H., Kuhlers, D. L., Nadarajah, K. (2004). Compensatory growth and nitrogen balance in grower-finisher pigs. *Journal of Animal Science*, 82(9), 2579-2587.
- Fabian, J., Chiba, L. I., Kuhlers, D. L., Frobish, L. T., Nadarajah, K., Kerth, C. R., McElhenney, W. H., Lewis, A. J. (2002). Degree of amino acid restrictions during the grower phase and compensatory growth in pigs selected for lean growth efficiency. *Journal of Animal Science*, 80(10), 2610-2618.
- Figuroa, J. L., Lewis, A. J., Miller, P. S., Fischer, R. L., Gómez, R. S., Diedrichsen, R. M. (2002). 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*, 80(11), 2911-2919.
- Fuller, M. F., Reeds, P. J., Cadenhead, A., Seve, B., Preston, T. (1987). Effects of the amount and quality of dietary protein on nitrogen metabolism and protein turnover of pigs. *British Journal of Nutrition*, 58(02), 277-285.
- Almeida, E. C., Zangeronimo, M. G., Fialho, E. T., Cantarelli, V. S., Wolp, R. C., Rodrigues, V. V. (2011). Desempenho e balanço de nitrogênio de suínos em terminação que receberam dieta restrita ou à vontade, com diferentes teores de lisina. *Arquivo Brasileiro Medicina Veterina e Zootecnia*, 63(6), 1519-1525.
- Gattas, G., Silva, F. C. O., Barbosa, F. F., Donzele, J. L., Ferreira, A. S., Oliveira, R. F. M. (2012). Níveis de lisina digestível em dietas para suínos machos castrados dos 60 aos 100 dias de idade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41(1), 91-97.

- Gill, J. L. & Magee, W. T. (1976). Balanced two-period changeover designs for several treatments. *Journal of Animal Science*, 42(3), 775-777.
- Gous, R. M. & Du Preez, J. J. (1975). The sequential feeding of growing chickens. *British Journal of Nutrition*, 34(01), 113-118.
- Guyton, A. C., Hall, J. E., Zocchi, L., Aicardi, G. (2006). *Fisiología médica* (Vol. 11). Elsevier.
- Haese, D., Donzele, J. L., Oliveira, R. F. M. D., Saraiva, A., Oliveira Silva, F. C. D., Kill, J. L., Abreu, M. L. T. D. (2011). Digestible lysine for barrows of genetic lines selected for meat deposition from 60 to 100 days of age. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(9), 1941-1946.
- Kamalakar, R. B., Chiba, L. I., Divakala, K. C., Rodning, S. P., Welles, E. G., Bergen, W. G., Kerth, C. R., Kuhlert, D. L., Nadarajah, N. K. (2009). Effect of the degree and duration of early dietary amino acid restrictions on subsequent and overall pig performance and physical and sensory characteristics of pork. *Journal of Animal Science*, 87(11), 3596-3606.
- Kerr, B. J., Southern, L. L., Bidner, T. D., Friesen, K. G., Easter, R. A. (2003). Influence of dietary protein level, amino acid supplementation, and dietary energy levels on growing-finishing pig performance and carcass composition. *Journal of Animal Science*, 81(12), 3075-3087.
- Le Bellego, L., Van Milgen, J., Dubois, S., Noblet, J. (2001). Energy utilization of low-protein diets in growing pigs. *Journal of Animal Science*, 79(5), 1259-1271.
- Lenis, P. N.; Diepen, H. T. M. Van; Bikker, P.; Jongbloed, A. W.; Meulen, J. V. D. (1999). Effects of the ratio between essential and nonessential amino acids in the

diet on utilization of nitrogen and amino acids by growing pigs. *Journal of Animal Science*, 77(3), 1777-1787.

Leterrier, C., Vallée, C., Constantin, P., Chagneau, A. M., Lessire, M., Lescoat, P., Berri, C., Baéza, E., Bizeray, D., Bouvarel I. (2008). Sequential feeding with variations in energy and protein levels improves gait score in meat-type chickens. *Animal*, 2(11), 1658-1665.

Morgan, D. J., Cole, D. J. A., Lewis, D. (1975). Energy values in pig nutrition: I. The relationship between digestible energy, metabolizable energy and total digestible nutrient values of a range of feedstuffs. *The Journal of Agricultural Science*, 84(01), 7-17.

Nir, I., Nitsan, Z., Dunnington, E. A., Siegel P. B. 1996. Aspects of food intake restriction in young domestic fowl: metabolic and genetic considerations. *World's Poultry Science Journal*, 52:251-266.

Noblet, J., Henry, Y., Dubois, S. (1987). Effect of protein and lysine levels in the diet on body gain composition and energy utilization in growing pigs. *Journal of Animal Science*, 65(3), 717-726.

O'Connell, M. K., Lynch, P. B., O'Doherty, J. V. (2005). A comparison between feeding a single diet or phase feeding a series of diets, with either the same or reduced crude protein content, to growing finishing pigs. *Animal Science*, 81(2), 297-303.

Oliveira, V., Fialho, E. T., Lima, J. A. F., Araujo, J. S. (2007). Metabolismo do nitrogênio em suínos alimentados com dietas contendo baixos teores de proteína bruta. *Revista Brasileira de Agrociência*, 13(2), 257-260.

Otto, E. R., Yokoyama, M., Hengemuehle, S., Von Bermuth, R. D., Van Kempen, T., Trottier, N. L. (2003). Ammonia, volatile fatty acids, phenolics, and odor

offensiveness in manure from growing pigs fed diets reduced in protein concentration. *Journal of Animal Science*, 81(7), 1754-1763.

