

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE VETERINÁRIA  
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia**

**Energia líquida de dietas submetidas a diferentes  
processamentos e suplementações enzimáticas para  
suínos em crescimento**

**Andressa da Silva Formigoni**

**BELO HORIZONTE  
2016**

**ANDRESSA DA SILVA FORMIGONI**

**Energia líquida de dietas submetidas a diferentes processamentos e  
suplementações enzimáticas para suínos em crescimento**

Tese apresentada ao  
programa de Pós-Graduação  
em Zootecnia da Escola de  
Veterinária da Universidade  
Federal de Minas Gerais como  
requisito parcial para  
Obtenção do grau de Doutor  
em Zootecnia.

Área de concentração:  
Nutrição Animal

Prof. Orientador: Dalton de  
Oliveira Fontes

**BELO HORIZONTE  
2016**

Tese defendida e aprovada em 21/06/2016 pela Comissão Examinadora composta pelos seguintes membros:

---

Prof. Dr. Dalton de Oliveira Fontes  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Walter Motta Ferreira

---

Prof. Dr. Leonardo Bôscoli Lara

---

Dr. Francisco Carlos de Oliveira Silva

---

Prof. Dr. Carlos Henrique de Figueiredo Vasconcellos

**“Não permita que ninguém destrua seus sonhos. Corra atrás deles, pois eles definirão o tamanho de suas vidas”.**

Roberto Shinyashiki

## **DEDICATÓRIA**

Este trabalho é dedicado aos meus pais, David e Helena, que me convenceram  
que tudo acabaria bem.

## **Agradecimentos**

Primeiro, e acima de tudo, agradeço a Deus por me guiar e me dar forças para enfrentar os obstáculos encontrados ao longo dessa jornada e me dar sabedoria para seguir em frente com os meus objetivos.

À CAPES pela bolsa de estudo concedida.

Ao Professor orientador Dr. Dalton de Oliveira Fontes pelas orientações e apoio.

À Vaccinar® Nutrição Animal pelo financiamento do projeto de pesquisa, e aos seus funcionários, pela assistência e cooperação.

Aos Professores coorientadores Dr. Leonardo Lara e Dr. Ricardo Reis, e ao Dr. Francisco Carlos pelos ensinamentos, conselhos, paciência e confiança na realização deste trabalho.

Aos funcionários da PRPG, em especial a Zélia, da Assessoria Acadêmica, e ao Guilherme, do Setor de Bolsas, pelos conselhos e atenção.

Ao Professor Dr. Flavio Terrigno Barbeitas, da Escola de Música, por interceder por mim e tornar possível a continuidade dos meus estudos.

Ao Professor Walter Motta e toda sua equipe pela disponibilidade, confiança, amizade e incentivo.

Aos colegas, amigos e companheiros, especialmente aos da “Equipe Fontes” fundamentais no desenvolvimento deste trabalho, e “Cantina 2”, pela amizade e momentos de descontração.

À equipe dos bovinos, dos caprinos e das aves, pela convivência, companheirismo e cooperação durante os experimentos.

Aos funcionários do departamento de Zootecnia e da fazenda experimental Prof. Hélio Barbosa, sempre dispostos a cooperar e ajudar.

Aos funcionários do laboratório de nutrição, principalmente Toninho e Fabiana.

Aos amigos do “Xerox” e da portaria, em especial o Sr. Nilson e Roberto.

À toda equipe de limpeza da UFMG.

Aos meus pais, David e Helena, e meus irmãos, Davidson e Vanessa, pelo amor e apoio incondicional.

Aos meus sobrinhos, Lucas Alexandre e Jean Pedro, por alegrarem a minha vida.

Ao meu namorado, Cleverson pelo apoio, atenção, companheirismo e paciência.

Às meninas da república que me acompanharam ao longo desses quatro anos de estudo e pesquisa.

Aos meus colegas Roberto Abib, Rita Valentim, Ana Paula Brustolini e Felipe Norberto, pelas sugestões no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Bruno Oliver e Isabela Sabino por me acolherem no início do curso.

Aos meus amigos de Campo Grande, que mesmo distantes, a amizade continua a mesma.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro indispensável à execução desse projeto.

À todos aqueles que de maneira direta ou indireta contribuíram para a realização desse trabalho.

---

---

## SUMÁRIO

---

---

|                                                                                                                                                                                                            |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>LISTA DE TABELAS .....</b>                                                                                                                                                                              | <b>9</b>  |
| <b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>                                                                                                                                                                | <b>10</b> |
| <b>RESUMO GERAL.....</b>                                                                                                                                                                                   | <b>11</b> |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                                                                                                                                                      | <b>12</b> |
| <b>CAPÍTULO 1.....</b>                                                                                                                                                                                     | <b>13</b> |
| 1 Introdução Geral .....                                                                                                                                                                                   | 13        |
| 2 Revisão de literatura.....                                                                                                                                                                               | 14        |
| 2.1 Digestibilidade dos nutrientes .....                                                                                                                                                                   | 14        |
| 2.1.1 <i>Determinação do coeficiente de digestibilidade dos nutrientes</i> .....                                                                                                                           | 15        |
| 2.2 Valor energético dos alimentos.....                                                                                                                                                                    | 16        |
| 2.2.1 <i>Sistemas de avaliação do valor energético dos alimentos</i> .....                                                                                                                                 | 16        |
| 2.2.2 <i>Determinação da produção de calor nos animais</i> .....                                                                                                                                           | 19        |
| 2.2.3 <i>Componentes nutricionais que afetam os valores de energia líquida do alimento</i> .....                                                                                                           | 20        |
| 2.3 Fatores nutricionais que interferem no valor nutritivo dos alimentos .....                                                                                                                             | 22        |
| 2.4 Alternativas nutricionais que influenciam a digestibilidade e o aproveitamento energético dos alimentos .....                                                                                          | 27        |
| 2.4.1 <i>Processamento das dietas</i> .....                                                                                                                                                                | 27        |
| 2.4.2 <i>Suplementação enzimática</i> .....                                                                                                                                                                | 32        |
| 3. Referências bibliográficas.....                                                                                                                                                                         | 38        |
| <b>CAPÍTULO 2 - EFEITO DO TAMANHO DE PARTÍCULA E FORMA FÍSICA DA RAÇÃO SOBRE A DIGESTIBILIDADE DOS NUTRIENTES, PRODUÇÃO DE CALOR E APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RAÇÕES PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO.....</b> | <b>59</b> |
| <b>RESUMO .....</b>                                                                                                                                                                                        | <b>59</b> |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                                                                                                                                                      | <b>60</b> |
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>                                                                                                                                                                                   | <b>61</b> |
| <b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                                                                                                                                                                          | <b>62</b> |
| 2.1 <i>Local e instalações</i> .....                                                                                                                                                                       | 62        |

|                                                                                                                                                                                                    |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.2 Animais e delineamento experimental .....                                                                                                                                                      | 62        |
| 2.3 Dietas e manejo alimentar .....                                                                                                                                                                | 63        |
| 2.4 Avaliação do diâmetro geométrico médio (DGM) e desvio padrão geométrico (DPG) .....                                                                                                            | 63        |
| 2.5 Cálculo da porcentagem de finos e índice de durabilidade do pélete (PDI) .....                                                                                                                 | 65        |
| 2.6 Determinação da digestibilidade de nutrientes, energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM) .....                                                                                      | 65        |
| 2.7 Determinação da produção de calor (PC), incremento calórico (IC) e energia líquida (EL) .....                                                                                                  | 66        |
| 2.8 Análise estatística .....                                                                                                                                                                      | 67        |
| <b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                                                                                                                                              | <b>68</b> |
| <b>4 CONCLUSÃO .....</b>                                                                                                                                                                           | <b>73</b> |
| <b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                                                                                                                                          | <b>74</b> |
| <b>CAPÍTULO 3 - EFEITO DA SUPLEMENTAÇÃO DE DIFERENTES ENZIMAS SOBRE A DIGESTIBILIDADE DOS NUTRIENTES, PRODUÇÃO DE CALOR E APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RAÇÕES PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO .....</b> | <b>78</b> |
| <b>RESUMO .....</b>                                                                                                                                                                                | <b>78</b> |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                                                                                                                                              | <b>79</b> |
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                                                                                                                                                          | <b>80</b> |
| <b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                                                                                                                                                                  | <b>81</b> |
| 2.1 Local e instalações .....                                                                                                                                                                      | 81        |
| 2.2 Animais e delineamento experimental .....                                                                                                                                                      | 82        |
| 2.3 Dietas e manejo alimentar .....                                                                                                                                                                | 82        |
| 2.4 Determinação da digestibilidade de nutrientes, energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM) .....                                                                                      | 83        |
| 2.5 Determinação da produção de calor (PC), incremento calórico (IC) e energia líquida (EL) .....                                                                                                  | 85        |
| 2.6 Análise estatística .....                                                                                                                                                                      | 86        |
| <b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                                                                                                                                              | <b>86</b> |
| <b>4 CONCLUSÃO .....</b>                                                                                                                                                                           | <b>91</b> |
| <b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                                                                                                                                          | <b>91</b> |

---

---

## LISTA DE TABELAS

---

---

### CAPÍTULO 1

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> - Tamanho de partículas de acordo com as peneiras..... | 28 |
|------------------------------------------------------------------------|----|

### CAPÍTULO 2

|                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> – Composição centesimal e nutricional da dieta experimental para suínos machos castrados em fase de crescimento .....                                                                                                                            | 64 |
| <b>Tabela 2</b> - Diâmetro geométrico médio (DGM) e desvio padrão geométrico (DPG) das rações experimentais.....                                                                                                                                                 | 68 |
| <b>Tabela 3</b> – Porcentagem de finos e índice de durabilidade dos péletes (DPI) das rações experimentais.....                                                                                                                                                  | 68 |
| <b>Tabela 4</b> – Coeficientes de digestibilidade (%) da matéria seca (CDMS), proteína (CDPB) e da energia bruta (CDEB) de rações com diferentes tamanhos de partícula e formas físicas.....                                                                     | 69 |
| <b>Tabela 5</b> – Produção de calor (PC Kcal/kg <sup>0,60</sup> /dia) e incremento calórico (IC Kcal/kg <sup>0,60</sup> /dia) de suínos em crescimento alimentados com dietas contendo diferentes tamanhos de partícula e formas físicas.....                    | 71 |
| <b>Tabela 6</b> – Valores de Energia Digestível (ED), Energia metabolizável (EM), relação Energia Metabolizável:Energia Digestível (EM:ED), Incremento calórico (IC) e Energia Líquida (EL) de dietas contendo diferentes tamanhos de partícula e formas físicas | 72 |

### CAPÍTULO 3

|                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> – Composição centesimal das dietas experimentais para suínos machos castrados em crescimento.....                                                                                                                                                                      | 83 |
| <b>Tabela 2</b> – Coeficientes de digestibilidade (%) da matéria seca (CDMS), proteína (CDPB) e da energia bruta (CDEB) de rações suplementadas com diferentes enzimas .....                                                                                                           | 86 |
| <b>Tabela 3</b> – Produção de calor (PC Kcal/kg <sup>0,75</sup> /dia) e incremento calórico (IC Kcal/kg <sup>0,75</sup> /dia) de suínos em crescimento alimentados com dietas suplementadas com diferentes enzimas.....                                                                | 89 |
| <b>Tabela 4</b> – Valores de Energia Digestível (ED), Energia metabolizável (EM), relação Energia Metabolizável:Energia Digestível (EM:ED), Incremento calórico (IC) e Energia Líquida (EL) de dietas de acordo com a suplementação de enzimas na dieta de suínos em crescimento ..... | 90 |

---

---

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

---

---

AOAC - Association of the Official Analytical Chemists

ATP – Trifosfato de Adenosina

CD - Coeficiente de Digestibilidade

CVB - Centraal Veevoeder Bureau

DGM - Diâmetro Geométrico Médio

DPG - Desvio Padrão Geométrico

EB – Energia Bruta

ED - Energia Digestível

EL – Energia Líquida

EM - Energia Metabolizável

EM:ED - Relação Energia Metabolizável:Energia Digestível

IC – Incremento Calórico

Kcal - Quilocaloria

MS - Matéria Seca

NRC - National Research Council

PC – Produção de Calor

PDI - Índice de Durabilidade dos Péletes

## Resumo Geral

Visando-se avaliar o efeito de diferentes tamanhos de partícula e forma física da ração e o efeito da suplementação de diferentes enzimas sobre os coeficientes de digestibilidade da matéria seca (CDMS), da proteína bruta (CDPB), da energia bruta (CDEB), dos valores de energia digestível (ED), metabolizável (EM), relação EM:ED, produção de calor (PC), incremento calórico (IC) e energia líquida (EL), foram realizados dois experimentos. Utilizou-se 16 suínos no experimento I e 20 suínos no experimento II, machos castrados de linhagem comercial com peso inicial médio de 25 kg. O delineamento experimental empregado foi o inteiramente casualizado, sendo o experimento I composto por quatro tratamentos e quatro repetições e o experimento II por quatro tratamentos e cinco repetições, e um animal por unidade experimental. No experimento I, os tratamentos consistiram em duas rações fareladas com DGM de 614  $\mu\text{m}$  e de 888  $\mu\text{m}$ , e duas rações peletizadas com tamanhos de pélete diferentes, em que, no pélete fino o DGM da ração era de 614  $\mu\text{m}$ , e no pélete grosso o DGM era de 888  $\mu\text{m}$ , e o experimento II, rações contendo diferentes enzimas (dieta controle, amilase + celulase + protease,  $\beta$ -mananase e  $\alpha$ -galactosidase). As dietas utilizadas em ambos os experimentos foram isoenergéticas e isoproteicas, formuladas para atender as exigências nutricionais dos animais na fase de crescimento. As variáveis analisadas foram submetidas à análise de variância e os dados do experimento I comparados pelo teste SNK, e os do experimento II pelo teste Dunnet, a 5% de probabilidade. Não foram encontradas diferenças ( $P \geq 0,05$ ) sobre a digestibilidade e valores energéticos de ambos os experimentos. Conclui-se que o processamento e a suplementação enzimática não influenciam a digestibilidade e valores energéticos das dietas para suínos em crescimento.

**Palavras chaves:** enzima, incremento calórico, processamento da dieta, produção de calor, respirometria

## Abstract

Aiming to evaluate the effect of different particle sizes and physical form of the feed and the effect of different enzymes supplementation on digestibility coefficients of dry matter (CDMS), crude protein (CDPB), gross energy (CDEB), digestible energy values (ED), metabolizable (EM), ratio metabolizable energy:digestible energy (EM:ED), heat production (PC), calorie incremente (IC) and net energy (EL) two experiments were carried out. Were used 16 pigs in experiment I and 20 pigs in experiment II, castrated males of comercial lineage with average initial weight of 25 kg. The experimental design was completely randomized, on what, being the experiment I composed of four treatments and four replicates and experiment II for four treatments and five replicates, and one animal per experimental unit. In experiment I, treatments consisted of two mashes diets, with DGM of 614  $\mu\text{m}$  and 888  $\mu\text{m}$  and pelleted diets with different pellet sizes, in which, in pellet thin DGM was 614  $\mu\text{m}$ , and the coarse pellet DGM was 888  $\mu\text{m}$ , and the experiment II, feed containing different enzymes (control diet, amylase + celulase + protease,  $\beta$ -mananase and  $\alpha$ -galactosidase). The diets used in both experiments were isoenergetic and isoproteic, formulated to meet the nutritional requirements of animals in the growth phase. The analyzed variables were submitted to analysis of variance and the data of the experiment I were compared by SNK test and experiment II by Dunnet, the 5% probability. No differences were found ( $P \geq 0,05$ ) on the digestibility and energy values of both experiments. It is concluded that the enzyme supplementation and processing does not influence the digestibility and energy values of the diets for growing pigs.

**Key words:** calorie increment, diet processing, enzyme, heat production, respirometry

## **CAPÍTULO 1**

### **1. Introdução Geral**

A rentabilidade na produção de suínos está ligada, principalmente, aos custos com alimentação, uma vez que, correspondem à maior despesa desse setor. Assim, a eficiência produtiva pode ser obtida com a aplicação prática do conhecimento adequado das exigências nutricionais dos animais e da composição dos alimentos, associado a outras técnicas de manejo (Silva, 1996).

É fundamental a estimativa precisa dos coeficientes de digestibilidade dos nutrientes, que indicam a proporção ingerida que foi realmente absorvida, e dos valores energéticos dos alimentos que compõem a ração, através de ensaios de metabolismo. Quanto mais precisas forem essas estimativas, aliadas às necessidades nutricionais e energéticas dos suínos, maior será a otimização da eficiência alimentar e menor a excreção de elementos poluentes, além de reduzir o custo das dietas formuladas.

Geralmente, é por meio dos valores de energia metabolizável que se obtém a quantidade de energia disponível para produção. A energia metabolizável representa uma quantidade variável da energia digestível, pois considera a energia perdida na urina. Na maioria das situações a relação entre a energia metabolizável e a energia digestível de dietas completas para suínos é de aproximadamente 96% (Noblet et al., 1993).

No entanto, essa energia retida não é utilizada com 100% de eficiência para crescimento, produção e reprodução, pois não considera a energia gasta na forma de calor inerente a metabolização dos alimentos, denominado incremento calórico (Sakomura & Rostagno, 2007).

Dessa forma, a energia líquida tem sido proposta como o sistema mais completo e que descreve com maior precisão o conteúdo energético real da dieta, quando comparado aos sistemas de energia digestível e metabolizável (Noblet & van Milgen, 2004), pois é obtida por meio da subtração da energia metabolizável pelo incremento calórico.

A formulação de ração com base nos valores de energia líquida é mais precisa quanto às necessidades energéticas, visto que, a quantidade de calor produzido como incremento calórico depende de fatores como a taxa de consumo, composição e processamento da ração, utilização de aditivos, entre outros.

Algumas manipulações nas dietas podem influir na eficácia da digestibilidade dos nutrientes e nos valores energéticos do alimento, minimizando o custo da alimentação. Os ajustes nutricionais devem ser feitos levando em conta todas as variáveis ambientais, individuais dos animais e aspectos alimentares.

Assim, buscando melhorar os resultados zootécnicos por meio da melhoria da eficiência metabólica do animal, torna-se pertinente a busca por maiores conhecimentos em nutrição.

Diante desse contexto, este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes tamanhos de partícula, formas físicas da ração e suplementação de enzimas sobre o valor nutritivo de dietas para suínos em crescimento.

## **2. Revisão de literatura**

### **2.1 Digestibilidade dos nutrientes**

O termo “digestibilidade” tem sido definido como a fração de um nutriente ingerido que não é recuperado nas fezes do animal. Quando esta fração é dada em relação a 100, denomina-se coeficiente de digestibilidade (CD) e é expresso em porcentagem.

Os valores do CD indicam a proporção de alimento ingerido que realmente foi digerido e absorvido pelo organismo. A quantidade de alimento que ultrapassa esse coeficiente permanece no trato intestinal sem ser absorvida e é eliminada nas fezes. Sendo assim, quanto maior for o valor do CD do alimento, melhor sua qualidade.

Estes valores possibilitam a elaboração de rações otimizando o aproveitamento dos nutrientes pelos animais, evitando deficiências ou excesso

de nutrientes, o que auxilia tanto na diminuição de custos, quanto na redução de nutrientes excretados no ambiente (Rostagno et al., 2007).

Os valores da digestibilidade dos nutrientes normalmente são encontrados nas tabelas de composição de alimentos, como CVB (1998), NRC (2012) e as Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais para Aves e Suínos (Rostagno et al., 2011). Entretanto, diversos fatores influenciam esses dados. De acordo com Bünzen et al. (2008), os valores relacionados ao CD podem variar em função de condições climáticas, espécie e variedade de grãos, origem, armazenamento e processamento a que os ingredientes foram submetidos.

### *2.1.1 Determinação do coeficiente de digestibilidade dos nutrientes*

Os métodos para determinação do CD incluem o método de coleta total e o de indicadores. Segundo Sakomura & Rostagno (2007), o processo básico consiste em medir a quantidade de nutrientes consumidos e a quantidade excretada nas fezes durante um determinado período. A partir da quantidade de alimento consumido, das fezes excretadas e das composições químicas do alimento e das fezes, determina-se o CD da matéria seca (MS) do alimento e de suas várias frações.

A determinação da digestibilidade através do método de coleta total baseia-se no princípio de mensurar o total de alimento consumido e o total de excretas produzidas durante um certo período de tempo, enquanto que, pelo método em que se utiliza indicadores, a digestibilidade é determinada pela quantidade de fezes que corresponde a uma unidade de ração consumida (Sakomura & Rostagno, 2007).

Na avaliação de alimentos por esses métodos, utiliza-se o valor do CD aparente, isto é, a diferença entre a quantidade de nutriente consumido e a quantidade excretada, sem considerar as secreções endógenas e as descamações da mucosa epitelial, o que acarreta na alteração do valor que seria a digestibilidade verdadeira ou aparente.

No intestino grosso dos suínos em crescimento há considerável atividade microbiana com inúmeros processos catabólicos e anabólicos (Ruiz et al.,

2008), o que pode subestimar os valores de digestibilidade devido às perdas endógenas.

## **2.2 Valor energético dos alimentos**

A energia é um componente fundamental da ração obtida por meio da interação de todos os nutrientes dos alimentos (Faria & Santos, 2005). A liberação da energia dos alimentos, para que seja utilizada pelos animais, ocorre através da queima dos nutrientes por processo de combustão.

Todavia, nem toda energia consumida no alimento é utilizada na produção animal, parte dela é perdida, pois seu aproveitamento só ocorre com as frações orgânicas digestíveis. Assim, a eficiência de utilização da energia para produção consiste em como a energia contida nos alimentos é retida na forma de produto animal (Resende et al., 2006).

A energia dos alimentos pode ser expressa na forma de energia bruta (EB), energia digestível (ED), energia metabolizável (EM), que é a medida mais utilizada para mensuração da energia disponível para produção (Noblet et al., 1993), e energia líquida (EL), que, de acordo com Noblet et al. (1994), considera que parte da EM se perde nos trabalhos de digestão, absorção e metabolismo dos nutrientes, sendo que, toda perda de energia inerente à metabolização dos alimentos é denominada de incremento calórico (IC) (Sakomura & Rostagno, 2007).

### ***2.2.1 Sistemas de avaliação do valor energético dos alimentos***

O esquema convencional representativo de partição de energia que representa as etapas que incidem as perdas energéticas está apresentado na figura 1.