- Pomar, C., Hauschild, L., Zhang, G. H., Pomar, J., Lovatto, P. A. (2009). Applying precision feeding techniques in growing-finishing pig operations. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(SPE), 226-237.
- Reeds, P. J., Fuller, M. F., Cadenhead, A., Lobley, G. E., McDonald, J. D. (1981). Effects of changes in the intakes of protein and non-protein energy on whole-body protein turnover in growing pigs. *British journal of nutrition*, 45(03), 539-546.
- Rossi, C. A. R., Lovatto, P. A., Lehnen, C. R., Fraga, B. N., Lovato, G. D., Ceron, M. S. (2013). Dietas ajustadas para suínos através do modelo InraPorc[®]: desempenho, características de carcaça e impacto econômico. *Ciência Rural*, 43(4), 689-695.
- Rostagno, H. S., Albino L. F. T., Donzele, J. L., Gomes, P. C., Oliveira, R. F., Lopes, D. C., Ferreira, A. S., Barreto, S. L. T., Euclides, R. F. (2011). Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. Viçosa: Editora UFV - Universidade Federal de Viçosa. 252p.
- Roth, F. X., Gotterbarm, G. G., Windisch, W., Kirchgessner, M. (1999). Influence of dietary level of dispensable amino acids on nitrogen balance and whole-body protein turnover in growing pigs. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 81(1), 232-238.
- Sakomura, N. K. & Rostagno, H. S. (2007). Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. Jaboticabal: Funep. 283 p.
- Schreurs, V. V. A. M., Mensink, G., Boekholt, H. A., Koopmanschap, R. E. (1985). Relation of protein synthesis and amino acid oxidation: effects of protein deprivation. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 33(3), 328-331.

- Sirri, F. & Meluzzi, A. (2012). Effect of sequential feeding on nitrogen excretion, productivity, and meat quality of broiler chickens. *Poultry Science*, 91(2), 316-321.
- Tullis, J. B., Whittemore, C. T., Phillips, P. (1986). Compensatory nitrogen retention in growing pigs following a period of N deprivation. *British Journal of Nutrition*, 56(01), 259-267.
- Van Milgen, J., Noblet, J., Dubois, S. (2001). Energetic efficiency of starch, protein and lipid utilization in growing pigs. *The Journal of Nutrition*, 131(4), 1309-1318.
- Wykes, L. J., Fiorotto, M., Burrin, D. G., Del Rosario, M. (1996). Chronic low protein intake reduces tissue protein synthesis in a pig model of protein malnutrition. *The Journal of Nutrition*, 126(5), 1481.
- Zhan, X. A., M. Wang, H. Ren, R. Q. Zhao, J. X. Li, and Z. L. Tan. 2007. Effect of early feed restriction on metabolic programming and compensatory growth in broiler chickens. *Poultry Science*, 86:654–660

Tabela 1. Ingredientes e composição nutricional das dietas experimentais

Ingredientes		Dieta A	Dieta B
Milho	%	72.86	79.50
Farelo soja	%	24.05	17.64
Óleo de soja	%	0.30	0.13
Fosfato monobicálcico	%	1.09	1.14
Calcário calcítico	%	0.84	0.85
Sal comum	%	0.40	0.40
L-Lisina HCl	%	0.23	0.19
DL-Metionina	%	0.05	0.01
L-Treonina	%	0.04	
Premix vitamínico ¹	%	0.09	0.09
Premix mineral ²	%	0.05	0.05
Energia Metabolizável	Mcal/kg	3.23	3.23
Proteína Bruta	%	16.87	14.41
Lisina digestível	%	0.92	0.74
Metionina digestível	%	0.29	0.22
Metionina+Cistinadigestível	%	0.54	0.45
Treonina digestível	%	0.60	0.48
triptofanodigestível	%	0.17	0.14
Arginina digestível	%	1.01	0.83
Valina digestível	%	0.70	0.60
Isoleucinadigestível	%	0.62	0.52
Leucina digestível	%	1.39	1.25
Histidina digestível	%	0.42	0.36
Cálcio	%	0.63	0.63
Fósforo total	%	0.52	0.51
Fósforo digestível	%	0.32	0.31
Potássio	%	0.65	0.55
Sódio	%	0.18	0.18
Cloro	%	0.30	0.30
Fibra Bruta	%	2.53	2.31
Matéria seca	%	87.30	87.31
Extrato etéreo	%	3.37	3.33
Matéria mineral	%	4.68	4.45

¹Composição premix vitamínico (por kg de ração) = Vit. A: 9375 UI; Vit. D3: 2375 UI; Vit. E: 35 UI, Vit. K3: 1,88 mg; Vit. B1: 2,50 mg; Vit. B2: 6,25 mg; Vit. B6: 3,5 mg; Vit. B12: 0,015 mg; Ácido Pantotênico: 12,5 mg; Ácido Nicotínico: 37,5 mg; Ácido Fólico: 0,875 mg; Biotína: 0,088 mg. ²Composição premix mineral (mg/kg de ração) = manganês: 88; zinco: 81,3; ferro: 62,5; cobre: 12,5; iodo: 1,25; selênio: 0,375.

Tabela 2. Efeito da alimentação sequencial sobre o peso vivo final (PVF), consumo de ração diário total (CDR), durante o dia (CDRD) e durante a noite (CDRN), ganho de peso diário (GPD), conversão alimentar (CA), consumo de lisina digestível diário total (CLIST), durante o dia (CLISD) e durante a noite (CLISN) e relação entre ganho de peso e consumo de lisina diário (GPD:CLIS) em suínos em crescimento.