Para avaliação do valor energético dos alimentos, as dietas e o material coletado são analisados em bomba calorimétrica, fornecendo o valor de EB, que representa a energia liberada da queima total dos alimentos, porém, não existe nenhuma indicação se o animal pode aproveitá-la, e o quanto pode ser aproveitada (Faria, 2010). De acordo com o NRC (1998), os carboidratos

fornece 3,7 kcal/g (glicose) e 4,2 kcal/g (amido); as proteínas 5,6 kcal/g e as gorduras 9,4 kcal/g de EB, respectivamente.

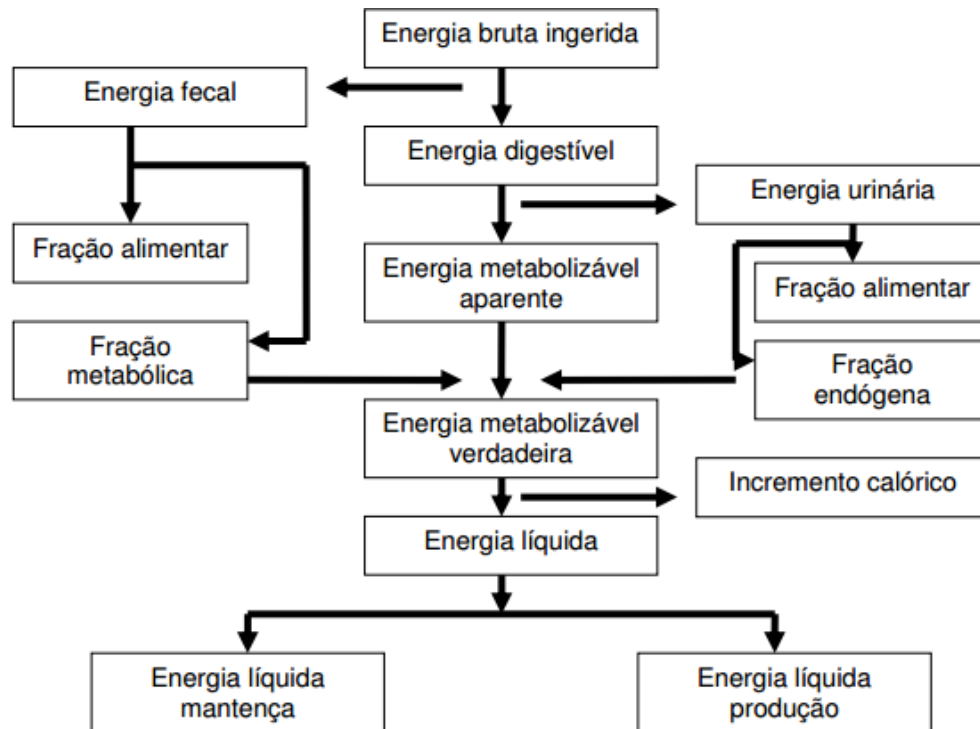


Figura 1. Esquema representativo dos sistemas energéticos (Sakomura e Rostagno, 2007)

A partir daí, calcula-se a ED aparente, que se refere à energia do alimento que é absorvida após o processo de digestão. É determinada pela diferença entre a EB do alimento consumido e a EB eliminada nas fezes (Sakomura & Rostagno, 2007). Essa energia é considerada “aparente” por não representar a energia que foi realmente absorvida, porque há perda de energia nas fezes oriunda de substâncias endógenas, descamações do epitélio do trato digestivo, muco intestinal, enzimas não utilizadas, bactérias, etc. Portanto, determina-se a ED verdadeira considerando-se as perdas energéticas de produção endógena.

A EM representa uma porcentagem variável da ED, pois considera a energia perdida na urina, uma vez que, o organismo desprende considerável energia para produzir ureia (Dukes, 1998). A energia perdida na forma de gases nos monogástricos é muito baixa, podendo ser desprezada nos cálculos

de EM (Sakomura & Rostagno, 2007). Na maioria das situações, a relação entre a EM e a ED de dietas completas é de aproximadamente 96% (Noblet et al., 1993).

Porém, essa energia retida ainda não é totalmente utilizada para crescimento, produção e reprodução, pois há gasto energético durante os processos digestivos e de metabolismo dos nutrientes (Fialho et al., 2001) na forma de IC.

O IC, representado pelo aumento da produção de calor (PC) após o consumo do alimento, é inversamente proporcional à concentração energética da dieta (Holmes & Close, 1977). Depende de fatores como, por exemplo, taxa de consumo, composição e processamento da ração fornecida aos animais, utilização de aditivos que promovem a melhoria da digestão dos alimentos, entre outros.

A variação da PC como IC, pode estar relacionada ao processamento da dieta pelo animal, como o trabalho realizado para mastigação do alimento, movimento do aparelho digestivo, calor de fermentação e transformação dos nutrientes (Lawrence & Fowler, 1997). Esses fatores interferem no aproveitamento energético para produção, pois menores taxas metabólicas para digestão geram menor PC, assim, melhor será a eficiência alimentar do animal em razão de maiores quantidades de energia disponíveis para o ganho (Skinner-Noble & Teeter, 2003).

Por meio da subtração do IC da EM obtêm-se a EL (Noblet et al., 1994). A razão entre EL e EM ( $k$ ;  $k_m$  para eficiência de utilização de EM para manutenção;  $k_g$  para eficiência de utilização de EM para crescimento;  $k_p$  para eficiência de utilização de EM para deposição de proteína;  $k_f$  para eficiência de utilização de EM para deposição de gordura) corresponde à eficiência de utilização da EM para EL (Van Milgen & Noblet, 2003). De acordo com Noblet (2001), a eficiência de utilização da EM em suínos é de aproximadamente 82% para o amido, 90% para a gordura, 58% para a proteína e 58% para a fibra dietética.

A EL é a forma mais correta para expressar a energia útil dos alimentos, pois, esta é efetivamente disponível para produção do animal (Guimarães et al., 2012). Segue duas vias no organismo, onde parte da energia é empregada para manutenção (EL<sub>m</sub>) e a outra parte é dirigida para produção. A energia só

é armazenada no organismo ou dele se elimina na forma de energia química, sendo assim chamada de energia retida (ER) na forma de produto animal (músculo, gordura) (Resende et al., 2006) ou fixada pelo organismo.

A principal diferença entre os sistemas de ED ou EM com a EL é que os dois primeiros expressam o potencial energético, enquanto o último expressa a energia útil e inclui a eficiência com a qual cada nutriente pode ser utilizado (Vasconcelos, 2009).

Para se obter os valores de energia útil dos alimentos, primeiro determina-se o gasto energético dos animais para manutenção (ELm), equivalendo à PC do animal em jejum, e, em seguida, realiza-se ensaios de alimentação (Sakomura & Rostagno, 2007).

### *2.2.2 Determinação da produção de calor nos animais*

A PC pode ser mensurada por calorimetria direta e indireta, ou ainda pela utilização de outros métodos indiretos, como o método de abate comparativo (Sakomura & Rostagno, 2007).

Assim, para calcular a PC, os animais devem ser mantidos em ambiente termoneutro, e com um mínimo de atividade física (Chwalibog, 1991). Em animais alimentados, a PC é derivada do metabolismo basal, IC e calor produzido por suas atividades. Não havendo consumo de alimentos, o IC é igual a zero e os componentes da PC são o metabolismo basal e o calor produzido pelas atividades voluntárias do animal (Lofgreen & Garret, 1968).

Para se mensurar a PC por calorimetria direta, pode ser usado o calorímetro adiabático (sistema isolado de quaisquer trocas de calor com o meio externo) ou de gradiente (troca de calor do interior para a periferia).

Segundo Sakomura & Rostagno (2007), no calorímetro adiabático, o animal é confinado no interior de uma câmara construída de tal modo que ocorra um mínimo de perda de calor através de suas paredes. A parede externa é aquecida a uma mesma temperatura da parede interna, evitando-se a perda de calor do interior para o exterior. O calor despendido pelo animal é removido pela água corrente que circula através de uma série de tubos colocados no teto da câmara. O volume de água circulante e as mudanças na temperatura da água permitem calcular a perda de calor. Esse calor, mais o

calor latente de vaporização de água condensada sobre o aparelho ou transportada na corrente de ar fornece as perdas totais de calor.

Em contrapartida, no calorímetro de gradiente térmico, os mesmos autores descrevem-no como um método que permite que o calor passe através das paredes do calorímetro, assim, se a espessura e a condutividade térmica das paredes são uniformes, pode-se dizer que a quantidade de calor perdida pelo calorímetro é proporcional ao gradiente térmico do calorímetro.

O método de calorimetria indireta é baseado no princípio de que a PC metabólico é resultado da oxidação de compostos orgânicos (Sakomura & Rostagno, 2007). Usa-se o volume de ar expirado, a porcentagem de oxigênio consumido, a porcentagem de gás carbônico produzido e a quantidade de nitrogênio proteico eliminado na urina no mesmo período de tempo (Ferrel, 1988).

Neste método, o cálculo da PC é realizado por meio de mensurações de trocas gasosas e de PC em uma câmara respirométrica de sistema aberto. O ar atmosférico entra na câmara em um fluxo constante e é misturado ao ar expirado pelos animais, sendo coletadas amostras para a determinação das concentrações de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>. O consumo de O<sub>2</sub> e a produção de CO<sub>2</sub> podem ser calculados baseados no volume e na composição do ar que entra, comparado com o ar que sai (Chwalibog, 2004).

Pela técnica do abate comparativo, determina-se a exigência de EL para manutenção, com ajustes nas equações de logaritmo da PC em função do consumo de EM, por dia e por unidade de massa metabólica (kg<sup>0,75</sup>), extrapolando-se a equação para o nível zero de consumo de EM (Fontes et al., 2005). Durante o ensaio experimental, a energia retida é calculada pela diferença entre a composição energética corporal final e inicial (Sakomura & Rostagno, 2007).

### *2.2.3 Componentes nutricionais que afetam os valores de energia líquida do alimento*

Existe considerável variação nas quantidades de IC gerado entre os constituintes orgânicos.

Rações com níveis proteicos acima da necessidade do animal fazem com que o excesso de aminoácidos seja catabolizado. Esse processo, além de aumentar o gasto energético para essa finalidade, aumenta a PC e faz com que os animais reduzam a quantidade de alimento consumido e, conseqüentemente, a quantidade de outros nutrientes indispensáveis para produção (Miyada, 1999).

Por possuírem baixo IC, os lipídeos podem melhorar a utilização de energia e a digestibilidade de outros componentes da ração. São potentes inibidores do esvaziamento gástrico que é importante no controle da taxa de passagem dos alimentos e, portanto, de sua utilização (Maciel, 2012).

O IC dos carboidratos varia de acordo com a sua composição, devido em grande parte à eficiência de uso dos nutrientes pelos animais. O amido, principal reserva de carboidratos dos vegetais, possui alto valor energético (Butolo, 2002), considerado a principal fonte de energia dietética dos monogástricos pela relativa facilidade de clivagem de suas ligações pelas enzimas digestivas e conseqüente quebra em moléculas de glicose (Amaral, 2011), sendo facilmente digeridos pelos animais (Andriguetto et al., 1983).

Já os carboidratos fibrosos, resultam em maior IC do que os demais nutrientes, fornecendo pequena parcela da energia da dieta (Lassiter & Eduards, 1982). Na espécie suína, que apresenta ceco não funcional (Close, 1994), a porção fibrosa do alimento é minimamente digerida no intestino delgado, providenciando substrato para a fermentação microbiana no intestino grosso, gerando os ácidos graxos voláteis (AGV) propionato, butirato e acetato, como principais produtos dessa fermentação (Castro Junior et al., 2005), o que corresponde à parcela de energia aproveitada pelos animais proveniente da fibra (Lassiter & Eduards, 1982).

O baixo aproveitamento energético da fibra dietética ocorre devido aos seus processos metabólicos representarem alto custo metabólico para os suínos. Sua importância no requerimento energético varia bastante conforme a espécie, a idade, o estado fisiológico dos animais e a variação de sua concentração no alimento.

Sendo assim, os sistemas de ED e EM tendem a superestimar os valores de energia de alimentos fibrosos ou com elevada PB e subestimar os

valores de energia dos alimentos com altas concentrações de amido ou lipídeos (Noblet & van Milgen, 2004).

### **2.3 Fatores nutricionais que interferem no valor nutritivo dos alimentos**

No Brasil, a formulação de rações para suínos tem sido baseada principalmente em milho e farelo de soja devido à elevada disponibilidade desses ingredientes que, em combinação com minerais, vitaminas e aminoácidos, proporcionam adequado aporte de nutrientes e energia para a expressão máxima do potencial genético dos suínos (Bellaver & Ludke, 2004).

Entretanto, mesmo que esses alimentos sejam comumente utilizados em dietas para não ruminantes, não são totalmente digeridos por esses animais (Ruiz et al., 2008) por apresentarem em sua composição fatores antinutricionais e constituintes de baixa digestibilidade (Charlton, 1996), o que prejudica a utilização dos nutrientes da ração pelos animais e o aproveitamento energético dos alimentos.

O milho tem sido o cereal mais utilizado nas formulações de rações para monogástricos como fonte de energia, contribuindo com aproximadamente 70% na composição, o que ocupa posição de destaque no custo final de produção (Lohmann et al., 2010).

Entretanto, o grão de milho apresenta uma matriz proteica encapsulando o amido ( $\beta$  e  $\gamma$  zeínas) que forma ligações cruzadas resultando em amido “hidrofóbico” (Hoffman & Shaver, 2008), o que dificulta o acesso de enzimas digestivas sobre o amido, prejudicando a digestibilidade deste nutriente (Danés & Ferraretto, 2012), e resultando na diminuição do aproveitamento energético das dietas (Vicente et al., 2007).

Muitos ingredientes das rações possuem fatores antinutricionais, que embora não sejam tóxicos para os animais, provocam efeitos fisiológicos adversos podendo dificultar a digestão e a absorção dos nutrientes, em especial as proteínas, e reduzir os valores energéticos das rações. Estão amplamente distribuídos na soja, e não podem ser degradados pelo sistema digestório dos suínos (Campestrini et al., 2005), a exemplo dos inibidores de

proteases, que ligam-se às enzimas proteolíticas e as tornam não funcionais (Viola, 1996).

Os principais fatores antinutricionais presentes na soja são os inibidores de tripsina, que também estão presentes no milho, porém em baixa concentração. Provocam bloqueio da ação da tripsina resultando em aumento excessivo da concentração plasmática de colecistoquinina, e desta forma, o pâncreas é continuamente estimulado a liberar mais enzima, provocando hipertrofia pancreática (Liddle et al., 1984).

Além disso, na composição bromatológica do farelo de soja, os carboidratos compõem 40% do seu peso seco, sendo que a metade é formada por carboidratos complexos, que apresentam função quase exclusivamente estrutural nas plantas (Choct, 1997), os quais compreende a celulose, hemicelulose, pectina,  $\beta$ -mananos, entre outros, conhecidos como polissacarídeos não amiláceos (PNAs) ou simplesmente fibras (Ward & Fodge, 1996). E a outra metade compreende os carboidratos não estruturais, correspondendo a uma baixa porção de amido, sacarose e oligossacarídeos.

Devido à natureza de suas ligações, a fibra não é digerida por ser resistente à hidrólise no trato digestivo (Rosa & Uttpatel, 2007).

Os polissacarídeos são classificados em função da identidade das suas unidades monossacarídicas repetitivas, no tipo de ligações ( $\alpha$  e  $\beta$ ) que os unem, no comprimento e no grau de ramificação das cadeias. Somente as ligações  $\alpha$  1-4 e  $\alpha$  1-6 do amido,  $\alpha$  1-2 entre a frutose da sacarose,  $\beta$  1-4 entre a glicose e a galactose da lactose e  $\alpha$  1-1 entre as unidades de glicose da trealose podem ser clivadas por enzimas endógenas de monogástricos. Todas as outras ligações são resistentes às enzimas digestivas endógenas (Tavernari et al., 2008).

O milho contém entre 9,7 e 10,3% de PNAs totais (Dierick & Decuyper, 1994; Bach Knudsen, 1997), enquanto que, o farelo de soja é constituído por cerca de 30,3% de PNAs (Tavernari et al., 2008).

Os PNAs são classificados como solúveis e insolúveis em função da capacidade de formar solução homogênea ou não com a água. Contudo, muitas das atividades antinutritivas são atribuídas diretamente aos polissacarídeos solúveis, apesar dos insolúveis também apresentarem efeito na taxa de passagem da digesta e na retenção de água (Lima & Viola, 2001).

A fibra solúvel é altamente fermentável, ocorrendo rápido aumento na população microbiana no intestino, e como defesa, o organismo do animal produz muco, que é rico em glicoproteínas onde os microrganismos ficam aderidos e são eliminados sem causar danos ao animal. Porém, a produção de muco pode prejudicar a digestão por tornar o meio viscoso, pois esta ocorre em meio líquido. A viscosidade da digesta leva a redução da taxa de difusão de partículas na digesta e diminui o contato enzima-substrato (Wenk, 2001), e impede que grande parte dos produtos que foram digeridos, sejam absorvidos.

Isso faz com que o tempo de retenção da digesta no trato gastrointestinal seja maior, causando redução no consumo de ração e maior disponibilidade de nutrientes para proliferação de microrganismos (Bedford, 1995). São mais facilmente e completamente fermentáveis em relação às fibras insolúveis devido a sua maior capacidade de retenção de água e assim permitir que as bactérias colonizem e iniciem a degradação (Sakomura et al., 2014). É composta por pectinas e, principalmente, pela hemicelulose (Conte et al., 2003).

Neste caso, o nutriente mais prejudicado é a gordura, uma vez que, o aumento da atividade microbiana promovida pelos PNAs no intestino delgado pode causar a desconjugação dos ácidos biliares e prejudicar o seu retorno ao fígado, e subsequente reciclagem junto à bile. Como resultado, tem-se redução na digestão das gorduras devido a menor concentração dos sais biliares e/ou baixa absorção afetada pelo aumento do muco (Smits & Anninon, 1996).

Já a fibra insolúvel, composta por celulosas, ligninas e algumas hemiceluloses, pode irritar a mucosa intestinal por abrasão mecânica, e levar a aumentos das secreções endógenas de muco e água e redução na altura das vilosidades (Jin et al., 1994), e maior velocidade do transito intestinal (Montagne, 2003).

De acordo com Sorbara et al. (2009), a maior parte dos PNAs presentes no farelo de soja, cerca de 9,2% na MS, são encontrados na forma insolúvel, enquanto o conteúdo de fibra solúvel corresponde à 6,3% na MS (Bach Knudsen, 2001) interferindo pouco na digestão com o aumento da viscosidade da digesta quando comparado com outros alimentos vegetais.

No entanto, mesmo sendo considerados grãos de baixa viscosidade, os componentes insolúveis dos PNAs presentes no milho e na soja podem encapsular nutrientes reduzindo a digestibilidade (Brum et al., 2006).

O principal PNA insolúvel encontrado na soja é a celulose, representado por cerca de 6,2% na MS (Bach Knudsen, 2001). São polímeros de glicose de cadeias longas, com ligações glicosídicas  $\beta$ -1,4 que não são hidrolisadas pelos monogástricos, por não produzirem enzimas para clivar essas ligações. Com isso, os nutrientes contidos no interior da célula vegetal, bem como a glicose que integra a estrutura celulolítica não são aproveitados pelos suínos.

Independente da fração (solúvel ou insolúvel), os PNAs representam a maior variação nos valores de CD quando consumidos pelos suínos, por ser menos digestível que outros nutrientes. A digestibilidade aparente da MS, PB, EB e de outros componentes não fibrosos, é inversamente relacionada com a proporção de fibra na dieta, ou a quantidade de consumo de fibra (Stanogias & Pearce, 1985).

Os PNAs conhecidos como  $\beta$ -mananos, encontrados na fração hemicelulose do farelo de soja, fazem parte de um grupo de carboidratos complexos (Dale, 1997), que não são digeridos pelas enzimas endógenas. Segundo Dierick (1989), polissacarídeos como os  $\beta$ -mananos são estruturas lineares compostas por repetidas  $\beta$ -1-4 manoses, 1-6 galactoses e unidades de glicose unidas a uma cadeia principal  $\beta$ -manana.

Os  $\beta$ -mananos estão principalmente associados com a casca e a fração de fibras do farelo de soja e são intimamente relacionados a efeitos antinutricionais devido às suas propriedades de aumentar a viscosidade da digesta (Reid, 1985), acarretando na redução da retenção de nitrogênio, absorção de gordura (Kratzer et al., 1967), absorção da glicose (Sambrook & Rainbird, 1985) e absorção de aminoácidos (Elsenhans et al., 1980).

Em adição, esses PNAs são detectados pelas células do sistema imune presentes na mucosa intestinal, o qual recruta células de defesa, gerando resposta imune com desvio energético (Scapini, 2015). A passagem de  $\beta$ -mananos pelo lúmen intestinal provoca um potente estímulo do sistema imunológico na mucosa intestinal, resultando na proliferação de macrófagos e monócitos e produção de citocinas, o que causa exacerbada sintomatologia

inflamatória e menor utilização de nutrientes pelo animal para produção (Johnson & Glee, 1986; Ross et al., 2002).

Assim, dietas com alto nível de  $\beta$ -mananos, além de afetarem a digestibilidade dos nutrientes, acarretam na redução dos valores energéticos do alimento (Kratzer et al., 1967).

Entre os carboidratos não-estruturais, os oligossacarídeos representam de 5 a 7% do peso seco do farelo de soja, constituído principalmente pelo grupo galacto-oligossacarídeos (GOS), conhecidos com oligossacarídeos da soja. São representados pela estaquiose e rafinose ou  $\alpha$ -galactosídeo, e não são aproveitados pelos monogástricos (Malathi & Devegowda, 2001; Graham et al., 2002), sendo fermentados por microrganismos no intestino grosso (Dierick & Decuypere, 1994; Karr-Lilienthal et al., 2005).

A estaquiose é considerada a mais abundante dentre os tetrassacarídeos em vegetais, formada por duas galactoses, glicose e frutose, enquanto que a rafinose é formada por frutose, galactose e glicose (trissacarídeo) unidos por ligações glicosídicas do tipo  $\alpha$ -1,6 (Lan et al., 2007). Os monogástricos não aproveitam esses oligossacarídeos por não produzirem a enzima  $\alpha$ -1,6-galactosidase para degradação desses compostos (Vinjamoori et al., 2004; Vahjen et al., 2005) dificultando a absorção dos nutrientes.

Tradicionalmente, aos GOS são atribuídos efeitos como aumento da viscosidade da digesta, incidência de diarreia e flatulência (Dersjant-Li & Peisker, 2010; Rodrigues Brasil et al., 2010). Essas ações podem levar a reduções nas digestibilidades da MS, PB e EB das dietas (Perryman & Dozier, 2012). Entretanto, animais com o sistema digestório desenvolvido, como suínos em crescimento ou adultos, possuem maior capacidade de degradar esses componentes, quando comparados a leitões recém-desmamados e aves (Zdunczyk, 2004).