Variáveis	Tratamentos				SEM	P-valor
	AA	AB	BA	BB		
PVI, kg	38.3	37.7	36.3	35.5	2.369	0.82
PVF, kg	46.8	46.5	44.3	44.1	2.523	0.81
CDR, g.d-1	2061	2045	1834	1916	85.39	0.22
CDRD, g.d-1	1025	1005	896	952	40.82	0.14
CDRN, g.d-1	1036	1040	938	963	45.62	0.31
GPD, g.d-1	948	975	886	957	58.94	0.73
CA, g:g	2.21	2.16	2.10	2.00	0.152	0.82
CLIST, g.d-1	18.96a	16.95b	15.27bc	14.18c	0.711	<0.01
CLISD, g.d-1	9.43a	9.25a	6.63b	7.05b	0.343	<0.01
CLISN, g.d-1	9.53a	7.70bc	8.63ab	7.13c	0.378	<0.01
GPD:CLIS, g/g	49.87b	58.35ab	58.49ab	68.28a	4.093	0.03

AA. Dieta A, fornecida durante todo o ciclo de 24 horas; AB. Dieta A fornecida das 7:00AM até as 7:00PM e dieta B fornecida fornecida das 7:00PM até as 7:00AM; BA. Dieta B fornecida das 7:00AM até as 7:00PM e dieta A fornecida fornecida das 7:00 PM até as 7:00 AM e; BB. dieta B fornecida durante todo o ciclo de 24 horas.

Tabela 3. Efeito da alimentação sequencial sobre o coeficiente de metabolizabilidade da matéria seca (CMMS), da energia bruta (CMEB), coeficiente de digestibilidade da proteína bruta (CDPB), nitrogênio diário ingerido total (CNT), durante o dia (CND), durante a noite (CNN), nitrogênio total excretado (NEXC), nitrogênio fecal (NF), nitrogênio urinário (NU), nitrogênio urinário excretado durante o dia (NUD) e durante a noite (NUN), eficiência de utilização do nitrogênio (EUN) e nitrogênio diário retido (NRET) em suínos em crescimento.

Variáveis	Tratamentos				SEM	P-valor
	AA	AB	BA	BB		
CMMS, %	84.10	85.45	85.11	85.75	0.491	0.12
CMEB, %	84.91	85.81	85.67	86.30	0.613	0.46
CDPB, %	83.64	82.14	85.70	83.15	1.321	0.31
CNT, g.d-1	43.31a	40.30ab	36.24bc	35.34c	1.686	0.01
CND, g.d-1	21.54a	21.12a	16.52b	17.57b	0.811	<0.01
CNN, g.d-1	21.76a	19.18b	19.72ab	17.77b	0.897	0.03
NEXC, g.d-1	19.04	17.31	15.08	15.46	1.779	0.39
NF, g.d-1	6.99a	7.22a	5.20b	5.96ab	0.545	0.05
NU, g.d-1	12.05	10.09	9.88	9.49	1.526	0.64
NUD, g.d-1	4.6	4.65	4.05	4.01	0.404	0.54
NUN, g.d-1	7.45	5.43	5.84	5.49	1.169	0.58
EUN, %	56.57	57.54	58.79	56.59	1.246	0.43
NRET, g.d-1	24.26a	22.99ab	21.16bc	19.88c	0.844	<0.01

AA. Dieta A, fornecida durante todo o ciclo de 24 horas; AB. Dieta A fornecida das 7:00AM até as 7:00PM e dieta B fornecida fornecida das 7:00PM até as 7:00AM; BA. Dieta B fornecida das 7:00AM até as 7:00PM e dieta A fornecida fornecida das 7:00 PM até as 7:00 AM e; BB. dieta B fornecida durante todo o ciclo de 24 horas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De maneira geral, em frangos de corte, a alimentação sequencial demonstrou ser uma alternativa alimentar promissora no que diz respeito à manipulação do desempenho e utilização do nitrogênio dietético, além dos demais propósitos já mencionados pela literatura. Em suínos, a alimentação parece ser uma estratégia alimentar em potencial para otimizar o nitrogênio dietético, sem efeitos deletérios aparentes sobre o desempenho zootécnico. No que tange à eficiência de utilização da lisina digestível em relação ao ganho de peso, a alimentação sequencial tem potencial para otimizar essa relação, em virtude da menor ingestão e da menor concentração desse aminoácido quando a dieta é manipulada. Entretanto, ajustes na relação de aminoácidos são importantes de modo a evitar eventuais problemas relacionados ao consumo de ração.

Em um comparativo entre os resultados observados em frangos pode ser observado que frangos de corte se adaptaram de maneira mais eficiente do que suínos ao esquema de alimentação sequencial, da mesma forma que, aparentemente a ingestão de nutrientes em frangos de corte foi muito mais próxima às exigências nutricionais propostas pelas tabelas brasileiras do que em suínos. Outro fato importante de ser relatado é a evidência de crescimento compensatório observado quando os frangos foram realimentados com dieta que atendia às exigências nutricionais. Esse comportamento não foi observado em suínos.