Diante disso, pesquisas tem sido desenvolvidas com o objetivo de determinar as melhores opções de utilização dos alimentos para monogástricos. Simples ajustes nas dietas podem resultar em melhores valores de digestibilidade dos nutrientes e redução da quantidade de calor metabólico produzido pelos suínos (Muirhead, 1993) como IC, melhorando a eficiência alimentar.

## **2.4 Alternativas nutricionais que influenciam a digestibilidade e o aproveitamento energético dos alimentos**

São muitos fatores que afetam a utilização dos nutrientes pelos animais. Dessa forma, faz-se necessário o desenvolvimento de estratégias nutricionais que permitem o aproveitamento máximo do alimento consumido, proporcionando aumento da eficiência alimentar, redução de elementos poluentes no meio ambiente e diminuição dos custos na produção.

Dentre muitos métodos, pode-se destacar o processamento das dietas e utilização de enzimas exógenas na dieta.

### **2.4.1 *Processamento das dietas***

O processamento das dietas consiste na técnica de alterar a estrutura de um ingrediente em seu estado natural para obter retornos líquidos desta mudança quando em uso pelo animal (Bellaver & Nones, 2000). Pode ser físico e/ou químico, como a redução do tamanho de partículas, aglomeração, mistura, tratamento por calor, pressão e mudanças na estrutura dos nutrientes (Esminger, 1985).

O correto grau de moagem dos grãos de cereais da ração pode determinar variações no valor nutritivo dos alimentos (Zanotto et al., 1995). Mesmo que o amido (carboidrato predominante na ração de monogástricos) seja facilmente digerido pelos suínos e proporcionar baixa PC como IC, quando a ração é adequadamente processada, tem a digestibilidade dos seus nutrientes melhorada, aumentando ainda mais, o seu valor energético (Zanotto et al., 1999).

A redução do tamanho das partículas influencia a digestão do amido (Tse, 2006), por aumentar a exposição do grânulo às secreções digestivas (Danés & Ferraretto, 2012), ou seja, aumenta a área de superfície de contato por unidade de massa, o que facilita a difusão e ação das enzimas digestivas, melhorando a digestibilidade.

Além disso, o tamanho das partículas pode interferir no tempo de passagem do alimento no trato gastrointestinal, em que, partículas maiores

podem aumentar a velocidade do transito de passagem do alimento pelo trato digestivo, piorando a digestibilidade (Lawrence, 1970) e aproveitamento energético.

A moagem é realizada, basicamente, por meio de moinho de martelos ou moinho de rolos. O moinho de martelos é preferencialmente utilizado por possibilitar o processamento de maior variedade de ingredientes e permitir a produção de moagens mais finas em relação ao moinho de rolos (Martin, 1988).

A melhor forma de analisar o tamanho de partícula dos ingredientes é por meio de peneiramento (Oliveira et al., 1991). Segundo Handerson & Perry (1955), com a granulometria obtida por peneiramento pode-se obter as frações percentuais retidas em cada peneira e com elas determinar o tamanho médio da partícula, determinado como diâmetro geométrico médio (DGM) e expresso em milímetro (mm) ou micrômetro ( $\mu\text{m}$ ). O intervalo de variação está descrito pelo desvio geométrico padrão (DPG), que representa a uniformidade do tamanho da partícula (Amerah et al., 2007) e se correlaciona de forma negativa com o aumento da uniformidade (Zanotto & Monticelli, 1998).

De acordo com Zanotto et al. (1999), o tamanho das partículas pode variar de muito fina (400  $\mu\text{m}$ ) a excessivamente grossa (2.100  $\mu\text{m}$ ) de acordo com o diâmetro dos furos da peneira do moinho (tabela 1).

Tabela 1 - Tamanho de partículas de acordo com as peneiras

| Peneira (mm) | Tamanho de partícula ( $\mu\text{m}$ ) |
|--------------|----------------------------------------|
| 6,35         | 1.300 – 2.100                          |
| 4,75         | 1.000 – 1.200                          |
| 3,18         | 600 – 800                              |
| 2,38         | 500 – 600                              |
| 1,59         | 400 – 500                              |

Fonte: Adaptado Lenser (1985)

A redução do tamanho de partícula é um processo de duas etapas: primeiro ocorre a ruptura do revestimento externo da semente e logo após a exposição do seu endosperma (Goodband et al., 2002). Assim, o correto grau de moagem dos cereais pode permitir melhor aproveitamento dos nutrientes

(Zanotto et al., 1995), consequentemente, redução nos custos com alimentação.

Lawrence (1967) e Young (1970), ao avaliarem dietas para suínos em crescimento contendo milho moído grosseiramente e finamente, encontraram efeitos positivos da redução do tamanho de partícula sobre a digestibilidade dos nutrientes, com menores valores do CD da matéria seca (CDMS), da proteína bruta (CDPB) e no valor energético. Por outro lado, Yang et al. (1988), não encontraram efeito do grau de moagem do milho sobre a digestibilidade dos nutrientes.

Wondra et al. (1995), ao avaliarem o efeito do tamanho de partículas (1.000, 800, 600 e 400  $\mu\text{m}$ ) sobre a digestibilidade dos nutrientes em rações formuladas a base de milho, observaram aumento linear na digestibilidade com a redução do tamanho da partícula. As rações contendo tamanho de partícula de 400  $\mu\text{m}$  tiveram valores 3,80%, 5,90% e 5,04% maiores na digestibilidade da MS, do nitrogênio e EB, respectivamente, em relação às rações contendo tamanho de partícula igual a 1.000  $\mu\text{m}$ .

Ao avaliarem dietas contendo quatro tamanhos de partículas (509, 645, 799 e 1.026  $\mu\text{m}$ ) para suínos em crescimento, Zanotto et al. (1995) observaram aumento linear da digestibilidade dos nutrientes e valores de energia com a redução do tamanho de partícula, em que a ração contendo tamanho de partícula igual a 509  $\mu\text{m}$  proporcionou aumento de 4,73% e 5,50% na digestibilidade de MS e PB, respectivamente e 6,48% e 6,57% nos valores de ED e EM, respectivamente, que equivale ao incremento de 238 Kcal/kg de ED e 234 kcal/kg de EM, em relação à ração com tamanho de partícula igual a 1.026  $\mu\text{m}$ .

Entretanto, o tempo de passagem do alimento pelo trato gastrointestinal não foi afetado pelo tamanho das partículas, contrastando com os resultados obtidos por Lawrence (1970), que verificaram que a redução do tamanho de partícula reduz a velocidade da passagem da digesta pelo trato digestivo. De acordo com os autores, isso pode ter ocorrido pelos elevados valores do coeficiente de variação na análise desse parâmetro (30,7%), sugerindo que, as possíveis alterações nos valores de digestibilidade ocorreram pela maior superfície de exposição do alimento às secreções digestivas, e não pelo tempo de exposição do alimento a essas secreções.

Zanotto et al. (1999), ao avaliarem o valor energético do milho moído com DGM de 502, 746 e 1.054  $\mu\text{m}$ , observaram que houve aumento de 2,1% e 5,1% nos valores da EM (3.322, 3.392 e 3.491 kcal/kg) para os DGM 746 e 502  $\mu\text{m}$ , respectivamente, comparados aos de DGM de 1.054  $\mu\text{m}$ , indicando que o valor energético do milho pode ser aumentado em até 169 kcal/kg, em função da redução do DGM até 502 micrômetros.

Para cada aumento em 100  $\mu\text{m}$  no tamanho de partícula da ração, a partir de 700  $\mu\text{m}$ , existe declínio na eficiência alimentar, variando de 1,2% a 1,4%, o que custa ao produtor 3,5 kg a 4,5 kg a mais de ração para terminar um suíno (Richert, 2012).

Wondra et al. (1995) sugeriram que o tamanho de partícula ótimo de dietas fareladas contendo milho para suínos em crescimento é de aproximadamente 600  $\mu\text{m}$ , valor que fica entre a recomendação de Chae & Han (1998) que é 500 a 700  $\mu\text{m}$ , e de Zanotto et al. (1999), 509 a 650  $\mu\text{m}$ .

Além de modificar as características físicas, a redução do tamanho de partícula pode melhorar os processos de mistura, peletização, manuseio e transporte dos alimentos (Biagi, 1998). Porém, deve-se avaliar o custo com processamento, uma vez que, partículas moídas grosseiramente proporcionam maior eficiência em toneladas por hora de produção. Neste caso, de acordo com Laurinen et al. (2000) e Steinhart (2012), a redução do tamanho de partícula deve ser até o ponto em que vantagens e desvantagens sejam compensadas.

A peletização é a transformação da ração farelada em granulada por meio de processo físico-químico adicionando-se vapor à ração farelada submetendo-a aos fatores temperatura, umidade e pressão por um tempo determinado (Klein, 2009). Dentre os processamentos térmicos, a peletização tem sido o menos dispendioso em termos econômicos.

A qualidade do pélete está relacionada a capacidade de resistência à quebra entre a saída da fábrica até as granjas (Thomas & Van-Der-Poel, 1996). Tamanhos menores de partícula apresentam péletes de melhor qualidade em relação aos maiores, pois quanto menor o tamanho da partícula (entre 500 e 700 micros) maior será a superfície de contato e conseqüentemente maior será a ação do vapor sobre as mesmas, melhorando a eficácia do tratamento térmico (Klein, 1999). Por outro lado, partículas com diâmetro maior resultam

em pontos naturais de quebra dos péletes, originando maior proporção de finos (Thomas & Van-Der-Poel, 1996).

Entende-se por finos como sendo a porção da ração peletizada que está desagregada de sua estrutura inicial, em qualquer estágio da peletização, do transporte ou da manipulação da ração na granja, formando partículas de dimensões menores que os péletes (Penz Jr, 2001).

O fornecimento de rações peletizadas para suínos pode aumentar a digestibilidade e o aproveitamento energético da dieta devido à ação mecânica existente pela temperatura do processo (López et al., 2007), pois ocorre “pré-cozimento” das paredes celulares, o que desagrega os grânulos de amilose e amilopectina do amido e proporciona sua gelatinização parcial (Dozier, 2001).

A gelatinização do amido pode ser definida como a destruição irreversível da sua condição cristalina (Greenwood, 1970), ou seja, o rompimento da estrutura granular do amido. Assim, ocorre aumento da velocidade enzimática das amilases, que hidrolisam a molécula de amido em carboidratos simples e solúveis, proporcionando maior CD do amido (Van, 1994).

Ainda, segundo Couto (2012), a peletização contribui para a liberação das proteínas que estão quimicamente ligadas ao amido, alterando a estrutura terciária (desnaturação), proporcionando maior digestibilidade dos aminoácidos presentes na proteína dietética.

A peletização reduz a segregação ou a separação dos diferentes ingredientes e pode melhorar o consumo balanceado da ração. Também pode ocorrer menor desperdício, devido ao animal não poder separar e consumir os ingredientes de maior palatabilidade. Todos esses fatores associados pode melhorar significativamente a eficiência alimentar (Schmidt, 2006).

Ao estudar os efeitos da forma física da ração, Baird (1973) observou melhora significativa nos valores de EM da ração peletizada (5,39%), o que incrementou em 167 kcal/kg após a peletização. Wondra et al. (1995) observaram redução de 23% na excreção de MS e 22% na excreção de nitrogênio com a utilização da dieta peletizada. Os autores atribuíram a redução da excreção dos nutrientes ao aumento da digestibilidade da matéria orgânica, proteína e energia. Noblet & Champion (2003), observaram incremento de aproximadamente 170 kcal/kg de ED após a peletização da

dieta. DeJong et al. (2012) observaram que houve melhora sobre a eficiência calórica com base na energia metabólica (EM) e energia líquida (EL), nos animais alimentados com dietas peletizadas.

O aumento dos valores energéticos de rações peletizadas pode estar relacionado à menor PC metabólico gerado pelos animais no processo de digestão dos alimentos, ou seja, menor gasto energético em razão da redução dos possíveis fatores antinutricionais pelo tratamento térmico e aumento da eficiência enzimática sobre o alimento.

Ainda que a peletização promova benefícios, esta representa elevado custo de implantação e manutenção dos equipamentos, além de maior custo de energia elétrica, culminando em aumento de cerca de 2% no custo da ração (Couto, 2012). Dessa forma, é preciso identificar o tamanho de partícula e/ou forma física da dieta que proporcione melhor digestibilidade dos nutrientes, levando em conta os custos desses procedimentos.

#### *2.4.2 Suplementação enzimática*

Os aditivos enzimáticos utilizados em rações, embora não possuam função nutricional direta, auxiliam no processo digestivo com a melhora da digestibilidade dos nutrientes (Guimarães et al., 2009) e do aproveitamento energético de dietas que possam conter fatores antinutricionais e compostos como os PNAs e oligossacarídeos, que são minimamente digeridos ou não são digeridos.

A inclusão de enzimas exógenas às rações dos suínos promovem benefícios como: minimizar os efeitos negativos provocados pelos fatores antinutricionais presentes nos ingredientes; melhora na digestão do amido e proteínas; efeitos sobre a parede celular das fibras, provocando sua ruptura; e redução da viscosidade intestinal provocada pelos PNAs (Cantor, 1995) por reduzirem as fermentações indesejáveis no intestino, o que aumenta o contato entre as enzimas endógenas e seus substratos (gordura, amido e proteína), e a interação de auxiliares da digestão, tais como os sais biliares.

Todas as enzimas são proteínas, que possuem as estruturas proteicas primárias, secundárias, terciárias e quaternárias, essenciais para o exercício da atividade catalítica (Vieira, 2003).

Na nutrição animal, utiliza-se exclusivamente enzimas hidrolases, as quais, quando associadas a moléculas de água, promovem a cisão (quebra) de ligações covalentes, como fosfatases, glicosídeos e proteases. Podem ser fornecidas de forma suplementar à ação das enzimas endógenas (amilases, proteases e lipases), ou de forma aditiva visando reduzir os fatores antinutricionais de alguns ingredientes, bem como melhorar a disponibilidade dos nutrientes, principalmente aqueles encapsulados dentro da parede celular e/ou ligados em estrutura química que as enzimas endógenas dos animais não conseguem degradar eficientemente (Sakomura et al., 2014).

Por aumentarem a velocidade de uma reação (Campestrini et al., 2005), as enzimas promovem a digestão mais eficiente, com redução da necessidade de energia para manutenção (Sakomura et al., 2014). Em dietas para não ruminantes, a atividade enzimática deve ser suficientemente alta para permitir que o tempo de trânsito intestinal seja relativamente baixo (McCleary, 2001), permitindo melhor aproveitamento dos nutrientes pelo animal e proporcionando aumento do valor energético dos alimentos (Walsh et al., 1993).

Comercialmente, os produtos estão disponíveis no mercado de duas formas: complexos enzimáticos (associação de duas ou mais enzimas) ou isoladamente. Segundo Wenk et al. (1993), a utilização de uma enzima específica isoladamente deve ser feita quando se tem o objetivo de degradar um determinado fator antinutricional conhecido, que venha a prejudicar o aproveitamento dos nutrientes da dieta ou quando se sabe que o uso de determinada enzima em conjunto pode diminuir a atividade de ambas. Devido ao fato das enzimas serem muito específicas, o emprego de complexos enzimáticos tem sido proposto no uso em dietas à base de milho e farelo de soja, com intuito de melhorar o desempenho dos animais (Brum et al., 2006).

As enzimas são proteínas globulares que apresentam um sítio ativo onde o substrato se acopla, formando um complexo enzima-substrato. Desta forma, ocorre a reação de degradação do substrato liberando a enzima para continuar a reagir com outro substrato e gerar o produto da reação. As enzimas

têm especificidade por determinado substrato para catalisar uma determinada reação química.

A utilização da enzima exógena  $\alpha$ -amilase visa melhorar a degradação do amido, especialmente em animais mais jovens, que apresentam baixa produção desta enzima.

As proteínas pouco digestíveis podem ter seu uso potencializado por meio da utilização de proteases (Classen, 1996). Proteínas que são mal aproveitadas causam maior excreção de nitrogênio, que é um elemento poluidor, além de representar prejuízo econômico ao produtor por se tratar de um nutriente caro (Fireman & Fireman, 1998). Essas enzimas atuam na quebra das ligações peptídicas entre os aminoácidos das proteínas degradando-as a moléculas menores, contribuindo no aproveitamento deste nutriente.

Fireman & Fireman (1998), verificaram que em dietas que tenham a soja como ingrediente, a suplementação de proteases pode melhorar o valor nutricional desse alimento, pois essas enzimas degradam inibidores da tripsina presentes na soja. Neste sentido, o uso de protease exógena promove a melhora do aproveitamento dos aminoácidos e nitrogênio presentes nos alimentos destinados aos animais, direcionando-os para manutenção e crescimento, contribuindo com os valores energéticos da ração.

O efeito isolado das proteases é mais marcante em leitões desmamados precocemente, visto que, nessa fase, ainda não há produção de enzimas suficientes para degradar os nutrientes contidos principalmente nas matérias primas de origem vegetal. Neste contexto, a protease atua complementando a ação das enzimas digestórias endógenas que ainda estão com baixa produção. O efeito da adição dessas enzimas declina com a idade dos suínos, principalmente porque a capacidade de digestão aumenta com a idade (Mavromichalis, 2006).

Enzimas com atividades de proteases são utilizadas como alternativa para melhorar a qualidade do farelo de soja e de outros ingredientes proteicos. Entretanto, o efeito de proteases sobre a solubilidade da proteína do milho também é importante, pois degradam a matriz proteica que envolve o grânulo de amido, liberando-o para ação das enzimas endógenas (Carvalho, 2012).

Entretanto, o benefício do aumento do valor energético do alimento promovido pela suplementação enzimática, pode estar mais relacionado à

redução da produção de aminoácidos endógenos, do que à melhor digestão dos aminoácidos da dieta (Wyatt & Bedford, 1998). No entanto, tal benefício é maior em poupar o gasto energético, porque o animal gasta menos energia para realizar processos de digestão, o que resulta em mais energia disponível para processos produtivos (Barbosa et al., 2008).

Proteases exógenas determinam um papel diverso na nutrição animal, pois enzimas similares já estão presentes no trato gastrointestinal e possuem um espectro de atividade muito maior que outras enzimas exógenas como as PNases, por exemplo (Vinokurovas, 2009).

A maioria das enzimas utilizadas na nutrição animal são do tipo carboidrases, em particular para PNAs (Ott, 2005). São destinadas a degradação de carboidratos, hidrolisando ligações glicosídicas entre monossacarídeos e quebrando os oligossacarídeos e/ou polissacarídeos. Entretanto, é importante ressaltar que é difícil a avaliação dos efeitos isolados de carboidrases em virtude da maioria dos complexos enzimáticos possuírem também atividade de protease (Meneghetti, 2013).

A principal enzima carboidrase para degradação do PNA encontrado na soja é a celulase. Esta enzima hidrolisa as ligações  $\beta$ -1,4 glicosídicas nas cadeias de celulose (polímero de glicose de longas cadeias de glicopirranose), liberando nutrientes contidos no interior da célula vegetal e até a própria glicose que integra a estrutura celulolítica (Fireman & Fireman, 1998), ou seja, converte a celulose, que é um polissacárido complexo, em açúcares simples.

A enzima celulase, por catalisar reações para as quais o organismo não produz enzimas endógenas para este fim, tornam os nutrientes e a energia mais disponíveis para que sejam utilizadas pelos animais. Pode romper a parede celular, permitindo que as enzimas produzidas pelo animal tenham acesso ao interior das células dos grãos e, conseqüentemente, há liberação de nutrientes, passíveis de absorção, melhorando a metabolização da energia e o desempenho produtivo dos animais (Graham, 1996).

As enzimas, por serem muito específicas na sua reação catalítica, quando fornecidas isoladamente podem apresentar benefícios insuficientes para o aproveitamento dos alimentos pelos animais. Dessa forma, a suplementação de rações com complexos enzimáticos, atuando sobre uma série de polissacarídeos, pode ser mais efetiva (Vanbelle, 1992).

Pluske (1998), utilizando um complexo enzimático composto por amilase, protease e celulase, na dieta para leitões em crescimento, observaram que houve aumento de 5,5%, 2,7% e 6,4% da digestibilidade da MS, PB e EB, respectivamente, quando comparou à dieta sem enzima.

Por outro lado, Thacker (2001) e Costa et al. (2005), não observaram diferença significativa da suplementação do complexo enzimático (amilase, protease e celulase) sobre a digestibilidade dos nutrientes em dietas contendo farelo de soja como fonte de proteína. Entretanto, Costa et al. (2005), observaram aumentos numéricos na digestibilidade da maioria dos aminoácidos em resposta ao complexo enzimático, enquanto que Thacker (2001), observou aumento numérico de 3,1%, 4,0% e 3,6% na digestibilidade de MS, PB e EB, respectivamente.

Outra enzima do grupo das carboidrases é a mananase, que promove a hidrólise das ligações  $\beta$ -1,4-manano na cadeia principal de polímeros de manano (Stalbrand et al, 1993;. De Vries & Visser, 2001). Esta enzima provoca rápida diminuição na viscosidade de soluções de polissacarídeo e aumenta a acessibilidade de polímero, com outras enzimas (Barros, 2012). Além disso, esta enzima está ligada a redução da estimulação do sistema imune.

Petty et al. (2002), ao avaliarem a adição de  $\beta$ -mananase em dietas a base de milho e farelo de soja para suínos recém-desmamados, em crescimento e em terminação, não encontraram diferença significativa sobre os valores de digestibilidade em nenhuma fase. De acordo com os autores, isso pode ter ocorrido devido ao pequeno conteúdo de  $\beta$ -manana no farelo de soja.

Por outro lado, Radcliffe et al. (1999) observaram que a adição de  $\beta$ -mananase proporcionou aumento da digestibilidade ileal aparente da MS e a digestibilidade aparente total de EB quando incluídos em dieta para suínos à base de milho e farelo de soja.

Lv et al. (2013), ao avaliarem os efeitos da adição de níveis de  $\beta$ -mananase (0, 200, 400 e 600 U/kg) em dietas à base de milho e farelo de soja sobre a digestibilidade total aparente determinada para suínos na fase de crescimento, observaram que o aumento do nível de  $\beta$ -mananase na dieta melhorou a digestibilidade total de MS e PB.

Cho & Kim (2013), observaram maior digestibilidade de dietas com baixo nível de energia quando foi adicionado um complexo enzimático composto por

$\beta$ -mananase e xilanase. Porém, de acordo com Jackson et al. (2004) e Daskiran et al. (2004), a adição da enzima  $\beta$ -mananase sozinha apresenta melhores resultados sobre a digestibilidade dos nutrientes.

A utilização da  $\beta$ -mananase degrada os  $\beta$ -mananos e, com isso, reduz seu peso molecular e sua forte carga sobre o sistema imunológico (Jackson et al., 2003), resultando em menor agressão aos sistemas de defesa da mucosa intestinal. Com isso, há maior disponibilidade de EM (Dhawan & Kauer, 2007), pois, com a mucosa intestinal menos reativa, há menos gasto energético metabólico para manutenção (Stanley et al., 2012) e a energia, antes gasta no processo imunológico, é direcionada à produtividade.

Quanto aos oligossacarídeos, a carboidrase  $\alpha$ -galactosidase atua clivando as ligações  $\alpha$ -1,6 dos GOS (Choct et al., 2010). Baucells et al. (2000) observaram que a suplementação de  $\alpha$ -galactosidase em dietas contendo milho, cevada, farelo de soja e ervilha, para suínos em terminação, proporcionou resultados positivos. Foram constatados incrementos de 2,91% e 12,50% nas digestibilidades da MS e PB, respectivamente.

De acordo com Coon et al. (1990), a remoção da estaquiose e rafinose do farelo de soja pode aumentar a EM das dietas e reduzir a velocidade da taxa de passagem da digesta.

Entretanto, Smiricky et al. (2002), não observaram efeito significativo sobre a digestibilidade com adição de  $\alpha$ -galactosidase.

Os suínos em crescimento apresentam o sistema digestório desenvolvido, possuindo maior capacidade de degradar os oligossacarídeos da soja, que são os componentes que essa enzima atua (Zdunczyk, 2004). Segundo Bedford & Patridge (2011), os efeitos benéficos dessa enzima são mais esperados em aves, uma vez que, os suínos apresentam maior metabolizabilidade da energia do farelo de soja.

De acordo com Ruiz et al. (2008), a determinação da digestibilidade total ou digestibilidade fecal aparente de dietas suplementadas com enzimas exógenas nem sempre promove incrementos no aproveitamento de nutrientes pelos animais devido à atividade microbiana no intestino grosso desses animais. Consequentemente, os nutrientes excretados nas fezes não correspondem exatamente a materiais não-digeridos no intestino delgado, podendo haver também produtos de origem microbiana.

A comparação de resultados sobre suplementação enzimática de dietas para suínos é bastante complexa. Os dados científicos sobre digestibilidade de nutrientes e suplementação enzimática são mais consistentes para leitões recém-desmamados (Bedford et al., 1992; Inbarr et al., 1993; Li et al., 1996; Jensen et al., 1998). Animais jovens têm o sistema digestório imaturo e produção insuficiente de diversas enzimas para digestão de ingredientes de origem vegetal. Assim, fatores antinutricionais presentes nestes ingredientes, afetam mais severamente os animais jovens do que os adultos, fato que possibilita maior expressão dos efeitos positivos das enzimas exógenas adicionadas às dietas dos animais nessa fase (Ruiz et al., 2008).

As melhoras significativas obtidas pelo uso de enzimas nas dietas permite alterações nas formulações das rações de forma a minimizar o custos. Entretanto, alguns fatores podem comprometer a utilização das enzimas pelos animais como as interações fisiológicas, que ocorrem no animal em resposta a alterações do ambiente, idade, exigência nutricional, desequilíbrio de nutrientes da dieta, nível de consumo, etc. O tipo de ingrediente utilizado na dieta também pode afetar a utilização das enzimas, pois alguns alimentos podem apresentar fatores antinutritivos que variam de acordo com as condições de produção da planta, colheita, secagem e armazenamento (Sakomura et al., 2014).

Resultados sobre a eficácia de enzimas exógenas na alimentação de suínos nas fases de crescimento e terminação, consumindo dietas compostas principalmente por milho e farelo de soja, ainda são inconsistentes. De acordo com Bisneto et al. (2013), rações formuladas a base desses cereais apresentam pouca margem de ganho em digestibilidade com a inclusão de complexos enzimáticos exógenos, visto que são alimentos com pouca interferência dos fatores antinutricionais.

Dessa forma, considerando a importância de milho e farelo de soja na suinocultura brasileira e o elevado consumo de ração nestas fases, são necessários estudos que evidenciem melhor a atividade das enzimas no trato gastrointestinal (Amorim et al., 2011).

### **3. Referências bibliográficas**

AMARAL, N.O. Efeito da granulometria do milho sobre a cinética da digestão do amido e níveis de lisina para suínos em crescimento. 2011. 87f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

AMERAH, A. M., RAVINDRAN, V., LENTLE, R. G., et al. Feed particle size: Implications on the digestion and performance of poultry. *World's Poult. Sci. J.* v.63, n.3, p.439-455, 2007.

AMORIM, A.B.; ZANGERONIMO, M.G.; THOMAZ, M.C. Enzimas exógenas para suínos. *Rev. Eletr. Nutr.* v.8, n.2, p.1469-1481, 2011.

ANDRIGUETTO, J.M. PERLY, L.; MINARDI, I. et al. Nutrição animal: alimentação animal. 3. ed. São Paulo: Nobel, 1983. v.2, 425p.

APOLÔNIO, L.R.; DONZELE, J.L.; OLIVEIRA, R.F.M. et al. Digestibilidade ileal de aminoácidos de alguns alimentos, determinada pela técnica da cânula T simples com suínos. *R. Bras. Zootec.*, v.32, n.3, p.605-614, 2003.

BACH KNUDSEN, K.E. The nutritional significance of "dietary fibre" analysis. *Anim. Feed Sci. Technol.*, v.90, n.1-2, p.3-20, 2001.

BACH KNUDSEN, K.E. Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. *Anim. Feed Sci. Technol.*, v.67, n.4, p.319 - 338, 1997.

BAIRD, D. M. Influence of pelleting swine diets on metabolizable energy, growth and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.*, v.36, n.3, p.516-520, 1973.

BARBOSA, N.A.A.; SAKOMURA, N.K.; FERNANDES, J.B.K.; DOURADO, L.R.B. Enzimas exógenas no desempenho e na digestibilidade ileal de nutrientes em frangos de corte. *Pesq. Agro. Bras.*, v.43, n.6, p.755-762, 2008.

BARROS, V.R.S.M. Utilização de  $\beta$ -mananase e mananoligossacarídeo em rações de frangos de corte. 2012. 72f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Alagoas, Alagoas.

BAUCELLS, F.; PEREZ, J.F.; MORALES, J. et al. Effect of á-galactosidase supplementation of cereal-soya-bean-pea diets on the productive performances, digestibility and lower gut fermentation in growing and finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, v.71, n.1, p.157-164, 2000.

BEDFORD, M.R.; PARTRIDGE, G.G. (2 ºEd.) Enzymes in farm animal nutrition. Oxford: CAB PUBLISHING, 2011.

BEDFORD, M.R. Mechanism of action potential environmental benefits from the use of feed enzymes. *Anim. Feed Sci. Technol.*, v.53, n.2, p.145-155, 1995.

BEDFORD, M.R.; PATIENCE, J.F.; CLASSEN, H.L. et al. The effect of dietary enzyme supplementation of rye and barley based diets on digestion and subsequent performance in weanling pigs. *Can. J. Anim. Sci.*, v.72, n.1, p.97-105, 1992.

BELLAVER, C.; LUDKE, J. V. Considerações sobre os alimentos alternativos para dietas de suínos. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DOS NEGÓCIOS DA PECUÁRIA, 2004, Cuiabá. *Anais...* Cuiabá: ENIPEC, 2004. p.102.

BELLAVER, C.; NONES, K. A importância da granulometria, da mistura e da peletização da ração avícola. In: IV Simpósio Goiano de Avicultura, 2000, Goiânia. *Anais...* Goiânia: [s.n.] 2000.

BIAGI, J. D. Implicações da granulometria de ingredientes na qualidade de peletes e economia da produção de rações. In: SIMPÓSIO DE GRANULOMETRIA DE INGREDIENTES E RAÇÕES PARA SUÍNOS E AVES. 1998, Concordia. *Anais...* Concórdia: [s.n.]1998, p.57-71.

BISNETO, P.A.B.; SILVA, L.A.; SOUSA, F.A.; LIMA, S.B.P. Energia metabolizável das rações sobre a ação de complexos enzimáticos em frangos de corte de 11 a 20 dias. 2013. Monografia (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal do Piauí – Teresina.

BOMFIM, M.A.D.; LANNA, E.A.T. Fatores que afetam os coeficientes de digestibilidade nos alimentos para peixes. *Rev. Eletr. Nutr.*, v.1, n.1, p.20-30, 2004.

BRUM, P.A.R.; AVILA, V.S.; LIMA, G.J.M.M. et al. Utilização de  $\alpha$ -amilase em dietas à base de milho e farelo de soja de frangos de corte: efeito da energia metabolizável e no desempenho. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: SBZ, 2006.

BÜNZEN, S.; SALGUERO, S.; ALBINO, L.F.T. et al. Recentes avanços na nutrição de suínos. In: SIMPÓSIO BRASIL SUL DE SUINOCULTURA, 2008, Chapecó. *Anais...* Chapecó: [s.n.] 2008.

BUTOLO, J. E. Qualidade de ingredientes na alimentação animal. Campinas, SP: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 2002. p.157-160.

CAMPESTRINI, E.; SILVA, V.T.M.; APPELT, M.D. Utilização de enzimas na alimentação animal. *Rev. Eletr. Nutr.*, v.2, n.6, p.259-272, 2005.

CANTOR, A. Enzimas usadas na Europa, Estados Unidos e Ásia. Possibilidades para uso no Brasil. In: RONDA LATINO AMERICANA DE BIOTECNOLOGIA, 5., 1995, Curitiba. *Anais...* Curitiba: Alltech, 1995, p.31-42.

CARVALHO, J. Pontos a serem considerados no uso de Proteases para monogástricos. 2012. Disponível em: <  
<http://nftalliance.com.br/artigos/aves/pontos-a-serem-considerados-no-uso-de-proteases-para-monogastricos>>. Acessado em 12 jun. 2016.

CASTRO JUNIOR, F.G.; CAMARGO, J.C.M.; CASTRO, A.M.M.G.; BUDIÑO, F.E.L. Fibra na alimentação de suínos. *Boletim de Indústria Animal*, v.62, n.3, p.265-280, 2005.

CHAE, B.J.; HAN, I.K. Processing effects of feeds in swine – Review. *J. Anim. Sci.*, v.11, n.5, p.597-607, 1998.

CHARLTON, P. Expanding enzyme application: higher aminoacid and energy values for vegetable proteins. In: BIOTECHNOLOGY IN THE FEED INDUSTRY, 12, 1996, Nottingham. *Anais...* Nottingham: Nottingham University Press, 1996. p.317-326.

CHO, J.H.; KIM, I.H. Effects of beta-mannanase supplementation in combination with low and high energy dense diets for growing and finishing broilers. *Lives. Sci.*, v.154, n.1-3, p.137-146, 2013.

CHOCT, M.; DERSJANT-LI, Y.; MCLEISH, J.; PISKER, M. Soy oligosaccharides and soluble non-starch polysaccharides: a review of digestion, nutritive and antinutritive effects in pigs and poultry. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.*, v.23, n.10, p.1386-1398, 2010.

CHOCT, M. Feed non-starch polysaccharides: Chemical structures and nutritional significance. *Feed Milling International*, p.13-26, 1997.

CHWALIBOG, A. Physiological basis of heat production – The fire of life. *Research School of Nutrition and Physiology*, 2004. 23p.

CHWALIBOG, A. Energetics of Animal Production. *Acta Agric. Scand.*, v.41, n.2, p.147-160, 1991.

CLASSEN, H.L. Cereal grain starch and exogenous enzymes in poultry diets. *Anim. Feed Sci. Technol.*, v.62, n.1, p.21-27, 1996.

CLOSE, W. H. Fibrous diets for pigs. *Pig News Information*, v.15, p.65, 1994.

CONTE A.J.; TEIXEIRA A.S.; FIALHO E.T. et al. Efeito da Fitase e Xilanase sobre o Desempenho e as Características Ósseas de Frangos de Corte

Alimentados com Dietas Contendo Farelo de Arroz. *Rev. Bras. Zootec.*, v.32, n.5, p.1147-1156. 2003.

COON, C.N.; LESKE, K.L.; AKAVANICHAN, O.; CHENG, T.K. Effect of oligosaccharide-free soyabean meal on true metabolizable energy and fiber digestion in adult roosters. *Poult. Sci.*, v.69, n.12, p.787-793, 1990.

COSTA, M.C.R. Farelo de gérmen de milho desengordurado na alimentação de suínos como fonte de ácido fólico. 2005. 91f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

COUTO, H. P. Fabricação de rações e suplementos para animais. 2ª edição. Viçosa: Editora Aprenda Fácil. 2012. p.226.

CVB, Veevoedertabel: Gegevens over chemische samenstelling, verteerbaarheid en voederwaarde van voedermiddelen). Centraal Veevoeder Bureau, Países Baixos. 1998.

DALE, N. Current status of feed enzymes for swine. In: HEMICELL, poultry and swine feed enzyme. Gaithersburg: ChemGen, 1997. p.56.

DANÉS, M.A.C.; FERRARETTO, L.F. Estratégias para aumentar a digestibilidade de amido na silagem e no grão de milho. 2012. Disponível em: <<http://www.milkpoint.com.br/radar-tecnico/nutricao/estrategias-para-aumentar-a-digestibilidade-de-amido-na-silagem-e-no-grao-de-milho-81326n.aspx>>. Acessado em: 10 de jun. 2016.

DASKIRAN, M.; TEETER, R.G.; FODGE, D.W.; HSIAO, H.Y. An evaluation of endo- $\beta$ -D-mannanase (Hemicell) effects on broiler performance and energy use in diets varying in  $\beta$ -mannan content. *Poult. Sci.*, v.83, n.4, p.662-668, 2004.

DeJONG, J.A.; TOKACH, M.D.; GOODBAND, R.D., et al. Effects of corn particle size, complete diet grinding, and diet form on finishing pig growth

performance, caloric efficiency, carcass characteristics and economics. *Kansas Swine Industry Day Report of Progress*, p.316-324, 2012.

DE VRIES R.P.; VISSER J. Aspergillus enzymes involved in degradation of plant cell wall polysaccharides. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, v.65, n.4, p.497-522, 2001.

DERSJANT-LI, Y.; PEISKER, M. The impact of soy oligosaccharides on digestion and intestinal health in weaning piglets. *Liv. Sci.*, v.134, n.1-3, p.187-189, 2010.

DHAWAN, S.; KAUR, J. Microbial mannanases: an overview of production and applications. *Critical Rev. Biotechnol.*, v.27, n.4, p.197-216, 2007.

DIERICK, N.A. Biotechnology aids to improve feed and feed digestion: enzymes and fermentation. *Arch. Anim. Nutr.*, v.39, n.3, p.241- 251, 1989.

DIERICK, N.A.; DECUYPERE, J.A. Enzymes and growth in pigs. In: Cole, D.J.A.; Wiseman, J.; Varley, M.A. (Eds). *Principles of pig science*. Nottingham: Nottingham University Press, 1994. p.169-195.

DOZIER, W. A. Pelet de calidad para obtener carne de ave más económica. *Alim. Balac. Anim.*, v.8, p.16-19, 2001.

DUKES, H.H, *Fisiologia dos animais domésticos*. Rio de Janeiro: Guanabara Koongan S.A., 1998. p.521-548.

ELSENHANS, B.; SUFKE, U.; CASPARY, W. The influence of carbohydrate gelling agents on rat intestinal transport of monosaccharides and neutral amino acids in vitro. *Clinin. Sci.* v.59, n.5, p.373-380, 1980.

ESMINGER, M.E. Processing effects. In: *Feed Manufacturing Technology III*. AFIA. 1985. Cap. 66. p.529-533.

FARIA, H.G. Considerações sobre dietas experimentais para animais de laboratório: formulações, aplicações, fornecimento e efeitos experimentais. In: I SIMPÓSIO DE BIOTERISMO DA FIOCRUZ, 2010, Recife. *Anais...* Recife [s.n.] 2010. p.1-16.

FARIA, D.E.; SANTOS, A.L. Exigências nutricionais de galinhas poedeiras. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE AVES E SUÍNOS, 2005, Viçosa. *Anais...* Viçosa [s.n.] 2005. p.315-329.

FERREL, C.L. Energy Metabolism. In: CHURCH, D. C. (Ed). The ruminant animal. Digestive physiology and nutrition. Englewood Cliffs: Waveland Press Inc., 1988. p.283-303.

FIALHO, E.T.; OST, P.R.; OLIVEIRA, V. Interações ambiente e nutrição – estratégias nutricionais para ambientes quentes e seus efeitos sobre o desempenho e características de carcaça de suínos. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL VIRTUAL SOBRE QUALIDADE DE CARNE SUÍNA, 2001, Concórdia. *Anais...* Concórdia [s.n.] 2001. p.351-359.

FIREMAN, F.A.T.; FIREMAN, A.K.B.A.T. Enzimas na alimentação de suínos. *Ciência Rural*, v.28, n.1, p.173-178, 1998.

FONTES, C.A.A.; OLIVEIRA, R.C.; ERBESDOBLER, E.D.; QUEIROZ, D.S. Uso do abate comparativo na determinação da exigência de energia de manutenção de gado de corte pastejando capim-elefante: Descrição da metodologia e dos resultados. *Rev. Bras. Zootec.*, v.34, n.5, p.1721-1729, 2005.

GIMENES, R. Metabolismo Energético. 2012. Disponível em: <<http://professorrodrigogimenes.blogspot.com.br/2012/09/metabolismo-energetico.html>>. Acessado em 05 abr. 2016.

GOODBAND, R. D.; TOKACH, M. D.; NELSEN, J. L. The effects of diet particle size on animal performance. In: MF-2050 FEED MANUFACTURING. Kansas State University. 2002. p.2-6.

GRAHAM, K.K.; KERLEY, M.S.; FIRMAN, J.D.; ALLEE, G. L. The effect of enzyme treatment of soybean meal on oligosaccharide disappearance and chick growth performance. *Poult. Sci.*, v.81, n.7., p.1014-1019, 2002.

GRAHAM, H. Mode de action of feed enzymes in diets based on low viscous and viscous grains. In: SIMPOSIO LATINO AMERICANO DE NUTRIÇÃO DE SUÍNOS E AVES, 1996, Campinas. *Anais...* Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 1996. p.60- 69.

GREENWOOD, C.T. Organization of starch granules. The Carbohydrates, Chemistry and Technology (Ed. PIGMAN, W.; HORTON, D.). 2. ed. Academic Press, London, UK, p.471, 1970.

GUIMARÃES, T.P.; MOREIRA, K.K.G.; ARAÚJO, E.P. et al. Conceitos e exigências de energia para bovinos de corte. *Rev. Bras. Agro.*, v.18, n.1-4, p.54-67, 2012.

GUIMARÃES, I.G.; FALCON, D.R.; SCHICH, D. et al. Digestibilidade aparente de rações contendo complexo enzimático para tilápia-do-nilo. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.61, n.6, p.1397-1402, 2009.

HANDERSON, S.M.; PERRY, R.L. Agricultural process engineering. New York: John Wiley and Sons, 1955, 402p.

HOFFMAN, P.C.; SHAVER, R.D. Corn biochemistry: Employing cereal chemistry techniques in grain and corn silage analysis. 2008. Disponível em: <[www.das.psu.edu/dairy/nutrition/pdf-dairynutrition/hoffman-corn-grain-silage-analysis.pdf](http://www.das.psu.edu/dairy/nutrition/pdf-dairynutrition/hoffman-corn-grain-silage-analysis.pdf)>. Acessado em: 05 abr. 2016.

HOLMES, C.W.; CLOSE, W.H. Influence of climatic variables on energy metabolism and associated aspects of productivity in the pigs. In: NUTRITION AND CLIMATIC ENVIRONMENT, BUTTERWORTHS, 1977, Butterworths. *Anais...* Butterworths [s.n.] 1977. p.51-73.

INBORN, J.; SCHMITZ, M.; AHRENS, F. Effect of adding fibre and starch degrading enzymes to a barley/wheat based diet on performance and nutrient digestibility in different segments of the small intestine of early weaned pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, v.44, n.1-2, p.113-127, 1993.

JACKSON, M.E.; GERONIAN, K.; KNOX, A. et al. A dose-response study with the feed enzyme  $\beta$ -mannanase in broilers provided with cornsoybean meal based diets in the absence of antibiotic. *Poult. Sci.*, v.83, n.12, p.1.992-1.996, 2004.

JACKSON, M.E.; ANDERSON, D.M.; HSIAO, H.Y. et al. Beneficial effect of  $\beta$ -mannanase feed enzyme on performance of chicks challenged with *Eimeria* sp. and *Clostridium perfringens*. *Avian Diseases*, v.47, n.3, p.759-763, 2003.

JENSEN, M.S.; BACH KNUDSEN, K.E.; INBORN, J. et al. Effect of  $\beta$ -glucanase supplementation on pancreatic enzyme activity and nutrient digestibility in piglets fed diets based on hulled and hullless barley varieties. *Anim. Feed Sci. Technol.*, v.72, n.3-4, p.329-345, 1998.

JIN, L.; REYNOLDS, L.P.; REDMER, D.A. et al. Effects of dietary fiber on intestinal growth, cell proliferation, and morphology in growing pigs. *J. Anim. Sci.*, v.72, n.9, p.2270-2278, 1994.

JOHNSON, I. T.; AND GEE, J. M., Gastrointestinal adaptation in response to soluble non-available polysaccharides in the rat. *Brit. J. Nutr.*, v.55, n.3, p.497-505, 1986.

KARR-LILIENTHAL, L.K.; KADZERE, C.T.; GRIESHOP, C.M. et al. Chemical and nutritional properties of soybean carbohydrates as related to nonruminants: a review. *Liv. Prod. Sci.*, v.97, n.1, p.1-12, 2005.

KLEIBER, M. Bioenergetica Animal: El fuego de la vida. 1. ed. Zaragoza: Editorial Acribia, 1972. 428p.

KLEIN, A. A. Peletização de rações: aspectos técnicos, custos e benefícios e inovações tecnológicas. 2009. Disponível em: <[http://www.fatec.com.br/info\\_tecnicos\\_interna.php?id=14](http://www.fatec.com.br/info_tecnicos_interna.php?id=14)>. Acessado em 20 mai. 2016.

KLEIN, A A.1999. Pontos Críticos no processo de fabricação de ração : Uma abordagem prática. In: V SIMPÓSIO GOIANO DE AVICULTURA. 1999, Goiânia. *Anais...* Goiânia: [s.n.] 1999. p. 59-77.