No que diz respeito a retenção de nitrogênio, a estratégia de alimentação sequencial mostrou que é possível manter retenções de nitrogênios semelhantes aos programas convencionais de alimentação, com menor ingestão de nitrogênio dietético, sendo uma potencial ferramenta para melhorar a eficiência de utilização do nitrogênio. O fornecimento de uma dieta baixos teores de aminoácidos parecem ser menos deletérios a retenção de nitrogênio quando fornecidos durante o período da noite, o que pode ter relação com a ritmo circadiano da utilização do nitrogênio, supondo que possa existir uma maior secreção de enzimas e sucos gástricos responsáveis por aumentar a digestão, além de outros mecanismos relacionados à modulação da permeabilidade e da capacidade de absorção de nutrientes pelos enterócitos e modulação da taxa de turnover proteico.

Outro componente que tem grande importância na alimentação diz respeito ao custo das dietas e a alimentação pode permitir reduções no uso de ingredientes nobres e utilização de ingredientes alternativos, dependendo da conjuntura técnico-econômica. Isso pode auxiliar na redução custos alimentação sem impactos significativamente negativos sobre o desempenho. Embora no presente estudo a alimentação sequencial não promoveu reduções importantes na excreção de nitrogênio, é possível que tal estratégia tenha potencial de reduzir a emissão de nitrogênio, devendo ser mais explorada para esse fim.

Como a alimentação sequencial é uma técnica alimentar que visa o fornecimento de diferentes dietas de forma intercalada, ainda serão necessários estudos de viabilidade técnica para implementação em escalas mais amplas. Os

resultados obtidos com o uso da alimentação sequencial em frangos de corte corroboram com grande parte dos dados encontrados na literatura, demonstrando que a estratégia alimentar tem um grande potencial para aplicação em escala maior de produção. Em relação a produção de suínos, a utilização de tal estratégia alimentar parece ter potencial como ferramenta de otimização do uso do nitrogênio dietético. Entretanto, estudos mais aprofundados são necessários, principalmente em nível de desempenho, avaliando o seu uso em diferentes fases alimentares.

REFERÊNCIAS

ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual 2015**. São Paulo, [2015]. 248p.

ADEOLA, O.; COWIESON, A. J. Opportunities and challenges in using exogenous enzymes to improve non-ruminant animal production. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 89, n. 1, p 3189–3218, 2011.

ALLEMAN, F.; LECLERCQ, B. Effect of dietary protein and environmental temperature on growth performance and water consumption of male broiler chickens. **British Poultry Science**, Edinburgh, v. 38, n. 01, p. 607-610, 1997.

AMERAH, A. M. et al. Effect of exogenous xylanase, amylase, and protease as single or combined activities on nutrient digestibility and growth performance of broilers fed corn/soy diets. **Poultry Science**, Champaign, p. 297, 2016.

ANDO, R. et al. Feeding responses to several neuropeptide Y receptor agonists in the neonatal chick. **European Journal of Pharmacology**, Amsterdam, v. 427, n. 1, p. 53-59, 2001.

ARAUJO, L. F. et al. Proteína bruta e proteína ideal para frangos de corte no período de 1 a 21 dias de idade. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 3, n. 2, p. 157-162, 2001.

BARB, C. R. et al. Recombinant porcine leptin reduces feed intake and stimulates growth hormone secretion in swine. **Domestic Animal Endocrinology**, Auburn, v. 15, n. 1, p. 77-86, 1998.

BARBOSA, N. A. A. et al. Enzimas exógenas em dietas de frangos de corte: desempenho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.8, p.1497-1502, p. 1497-1502, 2012.

BARRETERO-HERNANDEZ, R.; GALYEAN, M. L.; VIZCARRA, J. A. The Effect of Feed Restriction on Plasma Ghrelin, Growth Hormone, Insulin, and Glucose Tolerance in Pigs. **The Professional Animal Scientist**, Champaign, v. 26, n. 1, p. 26-34, 2010.

BARRETT, K. E. et al. **Ganong's Review of Medical Physiology**. 23rd ed. McGraw-Hill, 2010. 727 p.

BATTERHAM, E. S. et al. Utilization of ileal digestible amino acids by growing pigs: effect of dietary lysine concentration on efficiency of lysine retention. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 64, n. 01, p. 81-94, 1990.

BERTECHINI, A. G. **Nutrição de monogástricos**. 2.ed. Lavras: UFLA, 2013. 313 p.

BERTHOUD, H. R. Multiple neural systems controlling food intake and body weight. **Neuroscience and Biobehavioral Reviews**, New York, v. 26, n. 4, p. 393-428, 2002.