KRATZER, F.; RAJAGURER, R.; VOHRA, P. The effect of polysaccharides on energy utilization, N-retention and fat absorption in chickens. *Poult. Sci.* v.46, p.1.489-1493, 1967.

LAN, Y.; WILLIAMS, B.A.; VERSTEGEN, M.W.A. et al. Soy oligosaccharides in vitro fermentation characteristics and its effect on caecal microorganisms of young broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.*, v.133, n.3, p.286-297, 2007.

LASSITER, J.M.; EDUARDES JUNIOR, H.M. Animal nutrition. Reston Publishing Company. 1982.

LAURINEN, P.; SILJANDER-RASI, H.; KARHUNEN, J. et al. Effects of different grinding methods and particle size of barley and wheat on pig performance and digestibility. *Anim. Feed Sci. Tech.*, v.83, n.1, p.1-16, 2000.

LAWRENCE, T.L.J.; FOWLER, V.R. Growth of farm animals. CAB International 1997, 321p.

LAWRENCE, T.L.J. Some aspects of including differently processed barley in diet of the growing pig. *Anim. Prod.*, v.12, p.139-150, 1970.

LAWRENCE, T.L.J. High level cereal diets for the growing/finishing pig. II. The effect of cereal preparation on the performance of pigs fed diets containing high levels of maize, sorghum and barley. *J. Agric. Sci.*, v.69, n.2, p.271-281, 1967.

LENSER, G.W. Feed Manufacturing Technology III. AFIA, 1985.

LI, S.; SAUER, W.C.; HUANG, S.X. et al. Effect of  $\alpha$ -glucanase supplementation to hulless barley or wheat - soybean meal diets on the digestibilities of energy, protein, b-glucans and amino acids in young pigs. *J. Anim. Sci.*, v.74, n.7, p.1649-1656, 1996.

LIDDLE, R.A., GOLDFINE, I.D., WILLIAMS, J.A. Bioassay of plasma cholecystokinin in rats: effects of food, trypsin inhibitor, and alcohol. *Gastroenterology*, v.87, n.3, p.542-549, 1984.

LIMA G.J.M.M.; VIOLA E.S. Ingredientes energéticos: trigo e tritcale na alimentação animal. In: SIMPÓSIO SOBRE INGREDIENTES NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL. 2001, Campinas. *Anais...* Campinas: CBNA, 2001. p.33-61.

LOFGREEN, G.P., GARRET, W.N. A system for expressing net energy requirement and feed values for growing and finishing beef cattle. *J. Anim. Sci.*, v.27, n.3, p.793-806, 1968.

LOHMANN, A. C., POZZA, P. C., NUNES, R. V. et al. Digestibilidade das silagens de grãos úmidos de milho com diferentes granulometrias para suínos. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.62, n.1, p.154-162, 2010.

LÓPEZ, C.A.A.; BAIÃO, N.C.; LARA, L.J.C. et al. Efeitos da forma física da ração sobre a digestibilidade dos nutrientes e desempenho de frangos de corte. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.59, n.4, p.1006-1013, 2007.

LV, J.N.; CHEN, Y.Q.; GUO, X.J. et al. Effects of supplementation of  $\beta$ -mannanase in corn-soybean meal diets on performance and nutrient digestibility in growing pigs. *Asian-Australas J. Anim. Sci.*, v.26, n.4, p.579-587, 2013.

MACIEL, R. Uso de óleos e gorduras nas rações. 2012. Disponível em: <[http://www.dzo.ufra.br/Roberto/uso\\_oleos\\_gorduras.pdf](http://www.dzo.ufra.br/Roberto/uso_oleos_gorduras.pdf)>. Acessado em 05 abr. 2016.

MALATHI, V.; DEVEGOWDA, G.; In vitro evaluation of nonstarch polysaccharide digestibility of feed ingredients by enzymes. *Poult. Sci.*, v.80, n.3, p.302-305, 2001.

MARTIN, S. Particle size reduction. In: NFIA - feed manufacturing short course. Kansas: Kansas State University. 10p. 1988.

MAVROMICHALIS, I. Applied nutrition for young pigs. London: CAB International, 2006. v.1, p.297.

MCCLEARY B.V. Analysis of Feed Enzymes. In: Bedford, M.R. & Partridge, G.G. (ed.) Enzymes in farm animal nutrition. Oxford, CAB Publishing, 2001.

MENEGHETTI, C. Associação de enzimas em rações para frangos de corte. 2013. 96f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

MIYADA, V.S. Novas tendências para a nutrição de suínos em clima quente. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA E QUALIDADE NA PRODUÇÃO INDUSTRIAL DE SUÍNOS, 1999, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba [s.n.] 1999. p.34-60.

MONTAGNE, L.; PLUSKE, J.R.; HAMPSON, D.J. A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on

digestive health in young non-ruminant animals *Anim. Feed Sci. Technol.*, v.108, n.1-4, p.95-117, 2003.

NOBLET, J.; VAN MILGEN, J. Energy value of pig feeds: Effect of pig body weight and energy evaluation system. *J. Anim. Sci.*, v.82, p.229-238, 2004.

NOBLET, J.; CHAMPION, M. Effect of pelleting and body weight on digestibility of energy and fat of two corns in pigs. *J. Anim. Sci.* v.81, p.140. 2003.

NOBLET, J. Avaliação energética em suínos. In: WORKSHOP LATINOAMERICANO AJINOMOTO BIOLATINA DE NUTRIÇÃO DE AVES E SUÍNOS, 2001, Foz do Iguaçu. *Anais...* Foz do Iguaçu: [s.n.] 2001, p.2-17.

NOBLET, J.; FORTUNE, H.; SHI, X.S.; DUBOIS, S. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *J. Anim. Sci.*, v.72, n.2, p.344-354, 1994.

NOBLET, J.; SHI, X.S.; DUBOIS, S. Metabolic utilization of dietary energy and nutrients for maintenance energy requirements in sows: basis for net energy system. *Brit. J. Nutr.* ,v.70, n.2, p.407-419, 1993.

NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient requirements of swine. 11.ed. Washington: 6 National Academic Press, 2012.

NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient requirements of swine. 10.ed. Washington: National Academic Press, 1998.

OLIVEIRA, P.A.V. de; MARTINS, R.R.; LIMA, G.J.M.M. de; FIALHO, F.B. Avaliação de sistemas de armazenagem e equipamentos para a produção de rações em pequenas propriedades. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20, 1991, Londrina. *Anais...* Londrina, SBEA, 1991. p.1589-1602.

OTT, R. P. Utilização de carboidrases em dietas para frangos de corte. 2005. 83p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PENZ Jr., A.M. Recentes avanços na nutrição de frangos de corte. In: ENCONTRO TÉCNICO SOBRE AVICULTURA DE CORTE DA REGIÃO DE DESCALVADO. 2001, Descalvado. *Anais...* Descalvado: Associação dos Criadores de Frangos da Região de Descalvado, 2001. p.15-26.

PERRYMAN, K. R.; DOZIER, W. A. Apparent metabolizable energy and apparent ileal amino acid digestibility of low and ultra-low oligosaccharide soybean meals fed to broiler chickens. *Poult. Sci.*, v.91, n.10, p.2556-2563, 2012.

PETTEY, L.A.; CARTER, S.D.; SENNE, B.W.; SHRIVER, J.A. Effect of beta-mannanase adding to corn-soybean meal diets on growth performance, carcass traits, and nutrient digestibility of weanling and growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, v.80, n.4, p.1012-1019, 2002.

PLUSKE, J.R.; MOREL, P.C.H.; JAMES, E.A.C. et al. Vegpro increases fecal digestibility coefficients in pigs fed soybean meal and canola meal. In: ALLTECH ANNUAL SYMPOSIUM, 1998, Lexington. *Anais...* Lexington: [s.n.] 1998.

RACKIS, J.J.; GUMBMANN, M.R. Protease inhibitors: physiological properties and nutritional significance. In: ORY, R.L. Antinutritional and natural toxicants in foods. Westport: Food & Nutrition Press, 1982. p.203-237.

RADCLIFFE, J.S.; ROBBINS, B.C.; RICE, J.P. et al.. The effects of Hemicell® on digestibilities of minerals, energy, and amino acids in pigs fitted with steered ileo-cecal valve cannulas and fed a low and high protein corn-soybean meal diet. *J. Anim. Sci.*, v.77, p.197, 1999.

REID, J.S.G. Galactomannans. In: Dey, P.M. and Dixon, R.A. (eds) *Biochemistry of Storage Carbohydrates in Green Plants*. Academic Press, London, p.205- 288, 1985.

RESENDE, K.T.; TEIXEIRA, I.A.M.A.; FERNANDES, M.H.M.R. Metabolismo de energia. In: *NUTRIÇÃO DE RUMINANTES* (ed) Jaboticabal: Telma Teresinha Berchielli, Alexandere Vaz Pires e Simone Gisele de Oliveira, 2006. p.311-332.

RICHERT, B.T. Swine feed processing and manufacturing. *National swine nutrition guide*. 2012. p.1-7.

RODRIGUES BRASIL, A. P.; DE REZENDE, S. T.; DO CARMO GOUVEIA PELÚZIO, M. et al. Removal of oligosaccharides in soybean flour and nutritional effects in rats. *Food Chem.*, v.118, n.2, p.251-255, 2010.

ROSA, A.P.; UTTPATEL, R. Uso de enzimas nas dietas para frangos de corte. In: VIII SIMPÓSIO BRASIL SUL DE AVICULTURA, 2007, Chapecó. *Anais...* Chapecó [S.N.] 2007. p.102-115.

ROSS, S. A.; DUNCAN, C.; PASCO, J. G.; PUGH, N. Isolation of a galactomannan that enhances macrophage activation from the edible fungus *Morchella esculenta*. *J. Agric. Food Chem.*, v.50, n.20, p.5683-5685, 2002.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L. et al. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 3. ed. Viçosa: UFV, 2011. 252p.

ROSTAGNO, H.S.; BÜNZEN, S.; SAKOMURA, N.K.; ALBINO, L.F.T. Avanços metodológicos na avaliação de alimentos e de exigências nutricionais para aves e suínos. *Rev. Bras. Zootec.*, v.36, p.295-304, 2007.

RUIZ, U.S.; THOMAZ, M.C.; HANNAS, M.I. et al. Complexo enzimático para suínos: digestão, metabolismo, desempenho e impacto ambiental. *Rev. Bras. Zootec.*, v.37, n.3, p.458-468, 2008.

SAKOMURA, N.K.; SILVA, J.H.V.; COSTA, F.G.P. et al. Nutrição de Não Ruminantes. Jaboticabal: FUNEP, 2014. 678p.

SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. Métodos de pesquisa em Nutrição de monogástrico. Jaboticabal: Funep, 2007. 283p.

SAMBROOK, I.E.; RAINBIRD, A.L. The effect of guar gum and level and source of dietary fat on glucose tolerance in growing pigs. *Brit. J. Nutr.* v.54, n.1, p.27-35, 1985.

SCAPINI, L.B. Suplementação de  $\beta$ -mananase em dietas para frangos de corte criados em condições experimentais e comerciais. 2015. 129f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Paraná, Palotina.

SCHMIDT, A. Peletização na alimentação animal. 2006. Disponível em: <<http://www.suino.com.br/Noticia/peletizacao-na-alimentacao-animal-bparte-2b-109774>>. Acessado em 12 jun. 2016.

SILVA, J.F.C. Metodologia para determinação de exigências nutricionais de ovinos. In: SILVA SOBRINHO, AG. et al. Nutrição de ovinos. Jaboticabal: FUNEP, 1996. p.1-68.

SKINNER-NOBLE, D.O.; TEETER, R.G. Components of feed efficiency in broiler breeding stock: energetics, performance, carcass composition, metabolism and body temperature. *Poult. Sci.*, v.82, n.7, p.1080-1090, 2003.

SMIRICKY, M.R.; GRIESHOP, C.M.; ALBIN, D.M. The influence of soy oligosaccharides on apparent and true ileal amino acid digestibilities and fecal consistency in growing pig. *J. Anim. Sci.*, v.80, n.9, p.2433-2441, 2002.

SMITS, C.H.N.; ANNISON, G. non-starch plant polysaccharides in broiler nutrition-towards a physiologically valid approach to their determination. *World's Poult. Sci. J.*, v.52, n.2, p.203-221, 1996.

SORBARA, J.O.B.; MURAKAMI, A.E.; NAKAGE, E.S. et al. Enzymatic programs for broiles. *Braz. Arch. Biol. Technol.*, v.52, p.133-240, 2009.

STAGONIAS, G.; PEARCE, G. R. The digestion of fiber by pigs. 1. The effects of amount and type of fiber on apparent digestibility, nitrogen balance and rate of passage. *Brit. J. Nutr.*, v.53, n.3, p.513-530, 1985.

STALBRAND, H.; SIIKA-AHO, M.; VIIKARI L. Purification and characterization of two  $\beta$ -mannanases from *Trichoderma reesei*. *J. Biotechnol.*, v.29, n.3, p.229-242, 1993.

STEINHART, T. L. Swine Feed Efficiency: Influence of Particle Size. 2012. Disponível em: < <http://www.swinefeedefficiency.com/>>. Acessado em: 03 mai. 2016.

TAVERNARI, F.C.; CARVALHO, T.A.; ASSIS, A.P. et al. Polissacarídeo não amiláceo solúvel na dieta de suínos e aves. *Rev. Eletr. Nutr.* v.5, n.5, p.673-689, 2008.

THACKER, P.A. Effect of enzyme supplementation on the performance of growing-finishing pigs feed barley-based diets supplemented with soybean meal or canola meal. *Asian-Australian J. Anim. Sci.*, p.1008-1013, 2001.

THOMAS, M.; VAN-DER-POEL, A. F. B. Physical quality of pelleted animal feed – Criteria for pellet quality. *Anim. Feed Sci. Technol.*, v.61, n.1-4, p.89-112, 1996.

TSE, M.L.P.; BERTO, D.A.; TOFOLI, C.A. et al. Valor nutricional da silagem de grãos úmidos de milho com diferentes graus de moagem para leitões na fase de creche. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.58, n.6, p.1214-1221, 2006.

VAHJEN, W.; BUSCH, T.; SIMON, O. Study on the use of soya bean polysaccharide degrading enzymes in broiler nutrition. *Anim. Feed Sci. Technol.*, v.120, n.3-4, p.259-276, 2005.

VAN, S.P.J. Carbohydrates. In: Nutricional ecology of the ruminant. New York: Cornell University. p. 164p, 1994.

VAN MILGEN, J.; NOBLET, J. Partitioning of energy intake to heat, protein, and fat in growing pigs. *J. Anim. Sci.*, v.81, n.14, p.86- 93, 2003.

VANBELLE, M. Les enzymes probiotiques: Curso Superior de Nutrición y Alimentación Animal, Instituto Agronômico Mediterraneo de Zaragoza, 1992. (Documento interno).

VASCONCELOS, C. H. F. Redução do teor de proteína bruta em dietas suplementadas ou não com l-glicina para frangos de corte. 2009. 134 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

VICENTE, B.; VALENCIA, D.G.; PÉREZ-SERRANO, M. et al. The effects of feeding rice in substitution of corn and the degree of starch gelatinization of rice on the digestibility of dietary components and productive performance of young pigs. *J. Anim. Sci.*, v.86, n.1, p.119-26, 2007.

VIEIRA, Sergio L. Oportunidade para o uso de enzimas em dietas vegetarianas. In: IV SIMPÓSIO BRASIL SUL DE AVICULTURA, 2003, Chapecó. *Anais...Chapecó*: [s.n.] 2003. p.91-95.

VINJAMOORI, D.V.; BYRUM, J.R.; HAYES, T.; DAS, P.K. Challenges and opportunities in the analysis of raffinose oligosaccharides, pentosans, phytate, and glucosinolates. *J. Anim. Sci.* v.82, n.1, p.319-328, 2004.

VINOKUROVAS, S.L. Utilização de complexo enzimático em rações contendo farelo de gérmen de milho desengordurado para suínos em crescimento e terminação. 2009. 70f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

VIOLA, E.S. Efeito do tempo de autoclavagem sobre a digestibilidade dos grãos de soja integral em suínos na fase de crescimento. 1996. 137F. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

WALSH, G.A.; POWER, R.F.; HEADON, D.R. Enzymes in the animal feed industry. *Trends in Biotech.*, v.11, n.10, p.946-957, 1993.

WARD, N.E.; FODGE, D. Ingredients to counter antinutritional factors: soybean - based feeds need enzymes too. *Feed Management*, v.47, n.10, p.13-18, 1996.

WENK, C. The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig. *Anim. Feed Sci. Technol.*, v. 90, n.1-2, p. 21-33, 2001.

WENK, C.; WEISS, E.; BEE, G. Interaction between a phytase and a carbohydrase in a pig diet. In: ENZYMES IN ANIMAL NUTRITION – 1 ST SYMPOSIUM, 1993, Switzerland. *Anais...* Switzerland: [s.n.] 1993. p.160-164.

WYATT, C.L.; BEDFORD, M.R. O uso de enzimas nutricionais para maximizar a utilização de nutrientes pelo frango de corte em dietas à base de milho: recentes progressos no desenvolvimento e aplicações práticas. In: SEMINÁRIO TÉCNICO FINNFEEDS, 1998, Curitiba. *Anais...* Curitiba: Finnfeeds, 1998. p.2-12.

WONDRA, K.J.; HANCOCK, J.D.; K.C. BEHNKE, K.C. et al. Effects of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility and stomach morphology in finishing pigs. *J. Anim. Sci.* v.73, n.3, p.757-763, 1995.

YOUNG, L.G. Moisture content and processing of corn for pigs. *J. Anim. Sci.*, v.50, p.705-709, 1970.

ZANOTTO, D.L.; GUIDONI, A.L.; BRUM, P.R. Granulometria do milho em rações fareladas para frangos de corte. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE

BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. 1999, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: SBZ, 1999, p.3.

ZANOTTO, D. L.; MONTICELLI, C. J. Granulometria do milho em rações para suínos e aves: digestibilidade de nutrientes e desempenho animal. In: SIMPÓSIO DE GRANULOMETRIA DE INGREDIENTES E RAÇÕES PARA SUÍNOS E AVES. 1998, Concordia. *Anais...* Concórdia: [s.n.]1998, p.26-48.

ZANOTTO, D.L., NICOLAIEWSKY, S., FERREIRA, A.S. et al. Granulometria do milho na digestibilidade das dietas para suínos em crescimento e terminação. *Rev. Soc. Bras. Zootec.*, v.4, n.3, p.428-436. 1995.

ZDUNCZYK, Z. Physiological effect of low digestible oligosaccharides in diets for animals and humans. *Polish J. Food Nutr. Sci.*, v.13, p.115-130, 2004.

## CAPÍTULO 2

### EFEITO DO TAMANHO DE PARTÍCULA E FORMA FÍSICA DA RAÇÃO SOBRE A DIGESTIBILIDADE DOS NUTRIENTES, PRODUÇÃO DE CALOR E APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RAÇÕES PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO

**RESUMO:** Visando-se avaliar o efeito de diferentes tamanhos de partícula e forma física da ração sobre os coeficientes de digestibilidade da matéria seca (CDMS), da proteína bruta (CDPB), da energia bruta (CDEB), dos valores de energia digestível (ED), metabolizável (EM), relação EM:ED, produção de calor (PC), incremento calórico (IC) e energia líquida (EL), foram utilizados 16 suínos machos castrados, de linhagem comercial, com peso inicial de  $25 \pm 1,0$  kg. O delineamento experimental empregado foi o inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e quatro repetições, sendo um animal por unidade experimental. Os tratamentos consistiram em duas rações fareladas com DGM de 614  $\mu\text{m}$  e de 888  $\mu\text{m}$ , e duas rações peletizadas com tamanhos de pélete diferentes, em que, no pélete fino o DGM da ração era de 614  $\mu\text{m}$ , e no pélete grosso o DGM era de 888  $\mu\text{m}$ . As dietas utilizadas foram isoenergéticas e isoproteicas, formuladas para atender as exigências nutricionais dos animais na fase de crescimento. Os parâmetros analisados foram submetidos à análise de variância e os dados comparados pelo teste SNK a 5% de probabilidade. Não houve diferença ( $P \geq 0,05$ ) sobre a digestibilidade, produção de calor e valores energéticos de dietas com diferentes tamanhos de partícula e processamento. Conclui-se que rações com tamanhos de partícula de 614  $\mu\text{m}$  e 888  $\mu\text{m}$  e diferentes formas físicas (farelada e peletizada) não influenciam a digestibilidade, produção de calor e valores energéticos das dietas para suínos em crescimento.

**Palavras chaves:** energia líquida, granulometria, metabolismo, peletização, produção de calor, respirometria

## **EFFECT OF PARTICLE SIZE AND SHAPE OF THE FEED ON THE DIGESTIBILITY OF NUTRIENTS, HEAT PRODUCTION AND ENERGY USE OF RATIONS FOR GROWING PIGS**

**Abstract:** Aiming to evaluate the effect of different particle sizes and physical form on digestibility coefficients of dry matter (CDMS), crude protein (CDPB), gross energy (CDEB), digestible energy values (ED), metabolizable (EM), ratio metabolizable energy:digestible energy (EM:ED), heat production (PC), calorie incremente (IC) and net energy (EL), there were 16 castrated male animals of commercial line with average initial weight of  $25 \pm 1,0$  kg. The experimental design was completely randomized, composed of four treatments and four replications, one animal per experimental unit. The treatments consisted of two mashes diets, with DGM of 614  $\mu\text{m}$  and 888  $\mu\text{m}$  and pelleted diets with different pellet sizes, in which, in pellet thin DGM was 614  $\mu\text{m}$ , and the coarse pellet DGM was 888  $\mu\text{m}$ . The diets were isoproteic and Isoenergetic, formulated to meet the nutritional requirements of animals in the growth phase. The parameters analyzed were submitted to analysis of variance using the computer package statistical analysis Genetic System (SAEG), and the data were compared by SNK to 5% probability. There was no difference ( $P \geq 0,05$ ) on the digestibility, production of heat and energy values of diets with different particle sizes and processing. It is concluded that rations with particle sizes of 614  $\mu\text{m}$  and 888  $\mu\text{m}$  and different physical forms (mash and pelletised) do not influence the digestibility, production of heat and energy values of diets for growing pigs.

**Key words:** heat production, metabolism, net energy, particle size, pelletizing, respirometry

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento do potencial da produção animal depende de fatores inerentes ao manejo, sanidade, nutrição e melhoramento genético. No entanto, em conjunto ao conhecimento dos dados de composição química, dos valores de digestibilidade e da disponibilidade dos nutrientes, bem como, dos valores energéticos dos alimentos que compõem a ração, está a adoção de técnicas aprimoradas no preparo de rações otimizando ainda mais a eficiência nutricional.

Um dos métodos de melhor viabilizar o setor suinícola é por meio da geração de informações mais precisas sobre a forma com que os alimentos são fornecidos aos animais, que proporcione melhor aproveitamento de seus nutrientes, com consequente diminuição da poluição ambiental por meio dos elementos eliminados nas fezes e urina, e redução no custo final de produção.

Resultados de pesquisas tem mostrado que diferentes tamanhos de partícula e formas físicas da ração apresentam variação sobre a digestibilidade e valores energéticos das dietas (Zanotto et al., 1999; Zanotto et al., 1995; Wondra et al., 1995; Baird, 1973).

A premissa na preparação de uma dieta, por parte dos nutricionistas, normalmente é de que, quanto menor a granulometria da ração, melhor é o aproveitamento dos nutrientes. Isso ocorre pela maior área de superfície em contato com os sucos digestivos, facilitando a ação das enzimas digestivas, o que favorece a digestão e a absorção dos nutrientes (Condé et al., 2010), e pela possível redução na velocidade da passagem da digesta no trato gastrointestinal, permitindo maior tempo de digestão.

De acordo com Andriguetto et al. (2000), o processo de peletização pode tornar a ração ainda mais digestível. Esse tipo de processamento aumenta a digestibilidade dos nutrientes pela ação mecânica e pela temperatura do processo. No caso dos carboidratos, a digestibilidade aumenta, pois a temperatura desagrega os grânulos de amilose e amilopectina, facilitando a ação enzimática (Dozier, 2001).

O aumento dos valores energéticos das rações após o processamento pode estar relacionado com a menor perda de energia na urina e com o menor gasto energético pelo animal na forma de incremento calórico, em razão da

melhora do processo de digestão dos nutrientes e da eficiência de utilização da energia para produção.

Portanto, ajustes nas dietas podem resultar em melhor aproveitamento dos nutrientes dos alimentos pelos animais, com consequente diminuição da poluição ambiental por meio da excreção de dejetos e redução nos custos das dietas.

Diante desse contexto, este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes tamanhos de partícula e formas físicas da ração sobre os coeficientes de digestibilidade da matéria seca (CDMS), da proteína bruta (CDPB), da energia bruta (CDEB), dos valores de energia digestível (ED), metabolizável (EM), relação EM:ED, produção de calor (PC), incremento calórico (IC) e energia líquida (EL) em dietas para suínos em crescimento.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### *2.1 Local e instalações*

O experimento foi conduzido no Laboratório de Calorimetria e no Laboratório de Metabolismo Animal do Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, em Belo Horizonte, Minas Gerais, no período de julho a agosto de 2013.

Os animais foram alojados em gaiolas metabólicas metálicas providas de bebedouros, comedouros e coletores de fezes e urina individuais, semelhante às descritas por Pekas (1968).

Após o período de adaptação às condições experimentais e coleta de fezes e urina, todos os animais de cada repetição de cada tratamento foram colocados em câmara respirométrica para determinação da produção diária de calor.

### *2.2 Animais e delineamento experimental*

Foram utilizados 16 suínos machos castrados oriundos do cruzamento entre as linhagens comerciais DanBred (fêmeas) e Topigs (machos) com peso inicial de  $25,0 \pm 1,0$  kg, em delineamento experimental inteiramente

casualizado, com quatro tratamentos e quatro repetições, sendo um animal por unidade experimental.

### *2.3 Dietas e manejo alimentar*

Os tratamentos foram estabelecidos de acordo com o grau de moagem da ração e sua forma física:

- Farelada → DGM de 614  $\mu\text{m}$ ;
- Farelada → DGM de 888  $\mu\text{m}$ ;
- Peletizada → pélete fino e DGM de 614  $\mu\text{m}$ ;
- Peletizada → pélete grosso e DGM de 888  $\mu\text{m}$ .

As dietas experimentais foram isoenergéticas e isoprotéicas, formuladas a base de milho e farelo de soja e suplementadas com vitaminas, minerais e aminoácidos industriais para atender as exigências estabelecidas por Rostagno et al. (2011) para suínos em crescimento.

As composições centesimais das dietas estão apresentadas na tabela 1. Todas as dietas foram produzidas na fábrica de ração da empresa Vaccinar, unidade de Martinho Campos, Minas Gerais, sendo que, as rações foram moídas em moinho de martelo e os péletes confeccionados na peletizadora PCM 3000® com um condicionador.

As rações foram fornecidas de forma controlada de acordo com o peso metabólico dos animais, distribuídas em duas refeições diárias, as 7 e 16 horas, e o acesso à água foi livre durante todo período experimental. A limpeza da sala foi realizada uma vez por dia, no período da manhã.

### *2.4 Avaliação de diâmetro geométrico médio (DGM) e desvio padrão geométrico (DPG)*

O diâmetro geométrico médio (DGM) e o desvio padrão geométrico (DPG) da ração foram calculados segundo a metodologia descrita por Zanotto e Bellaver (1996), e realizados pelo programa SoftGran 2.0, desenvolvido pela Embrapa Aves e Suínos.

Tabela 1. Composição centesimal e nutricional da dieta experimental para suínos machos castrados em fase de crescimento.

| <b>Ingrediente</b>                          | <b>Quantidade (kg)</b> |
|---------------------------------------------|------------------------|
| Milho grão                                  | 66,96                  |
| Soja farelo                                 | 27,95                  |
| Fosfato Bicálcico                           | 1,23                   |
| Óleo de soja                                | 1,00                   |
| Açúcar                                      | 1,00                   |
| Calcário Calcítico                          | 0,59                   |
| Premix <sup>1</sup>                         | 0,50                   |
| Sal comum                                   | 0,36                   |
| Adsorvente <sup>2</sup>                     | 0,20                   |
| L-lisina HCL                                | 0,13                   |
| DL-Metionina                                | 0,08                   |
| <b>TOTAL</b>                                | <b>100,00</b>          |
| <b>Valores nutricionais (%)<sup>3</sup></b> |                        |
| Proteína Bruta                              | 18,30                  |
| Energia Metabolizável (Mcal/kg)             | 3,254                  |
| Cálcio                                      | 0,640                  |
| Sódio                                       | 0,180                  |
| Fósforo Total                               | 0,558                  |
| Fósforo Disponível                          | 0,320                  |
| Lisina                                      | 0,960                  |
| Metionina                                   | 0,324                  |

<sup>1</sup>Produto comercial Qualimix CT completo - Vaccinar®. Níveis de garantia (por kg do produto): ácido fólico: 60mg; ácido pantotênico: 2.000mg; B.H.T: 100mg; biotina: 10mg; cobalto: 92 mg; cobre: 4.000mg; colina: 30g; ferro: 20g; iodo: 200mg; manganês: 14g; niacina: 4.440mg; selênio: 80mg; tilosina: 4.400mg; vitamina A: 1.050.000 U.I.; vitamina B1: 200mg; vitamina B12: 3.000mg; vitamina B2: 900mg; vitamina B6: 200mg; vitamina D3: 200.000 U.I.; vitamina E: 2.400 U.I.; vitamina K3: 300mg; <sup>2</sup>Azomite; <sup>3</sup>Valores calculados segundo Rostagno et al. (2011).

Foram coletados 500g de amostra, retirou-se desta amostra 200g que foram colocadas no agitador eletromagnético na potência máxima por 10 minutos. O agitador eletromagnético foi montado com as peneiras 5; 10; 16; 30;

50 e 100 da ABNT, as peneiras foram pesadas antes e depois da agitação. Os pesos das peneiras foram inseridos no programa SoftGran para realização das mensurações de DGM e DPG.

### *2.5 Cálculo da porcentagem de finos e índice de durabilidade do pélete (PDI)*

Foram coletados 500g de amostra, desta quantidade retirou-se 250g que foi colocado no agitador eletromagnético durante 10 minutos na potência máxima montado com as peneiras ABNT 9; 14 e prato. A retenção do prato foi pesada e a porcentagem de finos foi calculada através da regra de três.

Para cálculo do PDI, 600g de amostra foram colocados no agitador eletromagnético montado com a peneira ABNT 9, por um minuto. Retirou-se 500g da amostra que foram colocadas no aparelho de resistência giratória por 10 minutos adicionadas à quatro esferas de 51g. A amostra foi transferida para o agitador eletromagnético montado com as peneiras 9 e 14 da ABNT por 10 minutos. Pesou-se a retenção nas peneiras e no prato e o PDI foi obtido através da regra de três.

### *2.6 Determinação da digestibilidade de nutrientes, energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM)*

O período experimental correspondeu à seis dias para a adaptação dos animais às condições experimentais e cinco dias para coleta de fezes e urina por meio de coleta total, realizado no período da manhã.

Do material coletado, foi homogeneizado e retirado uma alíquota de 20% de cada amostra e colocado em sacos plásticos (fezes) e garrafas plásticas (urina). As amostras de fezes foram armazenadas em freezer enquanto que as de urina em geladeira, em que ficaram mantidas até o final da coleta.

Posteriormente as fezes foram descongeladas e colocadas em estufa de ventilação forçada a 55°C durante 48 horas para pré-secagem. Após a pré-secagem, o material foi exposto por duas horas à temperatura ambiente e, em

seguida, pesado, homogeneizado e moído em moinho tipo faca com peneira de 1 mm.

As análises para determinação da matéria seca (MS), proteína bruta (PB) e energia bruta (EB) das fezes e urina, bem como das rações, foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal da escola de Veterinária da UFMG conforme técnicas descritas por AOAC (1995). A partir dos resultados, os dados dos coeficientes de digestibilidade dos nutrientes e digestibilidade aparente da energia foram obtidos.

Baseando-se nos dados de consumo da dieta, produção de fezes e de urina e dos resultados das análises de laboratório, procedeu-se o cálculo dos coeficientes de digestibilidade da MS, PB e EB, descrita a seguir:

$$CD \% = \frac{\text{Nutriente consumido} - \text{Nutriente excretado nas fezes}}{\text{Nutriente consumido}} \times 100$$

Assim, com as informações dos dados de consumo de MS, da determinação dos valores de EB e do nitrogênio das fezes e urina, foram calculados os valores de energia digestível (ED) e de energia metabolizável (EM), conforme as seguintes fórmulas:

$$ED = \frac{\text{EB ingerida} - \text{EB excretada nas fezes}}{\text{MS ingerida}}$$

$$EM = \frac{(\text{MS consumida} \times \text{EB ração}) - (\text{MS excretada} \times \text{EB excretada})}{\text{MS consumida}}$$

### *2.7 Determinação da produção de calor (PC), incremento calórico (IC) e energia líquida (EL)*

O método utilizado foi o de calorimetria indireta, baseado na quantidade de energia produzida pelo suíno na forma de calor, calculada por meio de mensurações de trocas gasosas (consumo de oxigênio e produção de dióxido de carbono) em câmaras respirométricas de sistema aberto, equipada com

aparelho da marca Sable®, no Laboratório de Metabolismo Animal da Escola de Veterinária da UFMG. Estas câmaras consistiam em uma estrutura feita de acrílico, nas dimensões 1,20 x 2,00 x 2,10 m.

Os animais permaneceram nas câmaras dentro da gaiola de metabolismo com acesso à ração e água durante 24 horas. Posteriormente, passaram por um período de jejum por 24 horas, após o qual foram colocados na câmara respirométrica com acesso somente à água, e mensuradas as trocas gasosas por 24 horas.

Neste sistema, uma tubulação de ar é acoplada a uma bomba, a qual realiza a renovação do ar no interior desta, em fluxo constante, durante todo período de mensuração. O ar atmosférico entra na câmara em um fluxo constante de 50 litros por minuto e é misturado ao ar expirado pelos animais. As amostras de gases foram coletadas a cada 8 minutos para a determinação das concentrações de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>. A concentração máxima permitida de CO<sub>2</sub> foi de 0,5%. O consumo de O<sub>2</sub> e a produção de CO<sub>2</sub> foram calculados baseados no volume e na composição do ar que entra comparado com o ar que sai (Chwalibog, 2004). O cálculo da PC foi feito de acordo com a equação de Brouwer (1965):

$$H \text{ (kj)} = 16,18 \times O_2 \text{ (l)} + 5,02 \times CO_2 \text{ (l)}$$

O incremento calórico foi calculado por meio da diferença da produção de calor mensurada nos suínos alimentados subtraído da produção de calor em jejum (IC = PC alimentado – PC jejum).

Para o cálculo da energia líquida das rações foram utilizados os valores de energia metabolizável menos o incremento calórico (EL = EM – IC).

## *2.8 Análise estatística*

As variáveis analisadas foram submetidas à análise de variância utilizando o pacote computacional Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas, SAEG (UFV, 2000). Os dados foram comparados pelo teste SNK a 5% de probabilidade.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de diâmetro geométrico médio DGM e DPG das rações experimentais estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Diâmetro geométrico médio (DGM) e desvio padrão geométrico (DPG) das rações experimentais

|              |      |      |
|--------------|------|------|
| Peneira (mm) | 2,5  | 4,0  |
| DGM (µm)     | 614  | 888  |
| DPG (%)      | 1,58 | 1,77 |

Os valores de DPG encontrados foram abaixo de 2%, indicando que a moagem dos ingredientes ocorreu de maneira uniforme, pois o DPG representa a uniformidade no tamanho da partícula (Zanotto & Bellaver, 1996).

A porcentagem de finos e índice de durabilidade do pélete (PDI) analisados estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Porcentagem de finos e índice de durabilidade dos péletes (PDI) das rações experimentais

|          |       |       |
|----------|-------|-------|
| Peneira  | 2,5   | 4,0   |
| Fino (%) | 4,70  | 2,90  |
| PDI (%)  | 58,30 | 73,20 |

Pode-se considerar, baseado nos dados de porcentagem de finos que os péletes das rações experimentais foram de qualidade, pois a porcentagem de finos e resistência do pélete representam a qualidade do mesmo. Quanto menor a porcentagem de finos, e maior o PDI, melhor será a qualidade do pélete.

Os dados de digestibilidade dos nutrientes das dietas experimentais estão apresentados na tabela 4.

Não houve diferença estatística ( $P>0,05$ ) para os coeficientes de digestibilidade entre os tratamentos. Do mesmo modo que Yang et al. (1988),

que não encontraram efeito do tamanho de partícula em dietas a base de milho sobre a digestibilidade dos nutrientes.

Tabela 4 - Coeficientes de digestibilidade (%) da matéria seca (CDMS), proteína bruta (CDPB) e da energia bruta (CDEB) de rações com diferentes tamanhos de partícula e formas físicas

| Coeficientes | Tratamentos            |                        |                           |                             | Significância | CV (%) <sup>1</sup> |
|--------------|------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------|---------------------|
|              | Farelada<br>DGM 614 µm | Farelada<br>DGM 888 µm | Pélete Fino<br>DGM 614 µm | Pélete Grosso<br>DGM 888 µm |               |                     |
| MS           | 89,07                  | 86,77                  | 89,28                     | 89,92                       | >0,05         | 2,240               |
| PB           | 89,05                  | 87,93                  | 89,29                     | 90,31                       | >0,05         | 1,817               |
| EB           | 89,67                  | 86,82                  | 90,53                     | 89,43                       | >0,05         | 2,775               |

Médias nas mesmas linhas seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste SNK a 5%;

<sup>1</sup> Coeficiente de variação.

Observou-se que a ração farelada com DGM de 888 µm apresentou valores de 86,77%, 87,93% e 86,82%, respectivamente para o CDMS, CDPB e CDEB, enquanto nos demais tratamentos esses valores foram, respectivamente, em média de 89,42%, 89,55% e 89,91%.

Lawrence (1967) e Young (1970) observaram menores valores de CDMS e CDPB em consequência do aumento das partículas de dietas fareladas a base de milho para suínos em crescimento.

Wondra et al., (1995), observaram aumento de 3,80%, 5,90% e 5,04% no CDMS, CDPB e CDEB, respectivamente, com a redução do tamanho de partícula de 1.000 para 400 µm.

Zanotto et al (1995) verificaram que houve piora linear sobre os valores de digestibilidade de dietas com DGM a partir de 700 µm. Ao compararem a ração com os tamanhos de partícula maiores (1.026 µm) e menores (509 µm), constataram que houve aumento de 4,73% e 5,50% do CDMS e CDPB, respectivamente.

De acordo com os autores, a melhor digestibilidade relacionada à redução do tamanho das partículas em dietas fareladas pode estar ligada ao aumento da área de superfície exposta dos cereais, por meio da ruptura do revestimento externo da semente e à exposição do seu endosperma que

ocorre com a moagem (Goodband et al., 2002), facilitando a ação das enzimas digestivas e acesso aos componentes nutricionais (Biagi, 1998).

Não há consenso sobre o tamanho ideal de partícula que proporcione melhor digestibilidade. Wondra et al. (1995) sugerem que o tamanho de partícula ótimo de dietas fareladas contendo milho para suínos em crescimento é de aproximadamente 600  $\mu\text{m}$ , valor que fica entre a recomendação de Chae & Han (1998) que é 500 a 700  $\mu\text{m}$ , e de Zanotto et al. (1999), 509 a 650  $\mu\text{m}$ .

A ausência do efeito da digestibilidade entre as rações fareladas encontrado no presente estudo pode estar associado à estreita diferença dos tamanhos de partícula (614 e 888  $\mu\text{m}$ ) quando comparados a outros estudos.

Ao compararem rações fareladas e peletizadas, Wondra et al. (1995) observaram redução de 23% na excreção de MS e 22% na excreção de nitrogênio com a utilização da dieta peletizada, reduzindo a excreção de elementos potencialmente poluentes. Os autores atribuíram a redução da excreção dos nutrientes ao aumento da digestibilidade da matéria orgânica, proteína e energia.

O fato da ração peletizada grossa com tamanho de partícula igual a 888  $\mu\text{m}$  não ter apresentado diferença na digestibilidade em relação às rações farelada com DGM de 614  $\mu\text{m}$  e peletizada fina com DGM de 888  $\mu\text{m}$ , e ter proporcionado aumento numérico da digestibilidade em relação à ração farelada com o mesmo tamanho de partícula, pode ter ocorrido devido ao tratamento térmico ter desagregado os grânulos de amilose e amilopectina do amido, em que proporcionou sua gelatinização parcial facilitando a ação enzimática.

De acordo com Van (1994), a gelatinização aumenta a velocidade enzimática das amilases, que hidrolisam a molécula de amido em carboidratos simples e solúveis, proporcionando maior digestibilidade do amido. Ainda, segundo Couto (2012), a peletização contribui para a liberação das proteínas que estão quimicamente ligadas ao amido, alterando a estrutura terciária (desnaturação), proporcionando maior digestibilidade dos aminoácidos presentes na proteína dietética.

Os dados de produção de calor e incremento calórico de suínos em crescimento alimentados com dietas experimentais estão apresentados na tabela 5.

Tabela 5 – Produção de calor (PC Kcal/kg<sup>0,60</sup>/dia) e incremento calórico (IC Kcal/kg<sup>0,60</sup>/dia) de suínos em crescimento alimentados com dietas contendo diferentes tamanhos de partícula e formas físicas

| Parâmetros                 | Tratamentos |            |             |               | Significância | CV (%) <sup>1</sup> |
|----------------------------|-------------|------------|-------------|---------------|---------------|---------------------|
|                            | Farelada    | Farelada   | Pélete Fino | Pélete Grosso |               |                     |
|                            | DGM 614 µm  | DGM 888 µm | DGM 614 µm  | DGM 888 µm    |               |                     |
| PC Kcal/kg <sup>0,60</sup> | 311,20      | 301,17     | 300,25      | 293,61        | >0,05         | 7,29                |
| IC Kcal/kg <sup>0,60</sup> | 93,17       | 86,14      | 85,22       | 78,58         | >0,05         | 18,57               |

Médias nas mesmas linhas seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste SNK a 5%;

<sup>1</sup> Coeficiente de variação.

Os diferentes tamanhos de partícula e forma física da ração não influenciaram a PC e o IC ( $P>0,05$ ). Esperava-se que houvesse redução na PC e IC da ração com menor tamanho de partícula assim como nas rações peletizadas, porém, esta hipótese não foi confirmada.

Neste trabalho, os valores da PC dos suínos em jejum, necessária para manutenção, foi de 215,03 kcal/kg<sup>0,60</sup>/dia. Porém, esse valor é maior do que o valor de EL de manutenção que vem sendo utilizado para calcular as exigências de EL total para os animais em crescimento, que é de 179 kcal/kg<sup>0,60</sup>/dia (Kil et al., 2011; Stewart et al., 2013). Essa diferença pode ter ocorrido por fatores como genética, temperatura ambiental, estágio do desenvolvimento do animal, entre outros.

Os resultados obtidos para os valores de energia digestível (ED), energia metabolizável (EM), relação EM:ED, incremento calórico (IC) e energia líquida (EL) das rações estão apresentados na tabela 6.

Não foi observada diferença ( $P>0,05$ ) nos valores de ED entre as dietas.

Embora os valores de EM não tenham apresentado diferença estatística ( $P=0,057$ ), a ração farelada com DGM de 888 µm apresentou valores 4,73%, 6,65% e 5,30% menores em relação às rações farelada com DGM de 614 µm, peletizadas com pélete fino e tamanho de partícula de 614 µm e pélete grosso com DGM de 888 µm, respectivamente, em que obtiveram incremento de 159,41 kcal/kg, 229,75 kcal/kg e 179,84 kcal/kg.

Zanotto et al. (1995), observaram aumento de 6,48% e 6,57% nos valores de ED e EM, respectivamente, que equivale ao incremento de 238 Kcal/kg de ED e 234 kcal/kg de EM, de dietas com tamanho de partícula igual a 509 µm em relação à 1.026 µm.

Tabela 6 – Valores de Energia Digestível (ED), Energia Metabolizável (EM), relação Energia Metabolizável:Energia Digestível (EM:ED), Incremento Calórico (IC) e Energia Líquida (EL) de dietas contendo diferentes tamanhos de partícula e formas físicas

| Variáveis    | Tratamentos |            |             |               | Significância | CV (%) <sup>1</sup> |
|--------------|-------------|------------|-------------|---------------|---------------|---------------------|
|              | Farelada    | Farelada   | Pélete Fino | Pélete Grosso |               |                     |
|              | DGM 614 µm  | DGM 888 µm | DGM 614 µm  | DGM 888 µm    |               |                     |
| ED (Kcal/kg) | 3559,31     | 3466,08    | 3610,57     | 3572,22       | >0,05         | 2,777               |
| EM (Kcal/kg) | 3370,45     | 3211,04    | 3440,79     | 3390,88       | >0,05         | 3,258               |
| EM:ED (%)    | 94,68       | 92,60      | 95,29       | 94,96         | >0,05         | 1,745               |
| IC kg cons.  | 815,16      | 631,79     | 738,70      | 781,99        | >0,05         | 18,571              |
| EL (Kcal/kg) | 2555,29     | 2579,25    | 2702,09     | 2608,89       | >0,05         | 6,659               |

Médias nas mesmas linhas seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste SNK a 5%;

<sup>1</sup> Coeficiente de variação.