- BIKKER, P. et al. Digestible lysine requirement of gilts with high genetic potential for lean gain, in relation to the level of energy intake. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 72, n. 7, p. 1744-1753, 1994.
- BIZERAY, D. et al. Sequential feeding can increase activity and improve gait score in meat-type chickens. **Poultry Science**, Champaign, v. 81, n. 12, p. 1798-1806, 2002.
- BLACK, J. L. Modelling energy metabolism in the growing pig—critical evaluation of a simple reference model. In: MOUGHAN, P. J. VERSTEGEN, M.W.A.; VISSER-REIJNEVELD, M.I. (Ed.). **Modelling growth in the pig**. Wageningen: Wageningen Pers, 1995. p. 87–102.
- BLACK, J. L., BRAY, H. J.; GILES, L. R. The thermal and infectious environment. In: KYRIZAKIS, I. (Ed.). **A quantitative biology of the pig**. Wallingford: CABI Publishing, 1999. p. 71–98.
- BLEVINS, J. E.; SCHWARTZ, M. W.; BASKIN, D. G. Peptide signals regulating food intake and energy homeostasis. **Canadian journal of physiology and pharmacology**, Ottawa, v. 80, n. 5, p. 396-406, 2002.
- BOUVAREL, I. et al. Forty-Eight-Hour Cycle Sequential Feeding with Diets Varying in Protein and Energy Contents: Adaptation in Broilers at Different Ages. **Poultry Science**, Champaign, v. 87, n. 1, p. 196-203, 2008.
- BOUVAREL, I. et al. Sequential feeding programs for broiler chickens: twenty-four-and forty-eight-hour cycles. **Poultry Science**, Champaign, v. 83, n. 1, p. 49-60, 2004.
- BRIGANÓ, M. V. et al. Desempenho e características de carcaça de suínos submetidos a diferentes programas de restrição alimentar na fase dos 30 aos 118 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.37, n.8, p.1398-1404, 2008.
- BROSSARD, L. et al. Modelling the variation in performance of a population of growing pig as affected by lysine supply and feeding strategy. **Animal**, Cambridge, v. 3, n. 08, p. 1114-1123, 2009.
- CAI, Y.; ZIMMERMAN, D. R.; EWAN, R. C. Diurnal Variation in Concentrations of Plasma Urea Nitrogen and Amino Acids in Pigs Given Free Access to Feed or Fed Twice Daily. **The Journal of Nutrition**, Rockville, v. 124, n. 7, p. 1088-1093, 1994.
- CAMACHO, M. A. et al. Effect of age of feed restriction and microelement supplementation to control ascites on production and carcass characteristics of broilers. **Poultry Science**, Champaign, v. 83, n. 4, p. 526-532, 2004.
- 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**, Champaign, v. 77, n. 12, p. 3238-3247, 1999.

COLLIN, A. et al. Effect of high temperature on feeding behaviour and heat production in group-housed young pigs. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 86, n. 01, p. 63-70, 2001.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries históricas relativas às safras 1976/77 a 2015/2016 de área plantada, produtividade e produção:** milho e soja. Brasília, 2015.

COSTA, F. G. P. et al. Níveis dietéticos de proteína bruta para frangos de corte, no período de 22 a 42 dias de idade. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 30, n. 5, p. 1498-1505, 2001.

DE LLATA, M. et al. Effects of increasing-lysine HCl in corn-or sorghum-soybean meal-based diets on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 80, n. 9, p. 2420-2432, 2002.

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

D'MELLO, J. P. F. **Amino acids in Animal Nutrition**. 2nd ed. Wallingford: CABI publishing, 2003, 515 p.

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

EMMANS, G. C. Diet selection by animals: theory and experimental design. **Proceedings of the Nutrition Society**, London, v. 50, n. 01, p. 59-64, 1991.

FARUK, M. U. et al. Sequential feeding using whole wheat and a separate protein-mineral concentrate improved feed efficiency in laying hens. **Poultry Science**, Champaign, v. 89, n. 4, p. 785-796, 2010.

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**, Champaign, v. 80, n. 11, p. 2911-2919, 2002.

FORBES, J. M. et al. **The voluntary food intake of pigs**. Edinburgh: Occasional Publication of the British Society of Animal Production, 1989. 123 p.

FRAGA, A. L. et al. Avaliação econômica do uso da restrição alimentar qualitativa para suínos com elevado peso de abate. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1050-1054, 2008.

FRAGA, A. L. et al. Restrição alimentar qualitativa para suínos com elevado peso de abate. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.37, n.5, p.869-875, 2008.

FRIEDMAN, J. M. The function of leptin in nutrition, weight, and physiology. **Nutrition Reviews**, Washington, v. 60, suppl. 10, p. S1-S14, 2002.

FRIEDMAN, J. M.; HALAAS, J. L. Leptin and the regulation of body weight in mammals. **Nature**, London, v. 395, n. 6704, p. 763-770, 1998.

FULLER, M. F. et al. Effects of the amount and quality of dietary protein on nitrogen metabolism and heat production in growing pigs. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 58, n. 02, p. 277-285, 1987.

FULLER, M. F. et al. Effects of the amount and quality of dietary protein on nitrogen metabolism and protein turnover of pigs. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 58, n. 02, p. 287-300, 1987.

FURLAN, R. L. et al. Does low-protein diet improve broiler performance under heat stress conditions? **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 6, n. 2, p. 71-79, 2004.

FURUSE, M. Central regulation of food intake in the neonatal chick. **Animal Science Journal**, Tokyo, v. 73, n. 2, p. 83-94, 2002.

GEELISSEN, S. M. E. et al. Peripheral ghrelin reduces food intake and respiratory quotient in chicken. **Domestic Animal Endocrinology**, Auburn, v. 30, n. 2, p. 108-116, 2006.

GOUS, R. M.; DU PREEZ, J. J. The sequential feeding of growing chickens. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 34, n. 1, p.113-118. 1975.

GUGGENBUHL, P.; WACHÉ, Y.; WILSON, J. W. Effects of dietary supplementation with a protease on the apparent ileal digestibility of the weaned piglet. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 90, n. 4, p. 152-154, 2012.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Textbook of Medical Physiology**. 11th ed. Elsevier Saunders, 2006.

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**, Champaign, v. 90, n. 7, p. 2255-2263, 2012.

HAUSCHILD, L.; SAKOMURA, N. K.; SILVA, E. P. Avinesp Model: Predicting Poultry Growth, Energy and Amino Acid Requirements. In: SAKOMURA, N. K.; GOUS, R.; KYRIAZAKIS, I. et al. (Ed.) **Nutritional Modelling for Pigs and Poultry**. Wallingford: CABI Publishing, 2015. Cap. 14, p.188- 208.

HRUBY, M.; HAMRE, M. L.; COON, C. N. Growth modelling as a tool for predicting amino acid requirements of broilers. **The Journal of Applied Poultry Research**, Athens, v. 3, n. 4, p. 403-415, 1994.

HUYNH, T. T. T. et al. Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 83, n. 6, p. 1385-1396, 2005.

- HYUN, Y. et al. Growth performance of pigs subjected to multiple concurrent environmental stressors. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 76, n. 3, p. 721-727, 1998.
- JEAN DIT BAILLEUL, P. et al. Reducing nitrogen excretion in pigs by modifying the traditional least-cost formulation algorithm. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 72, n. 3, p. 199-211, 2001.
- JENSEN, J. Regulatory peptides and control of food intake in non-mammalian vertebrates. **Comparative Biochemistry and Physiology**, London, v. 128, n. 3, p. 469-477, 2001.
- JIANG, Z. et al. Effects of different levels of supplementary alpha-amylase on digestive enzyme activities and pancreatic amylase mRNA expression of young broilers. **Asian Australasian Journal of Animal Sciences**, Seoul, v. 21, n. 1, p. 97-105, 2008.
- JO, J. K. et al. Effects of exogenous enzyme supplementation to corn-and soybean meal-based or complex diets on growth performance, nutrient digestibility, and blood metabolites in growing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 90, n. 9, p. 3041-3048, 2012.
- KERR, B. J. et al. Influence of dietary protein level, amino acid supplementation, and dietary energy levels on growing-finishing pig performance and carcass composition. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, n. 12, p. 3075-3087, 2003.
- KYRIAZAKIS, I.; EMMANS, G. C. Voluntary food intake and diet selection. In KYRIAZAKIS, I. (Ed.) **A quantitative biology of the pig**. Wallingford, CABI Publishing, 1999. p. 229–249.
- LANGER, S. et al. Interactions among the branched-chain amino acids and their effects on methionine utilization in growing pigs: effects on plasma amino- and keto-acid concentrations and branched-chain keto-acid dehydrogenase activity. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 83, n. 01, p. 49-58, 2000.
- LANGER, S.; FULLER, M. F. The effects of excessive amounts of protein on lysine utilization in growing pigs. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 76, n. 05, p. 743-754, 1996.
- LE BELLEGO, L.; VAN MILGEN, J.; NOBLET, J. Effect of high temperature and low-protein diets on the performance of growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 80, n. 3, p. 691-701, 2002.
- LECLERCQ B. Les rejets azote issus de l'agriculture: importance et progress envisageables. **INRA Productions Animales**, Paris, v. 9, n. 1, p. 91-101, 1996.
- LETERRIER, C. et al. Sequential feeding with variations in energy and protein levels improves gait score in meat-type chickens. **Animal**, Cambridge, v. 2, n. 11, p. 1658-1665, 2008.

MC ALPINE, P. O. et al. The effect of protease and xylanase enzymes on growth performance and nutrient digestibility in finisher pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 90, n. 4, p. 375-377, 2012.

MCDONALD, P. et al. **Animal Nutrition**. 7.ed. Harlow: Pearson, 2011. 714 p.

MCNEEL, R. L. et al. Effect of feed restriction on adipose tissue transcript concentrations in genetically lean and obese pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 78, n. 4, p. 934-942, 2000.

MOUGHAN, P. J. Simulating the partitioning of dietary amino acids: New directions. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, n. 14 suppl. 2, p. E60-E67, 2003.

NAMROUD, N. F.; SHIVAZAD, M.; ZAGHARI, M. Effects of fortifying low crude protein diet with crystalline amino acids on performance, blood ammonia level, and excreta characteristics of broiler chicks. **Poultry Science**, Champaign, v. 87, n. 11, p. 2250-2258, 2008.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of poultry**. Washington: National Academies Press, 1994.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of swine**. Washington: National Academies Press, 2012.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of swine**. Washington: National Academies Press, 1998.

NIR, I. et al. Aspects of food intake restriction in young domestic fowl: metabolic and genetic considerations. **World's Poultry Science Journal**, Cambridge, v. 52, n. 03, p. 251-266, 1996.

NOBLET, J.; HENRY, Y.; DUBOIS, S. Effect of protein and lysine levels in the diet on body gain composition and energy utilization in growing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 65, n. 3, p. 717-726, 1987.

NYACHOTI, C. M. et al. Voluntary feed intake in growing-finishing pigs: A review of the main determining factors and potential approaches for accurate predictions. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 84, n. 4, p. 549-566, 2004.

O'CONNELL, M. K.; LYNCH, P. B.; O'DOHERTY, J. V. A comparison between feeding a single diet or phase feeding a series of diets, with either the same or reduced crude protein content, to growing finishing pigs. **Animal Science**, Cambridge, v. 81, n. 2, p. 297-303, 2005.

OHKUBO, T.; BOSWELL, T.; LUMINEAU, S. Molecular cloning of chicken prepro-orexin cDNA and preferential expression in the chicken hypothalamus. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 1577, n. 3, p. 476-480, 2002.

OLIVEIRA, V. et al. Desempenho e composição corporal de suínos alimentados com rações com baixos teores de proteína bruta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 12, p. 1775-1780, 2006.

OLIVEIRA, W. P. et al. Redução do nível de proteína bruta em rações para frangos de corte em ambiente de estresse por calor. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n.5, p.1092-1098, 2010.

OMOGBENIGUN, F. O.; NYACHOTI, C. M.; SLOMINSKI, B. A. Dietary supplementation with multienzyme preparations improves nutrient utilization and growth performance in weaned pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 82, n. 4, p. 1053-1061, 2004.