Zanotto et al. (1999) observaram aumento de 2,1 e 5,1% nos valores de EM de rações com tamanho de partícula igual a 746 µm e 502 µm comparadas a ração com tamanho de partícula igual a 1.054 µm, o que aumentou o valor energético da dieta em 169 kcal/kg de EM em função da redução do DGM até 502 µm. Lawrence (1967) e Young (1970) também encontraram melhor valor energético das rações com a redução do tamanho de partícula.

Baird (1973) observaram aumento de 5,39% nos valores de EM de rações peletizadas, quando comparadas às rações fareladas. Assim como DeJong et al. (2012), que observaram que houve melhora sobre a eficiência calórica com base na EM e EL, nos animais alimentados com dietas peletizadas.

Como a EM considera a energia perdida na urina, e esta depende grandemente da excreção de nitrogênio (Noblet et al., 1993), com base nesses resultados pode-se inferir que houve tendência de maior perda energética da dieta pelos animais alimentados com ração farelada com tamanho de partícula de 888 µm através de substâncias nitrogenadas, reduzindo a energia disponível para produção.

A relação EM:ED também não apresentou diferença entre os tratamentos ( $P>0,05$ ). Essa relação está relacionada à eficiência de utilização da ED em EM. De acordo com Noblet et al. (1993), na maioria das situações, a relação entre EM:ED de dietas completas é de aproximadamente 96%. Neste caso, a ração peletizada com pélete fino e DGM de 614 µm foi a que mais se

aproximou desse valor (95,29%), que pode ter ocorrido devido à maior capacidade digestiva dessa ração, enquanto a ração farelada com DGM de 888 µm proporcionou a menor relação EM:ED (92,60%).

Não houve diferença ( $P>0,05$ ) sobre o IC por kg de alimento consumido entre os tratamentos. Entretanto, observou-se que houve redução de 22,5%, 14,5% e 19,2% no IC da ração farelada com DGM de 888 µm em relação à ração farelada com DGM de 614 µm, peletizada fina com DGM de 614 µm e peletizada grossa com DGM de 888 µm, respectivamente. O que contraria Tse (2006), que constatou que a redução no tamanho das partículas do milho aumenta o valor nutricional das dietas para suínos por afetar a digestão do amido, proporcionando menor PC como IC, pois há menor gasto de energia para a digestão.

O resultado encontrado pode estar relacionado ao menor tempo de passagem da ração no trato gastrintestinal pelo aumento do tamanho das partículas. Assim, como o fornecimento de ração nesse experimento foi restrito, o menor tempo de permanência do alimento no trato digestivo pode ter limitado a ação de secreções gástricas, reduzindo dessa forma a PC.

Lawrence (1970), relacionando a granulometria do alimento com o tempo de passagem pelo trato digestivo, observou maior velocidade em razão do aumento das partículas. Por outro lado, Zanotto et al. (1995), observaram que o tempo de passagem do alimento pelo trato gastrointestinal não foi afetado pelo tamanho das partículas. Entretanto, outros estudos precisam ser realizados para obter mais informações a respeito da taxa de passagem.

Não foi observado efeito significativo ( $P>0,05$ ) sobre os valores de EL entre os tratamentos. Numericamente, a ração peletizada fina com DGM de 614 µm foi de 2702,09 kcal/kg, enquanto que as demais apresentaram em média 2581,14 kcal/kg. Entretanto, apesar dos dados apresentarem diferenças numéricas, pelas análises estatísticas não se pode considerar que os diferentes tratamentos influenciaram os valores de EL.

#### **4. CONCLUSÃO**

Conclui-se que rações com tamanhos de partícula de 614 µm e 888 µm e diferentes formas físicas (farelada e peletizada) não influenciam a digestibilidade, produção de calor e valores energéticos das dietas para suínos em crescimento.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIGUETTO, J.M.; PERLY, L.; MINARDI, I. et al. Normas e Padrões de Nutrição e Alimentação Animal: Revisão 2000. Curitiba: DTPA-SDR-MAARA, 2000. 145 p.

ASSOCIATION OF THE OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. *Official methods of analysis of the association of Official Analytical Chemists*. 16ed. Washington DC, 1995.

BAIRD, D. M. Influence of pelleting swine diets on metabolizable energy, growth and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.*, v.36, n.3, p.516-520, 1973.

BALDWIN, R.L.; BYWATER, A.C. Nutritional energetics of animals. *Annu Rev Nutr.*, v.4, p.101-114, 1984.

BIAGI, J. D. Implicações da granulometria de ingredientes na qualidade de peletes e economia da produção de rações. In: SIMPÓSIO DE GRANULOMETRIA DE INGREDIENTES E RAÇÕES PARA SUÍNOS E AVES. 1998, Concordia. *Anais...* Concórdia: [s.n.]1998, p.57-71

BROUWER, E. Report of Sub-Committee on Constants and Factors. *Proc. 3<sup>rd</sup> Symp. on Energy Metabolism*, EAAP Publ. nº 11, p.441-443, 1965.

CHAE, B.J.; HAN, I.K. Processing effects of feeds in swine – Review. *J. Anim. Sci.*, v.11, n.5, p.597-607, 1998.

CHWALIBOG, A. Physiological basis of heat production – The fire of life. *Research School of Nutrition and Physiology*, September, 2004.

CONDÉ, M.S.; DEMARTINI, G.P.; PENA, S.M. et al. Influência da granulometria do milho na alimentação de frangos de corte. *Rev. Eletr. Nutr.*, v.11, n.5, p.3637-3647, 2014.

COUTO, H. P. Fabricação de rações e suplementos para animais. 2ª edição. Viçosa: Editora Aprenda Fácil. 2012. p.226.

DeJONG, J.A.; TOKACH, M.D.; GOODBAND, R.D., et al. Effects of corn particle size, complete diet grinding, and diet form on finishing pig growth performance, caloric efficiency, carcass characteristics and economics. *Kansas Swine Industry Day Report of Progress*, p.316-324, 2012.

DOZIER, W.A. Pelet de calidad para obtener carne de ave más economica. *Alim. Balanc. Anim.*, v.8, p.16-19, 2001.

GOODBAND, R. D.; TOKACH, M. D.; NELSEN, J. L. The effects of diet particle size on animal performance. In: MF-2050 FEED MANUFACTURING. Kansas State University. 2002. p.2-6.

JUST A. The net energy value of balanced diets for growing pigs. *Livest. Prod. Sci.*, v.8, n.6, p.541-555, 1982.

KIL D.Y.; JI, F.; STEWART, L.L.. et al. Net energy of soybean oil and choice white grease in diets fed to growing and finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, v.89, n.2, p.448-459, 2011.

LAWRENCE, T.L.J. Some aspects of including differently processed barley in diet of the growing pig. *Anim. Prod.*, v.12, p.139-150, 1970.

LAWRENCE, T.L.J. High level cereal diets for the growing/finishing pig. II. The effect of cereal preparation on the performance of pigs fed diets containing high levels of maize, sorghum and barley. *J. Agric. Sci.*, v.69, n.2, p.271-281, 1967.

NOBLET, J.; SHI, X.S.; DUBOIS, S. Metabolic utilization of dietary energy and nutrients for maintenance energy requirements in sows: basis for net energy system. *Brit. J. Nutr.*, v.70, n.2, p.407-419, 1993.

NOBLET, J.; KAREGE, C.; DUBOIS, S. Influence of growth potential on energy requirements for maintenance in growing pigs. In: WENK C, BOESSINGER M, EDITORS. *Energy Metabolism of Farm Animals*. EAAP Publication; Zurich, Switzerland: 1991. p.107-110.

PEKAS, J.C. Versatile swine in laboratory apparatus for physiologic and metabolic studies. *J. Anim. Sci.*, v.27, n.5, p.1303-1306, 1968.

ROBLES, A.; EWAN, R.C. Utilization of energy of rice and rice bran by young pigs. *J. Anim. Sci.*, v.55, n.3, p.572-577, 1982.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L. et al. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2011. 252p.

SAEG. Sistema de análises estatísticas e genéticas. Viçosa: UFV, 2000.

STEWART, L.L.; KIL, D.Y.; JI, F. et al. Effects of dietary soybean hulls and wheat middlings on body composition, nutrient and energy retention, and the net energy of diets and ingredients fed to growing and finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, v.91, n.6, p.2756-2765, 2013.

THONNEY, M.L.; TOUCHBERRY, R.D.; GOODRICH, R.W.; MEISKE, J.C. Intraspecies relationship between fasting heat production and body weight: A reevaluation of  $W^{.75}$ . *J. Anim. Sci.*, v.43, n.3, p.692-704, 1976.

TSE, M.L.P.; BERTO, D.A.; TOFOLI, C.A. et al. Valor nutricional da silagem de grãos úmidos de milho com diferentes graus de moagem para leitões na fase de creche. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.58, n.6, p.1214-1221, 2006.

VAN, S.P.J. Carbohydrates. In: Nutricional ecology of the ruminant. New York: Cornell University. p. 164p, 1994.

VAN MILGEN, J.; BERNIER, J.F.; LECOZLER, Y. et al. Major determinants of fasting heat production and energetic cost of activity in growing pigs of different body weight and breed/castration combination. *Br. J. Nutr.*, v.79, p.509-517, 1998.

WONDRA, K.J.; HANCOCK, J.D.; K.C. BEHNKE, K.C. et al. Effects of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility and stomach morphology in finishing pigs. *J. Anim. Sci.* v.73, n.3, p.757-763, 1995.

YANG, Y.F.; LIAO, C.W.; HSU, A. Effect of particle size of corn and diameter of pellet on feed production efficiency, performance and nutriente digestibilities of growing-finishing pigs. *J. Chin. Soc. Anim. Sci.*, v.17, n.1-2, p.17-28, 1988.

YOUNG, L.G. Moisture contente and processing of corn for pigs. *J. Anim. Sci.*, v.50, p.705-709, 1970.

ZANOTTO, D. L.; GUIDONI, A. L.; PIENEZ, L.C. Granulometria do milho em rações para engorda de suínos. Embrapa aves e suínos- Instrução técnica para o suinocultor. Concordia, 1999.

ZANOTTO, D.L.; BELLAYER, C. Método de determinação da granulometria de ingredientes para uso em rações de suínos e aves. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, p.1-5, 1996.

ZANOTTO, D. L.; NICLOLAIEWSKY, S.; FERREIRA, A. S. et al. Granulometria do milho na digestibilidade das dietas para suínos em crescimento e terminação. *Rev. Soc. Bras. Zootec.*, v.4, n.3, p.428-436, 1995.

### CAPÍTULO 3

#### EFEITO DA SUPLEMENTAÇÃO DE DIFERENTES ENZIMAS SOBRE A DIGESTIBILIDADE DOS NUTRIENTES, PRODUÇÃO DE CALOR E APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RAÇÕES PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO

**RESUMO:** Visando-se avaliar o efeito da suplementação de enzimas com diferentes finalidades sobre os coeficientes de digestibilidade da matéria seca (CDMS), da proteína bruta (CDPB), da energia bruta (CDEB), dos valores de energia digestível (ED), metabolizável (EM), incremento calórico (IC) e energia líquida (EL), foram utilizados 20 suínos machos castrados de linhagem comercial com peso inicial de  $25 \pm 0,6$  kg. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, composto por quatro tratamentos e cinco repetições, sendo um animal por unidade experimental. Os tratamentos consistiram em dietas compostas por um controle (sem adição de enzimas) e três rações contendo diferentes enzimas (amilase + protease + celulase,  $\beta$ -mananase e  $\alpha$ -galactosidase). As dietas utilizadas foram isoenergéticas e isoproteicas, formuladas para atender as exigências nutricionais dos suínos em crescimento. Os parâmetros analisados foram submetidos à análise de variância e os dados comparados pelo teste Dunnet, a 5% de probabilidade. Não houve diferença ( $P \geq 0,05$ ) sobre a digestibilidade, produção de calor e valores energéticos de dietas suplementadas com diferentes enzimas. Concluiu-se que rações suplementadas com as diferentes enzimas estudadas não influenciam a digestibilidade, produção de calor e valores energéticos das dietas para suínos em crescimento.

**Palavras-chave:**  $\alpha$ -galactosidase, amilase,  $\beta$ -mananase, celulase, protease, respirometria

## **EFFECT OF DIFFERENT ENZYMES SUPPLEMENTATION ON NUTRIENT DIGESTIBILITY, HEAT PRODUCTION AND ENERGY UTILIZATION OF FEED FOR GROWING PIG**

**ABSTRACT:** Aiming to evaluate the effect of different particle sizes and physical form on digestibility coefficients of dry matter (CDMS), crude protein (CDPB), gross energy (CDEB), digestible energy values (ED), metabolizable (EM), ratio metabolizable energy:digestible energy (EM:ED), heat production (PC), calorie incremente (IC) and net energy (EL), there were 20 castrated male animals of commercial line with average initial weight of  $25 \pm 0,6$  kg. The experimental design was completely randomized, composed of four treatments and five replications, one animal per experimental unit. The treatments consisted of diets composed of a control (without adding enzymes) and three different feeds containing enzymes (amylase + protease + cellulase,  $\beta$ -mananase and  $\alpha$ -galactosidase). The diets were isoproteic and Isoenergetic, formulated to meet the nutritional requirements of animals in the growth phase. The parameters analyzed were submitted to analysis of variance using the computer package statistical analysis Genetic System (SAEG), and the data were compared by Dunnet to 5% probability. There was no difference ( $P \geq 0,05$ ) on the digestibility, production of heat and energy values of diets supplemented with different enzymes. It is concluded that rations supplemented with different enzymes studied do not influence the digestibility, production of heat and energy values of diets for growing pigs.

**Key words:**  $\alpha$ -galactosidase, amylase,  $\beta$ -mananase, cellulase, protease, respirometry

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, cerca de 70% do custo total de produção suinícola é representado pela alimentação, a qual é baseada, principalmente, em milho e farelo de soja. Porém, estes cereais não são totalmente digeridos pelos suínos devido à presença de fatores antinutricionais e componentes de baixa digestibilidade que prejudicam a digestão e a absorção dos nutrientes, e com isso, o aproveitamento energético dos alimentos.

Muitas estratégias nutricionais são utilizadas com o objetivo de melhorar o valor nutritivo dos alimentos, como por exemplo, a inclusão de aditivos nas rações. Vários estudos vêm sendo realizados com o uso de enzimas exógenas na alimentação de suínos visando conhecer suas propriedades para que sejam utilizadas como melhoradores da eficiência alimentar.

As enzimas são extremamente específicas, ou seja, atuam somente sobre um determinado composto e efetuam sempre o mesmo tipo de reação.

As proteases são utilizadas como alternativa para melhorar a qualidade do farelo de soja e de outros ingredientes proteicos, por aumentarem a digestibilidade da proteína com a redução dos efeitos de fatores antinutricionais, como os inibidores de proteases, que ligam-se as enzimas proteolíticas endógenas tornando-as não funcionais (Viola, 1996). Através dessas enzimas, ocorre quebra das ligações peptídicas entre os aminoácidos das proteínas pouco digestíveis degradando-as a moléculas menores, contribuindo na digestibilidade desse nutriente.

As proteases também atuam sobre a solubilidade da proteína do milho, que encontra-se em sua maioria no endosperma encapsulando o amido, e convertendo-o em amido “hidrofóbico” (Hoffman & Shaver, 2008), melhorando a digestibilidade do amido e, conseqüentemente, interferindo na contribuição energética do milho.

Por outro lado, as enzimas carboidrases, que não são produzidas pelos animais, quando utilizadas em dietas com altos níveis de polissacarídeos não-amiláceos (PNAs), pode proporcionar melhor aproveitamento dos nutrientes. Essas enzimas são destinadas a catalisar a degradação de carboidratos, hidrolisando ligações glicosídicas entre monossacarídeos e quebrando os

oligossacarídeos e/ou polissacarídeos, melhorando a digestibilidade e aproveitamento do alimento.

Enzimas carboidrases, como celulase,  $\beta$ -mananase e  $\alpha$ -galactosidade, apesar de pertencerem à mesma classe de enzimas, têm diferentes efeitos sobre a digestibilidade. As celulasas realizam a quebra das ligações químicas existentes entre as unidades de glicose que formam a celulose, ou seja, converte a celulose, que é um polissacarídeo complexo, em açúcares simples. O efeito das  $\beta$ -mananases está relacionado à redução na viscosidade da digesta, provocada por polissacarídeos não-amiláceos (PNAs)  $\beta$ -mananos, e pela redução da estimulação do sistema imune, melhorando valor energético do alimento. Já as  $\alpha$ -galatosidades degradam ligações entre galactose e sacarose.

Por aumentarem a velocidade de uma reação (Campestrini et al., 2005), as enzimas promovem uma digestão mais eficiente, com redução das exigências de energia para manutenção (Sakomura et al., 2014), por gerar menor PC para o metabolismo dos nutrientes. Além disso, por aumentar a disponibilidade dos nutrientes, aumenta a digestibilidade e o valor energético das rações.

Diante desse contexto, este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito da suplementação de enzimas com diferentes finalidades sobre os coeficientes de digestibilidade da matéria seca (CDMS), da proteína bruta (CDPB), da energia bruta (CDEB), dos valores de energia digestível (ED), metabolizável (EM), relação EM:ED, produção de calor (PC), incremento calórico (IC) e energia líquida (EL) em dietas para suínos em crescimento.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### ***2.1 Local e instalações***

O experimento foi conduzido no Laboratório de Calorimetria e no Laboratório de Metabolismo Animal do Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, em Belo Horizonte, Minas Gerais, no período de novembro a dezembro de 2013.

Os animais foram alojados em gaiolas metabólicas metálicas providas de bebedouros, comedouros e coletores de fezes e urina individuais, semelhante às descritas por Pekas (1968).

Após o período de adaptação às condições experimentais e coleta de fezes e urina, todos os animais de cada repetição de cada tratamento foram colocados em câmara respirométrica para determinação da produção diária de calor.

## *2.2 Animais e delineamento experimental*

Foram utilizados 20 suínos machos castrados oriundos do cruzamento entre as linhagens comerciais DanBred (fêmeas) e Topigs (machos) com peso inicial de  $25 \pm 0,6$  kg, em delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e cinco repetições, sendo um animal por unidade experimental.

## *2.3 Dietas e manejo alimentar*

Os tratamentos consistiram na inclusão de diferentes enzimas na ração:

- Dieta controle (sem adição de enzimas);
- 0,005% do complexo amilase + protease + celulase;
- 0,05% de  $\beta$ -mananase;
- 0,0125% de  $\alpha$ -galactosidase.

As dietas experimentais foram isoenergéticas e isoprotéicas, formuladas a base de milho e farelo de soja e suplementadas com vitaminas, minerais e aminoácidos industriais para atender as exigências estabelecidas por Rostagno et al. (2011) para suínos em crescimento.

As composições centesimais das dietas estão apresentadas na tabela 1. Todas as dietas estavam na forma farelada e foram produzidas na fábrica de ração da fazenda experimental Professor Hélio Barbosa da Escola de Veterinária da UFMG, localizada no município de Igarapé, Minas Gerais.

Tabela 1. Composição percentual das dietas experimentais para suínos machos castrados em crescimento.

| <b>Ingrediente</b>                          | <b>Quantidade (kg)</b> |
|---------------------------------------------|------------------------|
| Milho grão                                  | 65,66                  |
| Soja farelo                                 | 28,40                  |
| Óleo de soja                                | 2,4                    |
| Fosfato Bicálcico                           | 1,55                   |
| Calcário Calcítico                          | 0,98                   |
| Sal comum                                   | 0,45                   |
| Premix <sup>1</sup>                         | 0,40                   |
| L-lisina HCL                                | 0,16                   |
| <b>TOTAL</b>                                | <b>100,00</b>          |
| <b>Valores nutricionais (%)<sup>2</sup></b> |                        |
| Proteína Bruta                              | 18,02                  |
| Energia Metabolizável (Mcal/kg)             | 3,220                  |
| Cálcio                                      | 0,837                  |
| Sódio                                       | 0,160                  |
| Fósforo Total                               | 0,406                  |
| Fósforo Disponível                          | 0,323                  |
| Lisina                                      | 1,00                   |
| Metionina                                   | 0,252                  |

<sup>1</sup>Produto comercial Qualimix CT completo - Vaccinar®. Níveis de garantia (por kg do produto): ácido fólico: 60mg; ácido pantotênico: 2.000mg; B.H.T: 100mg; biotina: 10mg; cobalto: 92 mg; cobre: 4.000mg; colina: 30g; ferro: 20g; iodo: 200mg; manganês: 14g; niacina: 4.440mg; selênio: 80mg; tilosina: 4.400mg; vitamina A: 1.050.000 U.I.; vitamina B1: 200mg; vitamina B12: 3.000mg; vitamina B2: 900mg; vitamina B6: 200mg; vitamina D3: 200.000 U.I.; vitamina E: 2.400 U.I.; vitamina K3: 300mg; <sup>2</sup>Valores calculados segundo Rostagno et al. (2011).

As rações foram fornecidas de forma controlada de acordo com o peso metabólico dos animais, distribuídas em duas refeições diárias, as 7 e 16 horas, e o acesso à água foi livre durante todo período experimental. A limpeza da sala foi realizada uma vez por dia, no período da manhã.

#### *2.4 Determinação da digestibilidade de nutrientes, energia digestível e metabolizável*

O período experimental correspondeu à seis dias para a adaptação dos animais às condições experimentais e cinco dias para coleta de fezes e urina por meio de coleta total, realizado no período da manhã.

Do material coletado, foi homogeneizado e retirado uma alíquota de 20% de cada amostra e colocado em sacos plásticos (fezes) e garrafas plásticas (urina). As amostras de fezes foram armazenadas em freezer enquanto que as de urina em geladeira, em que ficaram mantidas até o final da coleta.

Do material coletado, foi homogeneizado e retirado uma alíquota de 20% de cada amostra e colocado em sacos plásticos (fezes) e garrafas plásticas (urina), e armazenado em congelador, até o final da coleta.

Posteriormente as fezes foram pesadas e colocadas em estufa de ventilação forçada a 55°C durante 48 horas para pré-secagem. Após a pré-secagem, o material foi exposto por duas horas à temperatura ambiente e, em seguida, pesado, homogeneizado e moído em moinho tipo faca com peneira de 1 mm.