OSPINA-ROJAS, I. C. et al. Commercially available amino acid supplementation of low-protein diets for broiler chickens with different ratios of digestible glycine+ serine: lysine. **Poultry Science**, Champaign, v. 91, n. 12, p. 3148-3155, 2012.

OTTO, E. R. et al. Nitrogen balance and ileal amino acid digestibility in growing pigs fed diets reduced in protein concentration. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, n. 7, p. 1743-1753, 2003.

PESTI, G. M. et al. A comparison of methods to estimate nutritional requirements from experimental data. **British Poultry Science**, Edinburgh v. 50, n 1, p. 16 - 32, 2009.

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

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

POMAR, C. et al. The impact of daily multiphase feeding on animal performance, body composition, nitrogen and phosphorus excretions, and feed costs in growing–finishing pigs. **Animal**, Cambridge, v. 8, n. 05, p. 704-713, 2014.

POPE, T. et al. Growth performance and nitrogen excretion of broilers using a phase-feeding approach from twenty-one to sixty-three days of age. **Poultry Science**, Champaign, v. 83, n. 4, p. 676-682, 2004.

POPHAL, S. **Eficiência da ingestão calórica e das suplementações de óleo e de carnitina sobre a retenção de nitrogênio em suínos**. 2000. 133 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

QUINIYOU, N.; DUBOIS, S.; NOBLET, J. Voluntary feed intake and feeding behaviour of group-housed growing pigs are affected by ambient temperature

and body weight. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 63, n. 3, p. 245-253, 2000.

QUINIOU, N.; NOBLET, J. Effect of the dietary net energy concentration on feed intake and performance of growing-finishing pigs housed individually. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 90, n. 12, p. 4362-4372, 2012.

QUINIOU, N.; NOBLET, J.; DOURMAD, J.-Y. Effect of energy intake on the performance of different types of pig from 45 to 100 kg body weight. 2. Tissue gain. **Animal Science**, Cambridge, v. 63, n. 02, p. 289-296, 1996.

REEDS, P. J. et al. Effects of changes in the intakes of protein and non-protein energy on whole-body protein turnover in growing pigs. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 45, n. 03, p. 539-546, 1981.

REYNOLDS, A. M.; O'DOHERTY, J. V. The effect of amino acid restriction during the grower phase on compensatory growth, carcass composition and nitrogen utilisation in grower–finisher pigs. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 112-120, 2006.

RICHARDS, M. P. Genetic regulation of feed intake and energy balance in poultry. **Poultry Science**, Champaign, v. 82, n. 6, p. 907-916, 2003.

RICHARDS, M. P.; PROSZKOWIEC-WEGLARZ, M. Mechanisms regulating feed intake, energy expenditure, and body weight in poultry. **Poultry Science**, Champaign, v. 86, n. 7, p. 1478-1490, 2007.

ROCHA, P. T. et al. Desempenho de frangos de corte alimentados com rações pré-iniciais contendo diferentes níveis de proteína bruta e energia metabolizável. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 162-170, 2003.

ROCHELL, S. J. et al. Influence of dietary amino acid reductions and Eimeria acervulina infection on growth performance and intestinal cytokine responses of broilers fed low crude protein diets. **Poultry Science**, Champaign, v. 95, n. 11, p. 2602-2614, 2016.

ROSSI, C. A. R. et al. Dietas ajustadas para suínos através do modelo InraPorc®: desempenho, características de carcaça e impacto econômico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 4, p. 689-695, 2013.

ROSTAGNO, H. S. et al. Avanços metodológicos na avaliação de alimentos e de exigências nutricionais para aves e suínos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, supl. esp, p. 295-304, 2007.

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.

ROTH, F. X. et al. Influence of dietary level of dispensable amino acids on nitrogen balance and whole-body protein turnover in growing pigs. **Journal of**

Animal Physiology and Animal Nutrition, Berlin, v. 32, n. 1. p. 162-170, 1999.

ROY, N.; LAPIERRE, H.; BERNIER, J. F. Whole-body protein metabolism and plasma profiles of amino acids and hormones in growing barrows fed diets adequate or deficient in lysine. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 80, n. 4, p. 585-595, 2000.

SAITO, E.-S. et al. Chicken ghrelin and growth hormone-releasing peptide-2 inhibit food intake of neonatal chicks. **European Journal of Pharmacology**, Amsterdam, v. 453, n. 1, p. 75-79, 2002.

SAITO, E.-S. et al. Inhibitory effect of ghrelin on food intake is mediated by the corticotropin-releasing factor system in neonatal chicks. **Regulatory Peptides**, Amsterdam, v. 125, n. 1, p. 201-208, 2005.

SAKOMURA, N. K. et al. Modelo de Crescimento e Exigências de Aves em Regiões Tropicais. In: CONGRESSO NORDESTINO DE PRODUÇÃO ANIMAL, 10., 2015, Teresina. **Anais do...** Teresina, 2015.

SAKOMURA, N. K. et al. **Nutrição de Não ruminantes**. Jaboticabal: Funep, 2014. 678 p.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Jaboticabal: Funep, 2007. 283 p.

SANSINANE, A. S. et al. Serum leptin levels in cattle with different nutritional conditions. **Nutrition Research**, New York, v. 21, n. 7, p. 1045-1052, 2001.

SHARIATMADARI, F. Feeding schedules for broiler chickens. **World's Poultry Science Journal**, Cambridge, v. 65, n. 03, p. 393-400, 2009.