As análises para determinação da matéria seca (MS), proteína bruta (PB) e energia bruta (EB) das fezes e urina, bem como das rações, foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal da escola de Veterinária da UFMG conforme técnicas descritas por AOAC (1995). A partir dos resultados, os dados dos coeficientes de digestibilidade dos nutrientes e digestibilidade aparente da energia foram obtidos.

Baseando-se nos dados de consumo da dieta, produção de fezes e de urina e dos resultados das análises de laboratório, procedeu-se o cálculo dos coeficientes de digestibilidade da MS, PB e EB, descrita a seguir:

$$CD \% = \frac{\text{Nutriente consumido} - \text{Nutriente excretado nas fezes}}{\text{Nutriente consumido}} \times 100$$

Assim, com as informações dos dados de consumo de MS, da determinação dos valores de EB e do nitrogênio das fezes e urina, foram calculados a energia metabolizável (EM), utilizando a fórmula de Matterson et al. (1965) conforme as seguintes fórmulas:

$$ED = \frac{EB \text{ ingerida} - EB \text{ excretada nas fezes}}{MS \text{ ingerida}}$$

$$EM = \frac{(MS \text{ consumida} \times EB \text{ ração}) - (MS \text{ excretada} \times EB \text{ excretada})}{MS \text{ consumida}}$$

### *2.5 Determinação do incremento calórico, energia líquida e energia de manutenção*

O método utilizado foi o de calorimetria indireta, baseado na quantidade de energia produzida pelo suíno na forma de calor, calculada por meio de mensurações de trocas gasosas (consumo de oxigênio e produção de dióxido de carbono) em câmaras respirométricas de sistema aberto, equipada com aparelho da marca Sable®, no Laboratório de Metabolismo Animal da Escola de Veterinária da UFMG. Estas câmaras consistiam em uma estrutura feita de acrílico, nas dimensões 1,20 x 2,00 x 2,10 m.

Os animais permaneceram nas câmaras dentro da gaiola de metabolismo com acesso à ração e água durante 24 horas. Posteriormente, passaram por um período de jejum por 24 horas, após o qual foram colocados na câmara respirométrica com acesso somente à água, e mensurada a troca gasosa por 24 horas.

Neste sistema, uma tubulação de ar é acoplada à uma bomba, a qual realiza a renovação do ar no interior desta, em fluxo constante, durante todo período de mensuração. O ar atmosférico entra na câmara em um fluxo constante de 50 litros por minuto e é misturado ao ar expirado pelos animais, em que foram coletadas amostras a cada 8 minutos para a determinação das concentrações de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>. A concentração máxima permitida de CO<sub>2</sub> foi de 0,5%. O consumo de O<sub>2</sub> e a produção de CO<sub>2</sub> foram calculados baseados no volume e na composição do ar que entra comparado com o ar que sai (Chwalibog, 2004). O cálculo da PC foi feito de acordo com a equação de Brouwer (1965):

$$H \text{ (kj)} = 16,18 \times O_2 \text{ (l)} + 5,02 \times CO_2 \text{ (l)}$$

O incremento calórico foi calculado por meio da diferença da produção de calor mensurada nos suínos alimentados subtraído da produção de calor em jejum ( $IC = PC \text{ alimentado} - PC \text{ jejum}$ ).

Para o cálculo da energia líquida das rações foram utilizados os valores de energia metabolizável menos o incremento calórico ( $EL = EM - IC$ ).

## 2.6 Análise estatística

As variáveis analisadas foram submetidas à análise de variância utilizando o pacote computacional Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas, SAEG (UFV, 2000). Os dados foram comparados pelo teste Dunnet a 5% de probabilidade.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de digestibilidade das dietas experimentais estão apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 – Coeficientes de digestibilidade (%) da matéria seca (CDMS), proteína bruta (CDPB) e da energia bruta (CDEB) de rações suplementadas com diferentes enzimas

| Coeficientes | Enzimas  |                                     |                |                     | Significância | CV (%) <sup>1</sup> |
|--------------|----------|-------------------------------------|----------------|---------------------|---------------|---------------------|
|              | Controle | Amilase +<br>protease<br>+ celulase | β-<br>mananase | α-<br>galactosidade |               |                     |
| MS           | 86,76    | 90,32                               | 90,17          | 87,64               | >0,05         | 3,59                |
| PB           | 82,21    | 89,11                               | 88,45          | 84,25               | >0,05         | 4,70                |
| EB           | 86,13    | 86,17                               | 88,37          | 87,24               | >0,05         | 6,19                |

Médias nas mesmas linhas seguidas de \* diferem do tratamento controle pelo teste Dunnet a 5%;

<sup>1</sup>Coeficiente de variação.

Não houve diferença sobre o CDMS ( $P > 0,05$ ) das dietas suplementadas com enzimas comparadas à dieta isenta de enzimas. Observa-se que a dieta

controle apresentou valores de 86,76%, enquanto que os demais tratamentos esse valor foi, em média, de 89,37%.

Não houve diferença sobre o CDPB ( $P=0,092$ ), entretanto, as rações contendo as enzimas amilase + protease + celulase e  $\beta$ -mananase apresentaram valores maiores (8,39 e 7,59%, respectivamente) quando comparados ao tratamento controle, evidenciando que houve tendência de melhor aproveitamento de proteína das dietas pelos animais quando suplementadas com essas enzimas.

Não foi observada diferença sobre o CDEB ( $P>0,05$ ) dos tratamentos suplementados com enzimas comparados à dieta controle.

Em pesquisas utilizando o complexo enzimático composto por amilase + protease + celulase, Pluske et al. (1998) observaram aumento de 5,5%, 2,7% e 6,4% da digestibilidade da MS, PB e EB, respectivamente, enquanto Thacker (2001), embora não tenha apresentado diferença estatística, constatou aumento de 3,1%, 4,0% e 3,6% na digestibilidade de MS, PB e EB, respectivamente.

O aumento da digestibilidade do CDPB da ração contendo as enzimas amilase + protease + celulase pode ter ocorrido pelo efeito simultâneo da combinação das enzimas, em que a celulase ao hidrolisar as ligações  $\beta$ -1,4 glicosídicas nas cadeias de celulose liberou nutrientes contidos no interior da célula vegetal, que é composta por diferentes substâncias, dentre elas, as proteínas, as quais passam a ser disponíveis para o aproveitamento pelo animal. Além disso, pode ter ocorrido inativação de substâncias antinutricionais encontradas no farelo de soja por parte da ação da protease e pelo seu efeito sobre a solubilidade da proteína do milho que envolve o grânulo de amido.

Em estudos realizados com a enzima  $\beta$ -mananase, Pettey et al. (2002) não encontraram diferença significativa sobre os valores de digestibilidade dos nutrientes em diferentes fases. De acordo com os autores, isso pode ser explicado pelo pequeno conteúdo de  $\beta$ -manana no farelo de soja.

Resultados encontrados por Radcliffe et al. (1999) diferem dos encontrados nesse trabalho, os quais encontraram aumento da digestibilidade ileal aparente da MS e EB em dietas suplementadas com  $\beta$ -mananase.

Lv et al. (2013), observaram que o aumento do nível de  $\beta$ -mananase na dieta (0, 200, 400 e 600 U/kg) à base de milho e farelo de soja melhorou a digestibilidade total de MS e PB.

Cho & Kim (2013), observaram maior digestibilidade de dietas com baixo nível de energia quando foi adicionado um complexo enzimático composto por  $\beta$ -mananase e xinalase. Porém, de acordo com Jackson et al. (2004) e Daskiran et al. (2004), a adição da enzima  $\beta$ -mananase sozinha apresenta melhores resultados sobre a digestibilidade dos nutrientes.

Os possíveis efeitos benéficos da suplementação com a enzima  $\beta$ -mananase sobre o CDPB podem ser atribuídos em razão da clivagem da cadeia principal  $\beta$ -1,4-manano do farelo de soja, o que pode ter resultado em redução da viscosidade gastrointestinal, apresentando maior taxa de difusão da digesta aumentando o contato enzima-substrato, consequentemente, melhor aproveitamento da PB.

Os resultados encontrados para a ração contendo  $\alpha$ -galactosidade foram semelhantes aos resultados obtidos por Smiricky et al. (2002), que não observaram efeito significativo sobre a digestibilidade dos nutrientes com adição dessa enzima. Os suínos em crescimento apresentam o sistema digestório mais desenvolvido do que leitões, possuindo maior capacidade de degradar os oligossacarídeos da soja, que são os componentes que essa enzima atua (Zdunczyk, 2004), o que pode explicar os resultados desse trabalho.

Esses resultados contrariam os encontrados por Baucells et al. (2000), que observaram incremento de 2,91% no CDMS e 12,50% no CDPB, com a suplementação de  $\alpha$ -galactosidade.

Os dados de produção de calor e incremento calórico de suínos em crescimento alimentados com dietas experimentais estão apresentados na tabela 3.

Não houve diferença ( $P>0,05$ ) nos valores de PC e IC ( $\text{Kcal/kg}^{0,60}$ ) dos animais que receberam ração suplementada com as diferentes enzimas em relação ao que consumiram ração isenta de enzima. Esperava-se que houvesse redução na produção de calor e IC dos animais que consumiram as rações suplementadas com enzimas exógenas, porém, esta hipótese não foi confirmada.

Tabela 3 – Produção de calor (PC Kcal/kg<sup>0,60</sup>/dia) e incremento calórico (IC Kcal/kg<sup>0,60</sup>/dia) de suínos em crescimento alimentados com dietas suplementadas com diferentes enzimas

| Parâmetros                 | Tratamentos |                                     |                |                     | P valor | CV (%) <sup>1</sup> |
|----------------------------|-------------|-------------------------------------|----------------|---------------------|---------|---------------------|
|                            | Controle    | Amilase +<br>protease<br>+ celulase | β-<br>mananase | α-<br>galactosidase |         |                     |
| PC Kcal/kg <sup>0,60</sup> | 317,28      | 312,28                              | 324,43         | 331,44              | >0,05   | 9,99                |
| IC Kcal/kg <sup>0,60</sup> | 112,52      | 107,52                              | 119,67         | 126,68              | >0,05   | 26,98               |

Médias nas mesmas linhas seguidas de \* diferem do tratamento controle pelo teste Dunnet a 5%;

<sup>1</sup>Coeficiente de variação.

O valor da PC em jejum, que é a necessidade de energia para manutenção foi de 204,76 kcal/kg<sup>0,60</sup>/dia, valor superior ao que vem sendo utilizado para calcular as exigências de EL total para os animais em crescimento, que é de 179 kcal/kg<sup>0,60</sup>/dia (Kil et al., 2011; Stewart et al., 2013). Essa diferença pode ter ocorrido por fatores como genética, temperatura ambiental, estágio do desenvolvimento do animal, entre outros.

Os resultados obtidos para os valores de energia digestível (ED), energia metabolizável (EM), relação EM:ED, incremento calórico (IC) e energia líquida (EL) das rações estão apresentados na tabela 4.

Não foram encontradas diferenças ( $P>0,05$ ) sobre os valores energéticos das rações suplementadas com enzimas quando comparadas às que não foram suplementadas.

Observa-se que a dieta controle apresentou valores de 3436,60; 3288,10; 2372,55 kcal/kg, respectivamente para a ED, EM e EL, enquanto que nos demais tratamentos esses valores foram, respectivamente, em média de 3557,01; 3410,92 e 2531,91 kcal/kg.

Mesmo que não tenha ocorrido diferença significativa, o aumento de 5,07% da EM e 9,67% da EL da ração suplementada com β-mananase pode estar ligado à redução da ativação do sistema de defesa da mucosa intestinal do animal atribuído à essa enzima. Realmente, as dietas suplementadas com essa enzima apresentaram IC/kg de MN consumida numericamente inferior

(875,85 x 915,55). Pode ter levado a menor gasto energético, direcionando a energia, antes gasta no processo imunológico, para manutenção.

Tabela 4 – Valores de Energia Digestível (ED), Energia Metabolizável (EM), relação Energia Metabolizável/Energia Digestível (EM:ED), Incremento Calórico (IC) e Energia Líquida (EL) das rações de acordo com a suplementação de enzimas na dieta para suínos em crescimento

| Variáveis    | Tratamentos |                                     |                |                     | P valor | CV (%) <sup>1</sup> |
|--------------|-------------|-------------------------------------|----------------|---------------------|---------|---------------------|
|              | Controle    | Amilase +<br>Protease +<br>celulase | β-<br>mananase | α-<br>galactosidade |         |                     |
| ED (Kcal/kg) | 3436,60     | 3491,38                             | 3611,06        | 3568,60             | >0,05   | 6,182               |
| EM (Kcal/kg) | 3288,10     | 3344,35                             | 3477,94        | 3410,47             | >0,05   | 6,622               |
| EM:ED (%)    | 95,62       | 95,79                               | 96,33          | 95,56               | >0,05   | 1,725               |
| IC kg cons.  | 915,55      | 872,12                              | 875,85         | 888,88              | >0,05   | 15,658              |
| EL (Kcal/kg) | 2372,55     | 2472,23                             | 2602,09        | 2521,59             | >0,05   | 10,105              |

<sup>1</sup>Coeficiente de variação.

A relação EM:ED também não apresentou diferença entre os tratamentos ( $P>0,05$ ). Essa relação está relacionada à eficiência de utilização da ED em EM. De acordo com Noblet et al. (1993), na maioria das situações, a relação entre EM:ED de dietas completas é de aproximadamente 96%. Neste caso, todas as dietas apresentaram valores semelhantes.

De acordo com Ruiz et al. (2008), a determinação da digestibilidade total ou digestibilidade fecal aparente de dietas suplementadas com enzimas exógenas nem sempre promove incrementos no aproveitamento de nutrientes pelos animais devido à atividade microbiana no intestino grosso desses animais. Consequentemente, os nutrientes excretados nas fezes não correspondem exatamente a materiais não-digeridos no intestino delgado, podendo haver também produtos de origem microbiana.

A comparação de resultados de suplementação enzimática para suínos é bastante complexa. De acordo com Bisneto et al. (2013), rações formuladas à base de milho e farelo de soja apresentam pouca margem de ganho em digestibilidade e valores energéticos, visto que, a inclusão do alimento fibroso pode não ser suficiente para provocar um desafio em que pudesse ocorrer

efeito positivo da ação de um complexo enzimático, pois, suínos na fase de crescimento e terminação apresentam habilidades em utilizar rações contendo maiores níveis de fibra dietética, devido ao maior tamanho do trato gastrointestinal, em especial do intestino grosso (Varel, 1997).

Animais na fase de creche têm o sistema digestório imaturo e produção insuficiente de diversas enzimas para digestão de ingredientes de origem vegetal. Assim, fatores antinutricionais presentes nestes ingredientes, podem afetar mais severamente esses animais do que os na fase de crescimento, fato que possibilita maior expressão dos efeitos positivos das enzimas exógenas adicionadas às dietas dos animais na fase de creche.

#### **4. CONCLUSÃO**

Conclui-se que rações suplementadas com as diferentes enzimas estudadas não influenciam a digestibilidade, produção de calor e valores energéticos das dietas para suínos em crescimento.

#### **5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ASSOCIATION OF THE OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. *Official methods of analysis of the association of Official Analytical Chemists*. 16ed. Washington DC, 1995.

BALDWIN, R.L.; BYWATER, A.C. Nutritional energetics of animals. *Annu Rev Nutr.*, v.4, p.101-114, 1984.

BAUCELLS, F.; PEREZ, J.F.; MORALES, J. et al. Effect of á-galactosidase supplementation of cereal-soya-bean-pea diets on the productive performances, digestibility and lower gut fermentation in growing and finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, v.71, n.1, p.157-164, 2000.

BISNETO, P.A.B.; SILVA, L.A.; SOUSA, F.A.; LIMA, S.B.P. Energia metabolizável das rações sobre a ação de complexos enzimáticos em frangos de corte de 11 a 20 dias. 2013. Monografia (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal do Piauí – Teresina.

BROUWER, E. Report of Sub-Committee on Constants and Factors. *Proc. 3<sup>rd</sup> Symp. on Energy Metabolism*, EAAP Publ. nº 11, p.441-443, 1965.

CAMPESTRINI, E.; SILVA, V.T.M.; APPELT, M.D. Utilização de enzimas na alimentação animal. *Rev. Eletr. Nutr.*, v.2, n.6, p.259-272, 2005.

CHO, J.H.; KIM, I.H. Effects of beta-mannanase supplementation in combination with low and high energy dense diets for growing and finishing broilers. *Lives. Sci.*, v.154, n.1-3, p.137-146, 2013.

CHWALIBOG, A. Physiological basis of heat production – The fire of life. *Research School of Nutrition and Physiology*, September, 2004.

DASKIRAN, M.; TEETER, R.G.; FODGE, D.W.; HSIAO, H.Y. An evaluation of endo- $\beta$ -D-mannanase (Hemicell) effects on broiler performance and energy use in diets varying in  $\beta$ -mannan content. *Poult. Sci.*, v.83, n.4, p.662-668, 2004.

HOFFMAN, P.C.; SHAVER, R.D. Corn biochemistry: Employing cereal chemistry techniques in grain and corn silage analysis. 2008. Disponível em: <[www.das.psu.edu/dairy/nutrition/pdf-dairynutrition/hoffman-corn-grain-silage-analysis.pdf](http://www.das.psu.edu/dairy/nutrition/pdf-dairynutrition/hoffman-corn-grain-silage-analysis.pdf)>. Acessado em: 05 abr. 2016.

JACKSON, M.E.; GERONIAN, K.; KNOX, A. et al. A dose-response study with the feed enzyme  $\beta$ -mannanase in broilers provided with cornsoybean meal based diets in the absence of antibiotic. *Poult. Sci.*, v.83, n.12, p.1.992-1.996, 2004.

JUST, A. The net energy value of balanced diets for growing pigs. *Livest. Prod. Sci.*, v.8, n.6, p.541-555, 1982.

KIL D.Y.; JI, F.; STEWART, L.L.. et al. Net energy of soybean oil and choice white grease in diets fed to growing and finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, v.89, n.2, p.448-459, 2011.

LV, J.N.; CHEN, Y.Q.; GUO, X.J. et al. Effects of supplementation of  $\beta$ -mannanase in corn-soybean meal diets on performance and nutrient digestibility in growing pigs. *Asian-Australas J. Anim. Sci.*, v.26, n.4, p.579-587, 2013.

NOBLET, J.; SHI, X.S.; DUBOIS, S. Metabolic utilization of dietary energy and nutrients for maintenance energy requirements in sows: basis for net energy system. *Brit. J. Nutr.*, v.70, n.2, p.407-419, 1993.

NOBLET, J.; KAREGE, C.; DUBOIS, S. Influence of growth potential on energy requirements for maintenance in growing pigs. In: WENK C, BOESSINGER M, EDITORS. *Energy Metabolism of Farm Animals*. EAAP Publication; Zurich, Switzerland: 1991. p.107-110.

PEKAS, J.C. Versatile swine in laboratory apparatus for physiologic and metabolic studies. *J. Anim. Sci.*, v.27, n.5, p.1303-1306, 1968.

PETTEY, L.A.; CARTER, S.D.; SENNE, B.W.; SHRIVER, J.A. Effect of beta-mannanase adding to corn-soybean meal diets on growth performance, carcass traits, and nutrient digestibility of weanling and growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, v.80, n.4, p.1012-1019, 2002.

PLUSKE, J.R.; MOREL, P.C.H.; JAMES, E.A.C. et al. Vegpro increases fecal digestibility coefficients in pigs fed soybean meal and canola meal. In: ALLTECH ANNUAL SYMPOSIUM, 1998, Lexington. Anais... Lexington: [s.n.] 1998.

RADCLIFFE, J.S.; ROBBINS, B.C.; RICE, J.P. et al.. The effects of Hemicell<sup>®</sup> on digestibilities of minerals, energy, and amino acids in pigs fitted with steered ileo-cecal valve cannulas and fed a low and high protein corn-soybean meal diet. *J. Anim. Sci.*, v.77, p.197, 1999.

ROBLES, A.; EWAN, R.C. Utilization of energy of rice and rice bran by young pigs. *J. Anim. Sci.*, v.55, n.3, p.572-577, 1982.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L. et al. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2011. 252p.

RUIZ, U.S.; THOMAZ, M.C.; HANNAS, M.I. et al. Complexo enzimático para suínos: digestão, metabolismo, desempenho e impacto ambiental. *Rev. Bras. Zootec.*, v.37, n.3, p.458-468, 2008.

SAEG. Sistema de análises estatísticas e genéticas. Viçosa: UFV, 2000.

SAKOMURA, N.K.; SILVA, J.H.V.; COSTA, F.G.P. et al. Nutrição de Não Ruminantes. Jaboticabal: FUNEP, 2014. 678p.

SMIRICKY, M.R.; GRIESHOP, C.M.; ALBIN, D.M. The influence of soy oligosaccharides on apparent and true ileal amino acid digestibilities and fecal consistency in growing pig. *J. Anim. Sci.*, v.80, n.9, p.2433-2441, 2002.

STEWART, L.L.; KIL, D.Y.; JI, F. et al. Effects of dietary soybean hulls and wheat middlings on body composition, nutrient and energy retention, and the net energy of diets and ingredients fed to growing and finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, v.91, n.6, p.2756-2765, 2013.

THACKER, P.A. Effect of enzyme supplementation on the performance of growing-finishing pigs feed barley-based diets supplemented with soybean meal or canola meal. *Asian-Australian J. Anim. Sci.*, p.1008-1013, 2001.

THONNEY, M.L.; TOUCHBERRY, R.D.; GOODRICH, R.W.; MEISKE, J.C. Intraspecies relationship between fasting heat production and body weight: A reevaluation of  $W^{.75}$ . *J. Anim. Sci.*, v.43, n.3, p.692-704, 1976.

VAN MILGEN, J.; BERNIER, J.F.; LECOZLER, Y. et al. Major determinants of fasting heat production and energetic cost of activity in growing pigs of different body weight and breed/castration combination. *Br. J. Nutr.*, v.79, p.509-517, 1998.

VAREL, V.H.; YEN, J.T. Microbial perspective on fiber utilization by swine. *J. Anim. Sci.*, v.75, n.10, p.2715-2722, 1997.

VIOLA, E.S. Efeito do tempo de autoclavagem sobre a digestibilidade dos grãos de soja integral em suínos na fase de crescimento. 1996. 137F. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ZDUNCZYK, Z. Physiological effect of low digestible oligosaccharides in diets for animals and humans. *Polish J. Food Nutr. Sci.*, v.13, p.115-130, 2004.