SHARIATMADARI, F.; FORBES, J. M. Growth and food intake responses to diets of different protein contents and a choice between diets containing two concentrations of protein in broiler and layer strains of chicken. **British Poultry Science**, Edinburgh, v. 34, n. 1 p. 959-970, 1993.

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

SIRRI, F.; MELUZZI, A. Effect of sequential feeding on nitrogen excretion, productivity, and meat quality of broiler chickens. **Poultry Science**, Champaign, v. 91, n. 1 p. 316-321, 2012.

SYAFWAN, S. et al. Dietary self-selection by broilers at normal and high temperature changes feed intake behavior, nutrient intake, and performance. **Poultry Science**, Champaign, v. 91, n. 3, p. 537-549, 2012.

TORRALLARDONA, D.; ROURA, E. **Voluntary feed intake in pigs**. Wageningen: Academic Pub, 2009, 368 p.

- URDANETA-RINCON, M.; LEESON, S. Quantitative and qualitative feed restriction on growth characteristics of male broiler chickens. **Poultry Science**, Champaign, v. 81, n. 5, p. 679-688, 2002.
- URYNEK, W.; BURACZEWSKA, L. Effect of dietary energy concentration and apparent ileal digestible lysine: metabolizable energy ratio on nitrogen balance and growth performance of young pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, n. 5, p. 1227-1236, 2003.
- VAN MILGEN, J. et al. 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, 2008.
- VAN MILGEN, J.; NOBLET, J.; DUBOIS, S. Energetic efficiency of starch, protein and lipid utilization in growing pigs. **The Journal of Nutrition**, Rockville, v. 131, n. 4, p. 1309-1318, 2001.
- VASCONCELLOS, C. H. de F. et al. Efeito de diferentes níveis de proteína bruta sobre o desempenho e composição de carcaça de frangos de corte machos de 21 a 42 dias de idade. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 1039-1048, 2010.
- VASCONCELLOS, C. H. F. et al. Determinação da energia metabolizável e balanço de nitrogênio de dietas com diferentes teores de proteína bruta para frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 63, n. 3, p. 659-669, 2011.
- VIDAL, T. Z. B. et al. Efeito da redução da proteína bruta e da suplementação de aminoácidos para suínos machos castrados, dos 70 aos 100kg. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 62, n. 4, p. 914-920, 2010.
- WHITTEMORE, C. T.; FAWCETT, R. H. Model responses of the growing pig to the dietary intake of energy and protein. **Animal Production**, Scotland, v. 19, n. 2, p. 221-231, 1974.
- WHITTEMORE, C. T.; GREEN, D. M.; KNAP, P. W. Technical review of the energy and protein requirements of growing pigs: protein. **Animal Science**, Cambridge, v. 73, n. 03, p. 363-373, 2001a.
- WHITTEMORE, C. T.; GREEN, D. M.; KNAP, P. W. Technical review of the energy and protein requirements of growing pigs: energy. **Animal Science**, Cambridge, v. 73, n. 2, p. 199-216, 2001b.
- WIJTEN, P. J. A. et al. Dietary amino acid levels and feed restriction affect small intestinal development, mortality, and weight gain of male broilers. **Poultry Science**, Champaign, v. 89, n. 7, p. 1424-1439, 2010.
- ZERVAS, S.; ZIJLSTRA, R. T. Effects of dietary protein and fermentable fiber on nitrogen excretion patterns and plasma urea in grower pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 80, n. 12, p. 3247-3256, 2002.

ZHAN, X. A. et al. Effect of early feed restriction on metabolic programming and compensatory growth in broiler chickens. **Poultry Science**, Champaign, v. 86, n. 4, p. 654-660, 2007.

ZHAO, X.; JØRGENSEN, H.; EGGUM, B. O. The influence of dietary fibre on body composition, visceral organ weight, digestibility and energy balance in rats housed in different thermal environments. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 73, n. 05, p. 687-699, 1995.

VITA

Gustavo Dias Lovato, nascido em 3 de junho de 1987 na cidade de Paraíso do Sul, Rio Grande do Sul. Filho de Cenirolovato e Carmen Jeruza Dias Lovato. Realizou seu ensino fundamental primário nas Escolas Municipal Campos Sales e Estadual Alfredo Schlesner, ambas no interior do município de Paraíso do Sul. Seu ensino médio foi realizado na Escola Estadual Afonso Pena, do mesmo município.

Em 2006 ingressou no curso de Zootecnia, na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Na UFSM, além de cumprir as disciplinas obrigatórias do curso de Zootecnia, desenvolveu e colaborou em várias atividades extracurriculares e experimentos científicos, especialmente no Setor de Suínos do Departamento de Zootecnia. Além disso, realizou diversos estágios extracurriculares em granjas produtoras de suínos e fábricas de ração.

Em 2011 iniciou seu Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da mesma instituição, na área de concentração em Produção Animal, com ênfase em Suinocultura. Foi bolsista da Capes durante todo o seu mestrado.

Em 2013 iniciou seu Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, na área concentração em Produção Animal, e linha de pesquisa em Sistemas de Produção e Nutrição de Não Ruminantes.

Em novembro de 2014 foi contratado pela Vitalltech do Brasil para atuar com Nutricionista de Suínos. Como nutricionista atua na formulação de dietas e suplementos para suínos, pesquisa e desenvolvimento de novos produtos e assistência técnica.

Durante sua vida acadêmica e profissional, atuou em projetos de pesquisa em nutrição de suínos e aves, publicando e colaborando com a publicação de artigos científicos, resumos em congressos.