



**UDESC**

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

TESE DE DOUTORADO

**PERDAS ENDÓGENAS E  
DIGESTIBILIDADE VERDADEIRA  
DO FÓSFORO DOS FARELOS DE  
SOJA E CANOLA PARA AVES E  
SUÍNOS**

AMANDA D AVILA VERARDI

LAGES, 2017



**AMANDA D AVILA VERARDI**

**PERDAS ENDÓGENAS E DIGESTIBILIDADE VERDADEIRA DO FÓSFORO  
DOS FARELOS DE SOJA E CANOLA PARA AVES E SUÍNOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Ciência Animal.

Orientador: Clóvis Eliseu Gewehr

**LAGES, SC**

**2017**

Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com  
auxílio do programa de geração automática da  
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC

D Avila Verardi, Amanda  
PERDAS ENDÓGENAS E DIGESTIBILIDADE VERDADEIRA DO  
FÓSFORO DOS FARELOS DE SOJA E CANOLA PARA AVES E  
SUÍNOS / Amanda D Avila Verardi. - Lages , 2017.  
122 p.

Orientador: Clóvis Eliseu Gewehr  
Tese (Doutorado) - Universidade do Estado de Santa  
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias,  
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Lages,  
2017.

1. Avicultura. 2. Dejetos. 3. Metabolismo. 4.  
Minerais. 5. Suinocultura. I. Eliseu Gewehr, Clóvis  
. II. Universidade do Estado de Santa Catarina.  
Programa de Pós-Graduação. III. Título.

AMANDA D'AVILA VERARDI

**PERDAS ENDÓGENAS E DIGESTIBILIDADE VERDADEIRA DO FÓSFORO  
DOS FARELOS DE SOJA E CANOLA PARA AVES E SUÍNOS**

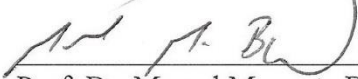
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciência Animal.

**Banca Examinadora**

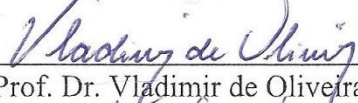
Orientador:

  
Prof. Dr. Clóvis Eliseu Gewehr  
Universidade do Estado de Santa Catarina

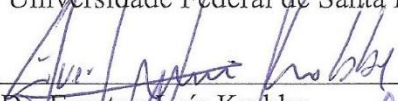
Membro:

  
Prof. Dr. Marcel Manente Boiago  
Universidade do Estado de Santa Catarina

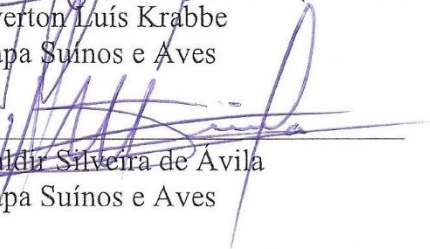
Membro:

  
Prof. Dr. Vladimir de Oliveira  
Universidade Federal de Santa Maria

Membro:

  
Dr. Everton Luís Krabbe  
Embrapa Suínos e Aves

Membro:

  
Dr. Valdir Silveira de Ávila  
Embrapa Suínos e Aves

Lages, SC, 22/02/2017



À filha Julia, tão pequena, mas tão grande na compreensão das ausências.

Ao esposo André, por todo o apoio, auxílio e amor.

À mãe Zuleika, ao pai Flávio (*in memoriam*), ao irmão João Vicente e às tias Fátima e Andrea, pela torcida.





## AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida, por tudo!

Ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da UDESC, pela oportunidade em cursar um doutorado de qualidade.

Ao meu orientador, Prof. Clóvis Gewehr, profissional que conheci e passei a admirar; agradeço os conselhos, o apoio sempre que necessário, a orientação e amizade.

Ao Prof. Vladimir de Oliveira pelas palavras de incentivo, por sanar muitas dúvidas, por ser um exemplo de profissional e pesquisador da Suinocultura e pela oportunidade em conduzir um dos experimentos no Setor de Suínos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Aos meus colegas de caminhada, pessoas muito, muito especiais e que irei lembrar sempre, Aline Schneider e Flávio Yuri, obrigada por tudo!

Aos estagiários e bolsistas do Setor de Avicultura do CAV: Mainara, Giovana, Vanessa, Bianca, Leonardo, Hélio e demais pós-graduandos, em especial à Jaqueline Mayer, agradeço a ajuda nos experimentos!

À equipe de estagiários, bolsistas e pós-graduandos do Setor de Suínos da UFSM: Diego, Marcieli, Franciane, Lucas, Flávia, Isadora, Débora, Henrique, Ravena, Samantha, Juliana, Gabriele, Victória, Josué, Maurício, Leonardo, pelo auxílio, companheirismo e acolhida nos períodos experimentais.

Aos animais experimentais, obrigada, vocês tiveram meu respeito e terão minha eterna admiração.

Aos meus animais, fonte diária de ânimo, minha gratidão.

Aos meus colegas e servidores do Instituto Federal Catarinense (IFC) Campus Concórdia, pelo incentivo!

Às queridas alunas do curso de Medicina Veterinária do IFC, Karina Allievi e Júlia Spricigo, que tanto auxiliaram nas exaustivas análises laboratoriais, vocês são especiais, obrigada!

À FUMDES pela concessão da bolsa de estudos.

Aos membros das bancas de qualificação e defesa, obrigada por todas as sugestões.

À todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho, muito obrigada!



“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar.  
Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.

Madre Teresa de Calcutá

“A paciência é a chave para tudo. Você consegue a galinha chocando o ovo, e não o quebrando”.

Arnold Glasgow

Saudação ao Porco

Tem gente que diz que o porco  
É sujo e que tem preguiça  
Mas ficam mesmo que loucos  
Quando enxergam uma lingüiça

Outros não gostam do bicho  
Se falo, mudam de assunto  
Mas brigam se no sanduíche  
Falta um pouco de presunto

Como o porco não transpira  
E se refresca no barro  
Chamam os sujos de porco  
E querem tirar um sarro  
Porco mesmo é quem os cria



Sem um cuidado especial  
E pensa que a sujeira  
É o habitat do animal

A porca fez uma aposta  
Com a vaca sua amiga  
Pra cada filhote seu  
Tenho doze na barriga

A parte Sul do Rio Grande  
É a que tem menos dinheiro  
Dizem que é falta de indústria  
Mas é falta de chiqueiro  
Os antigos já sabiam  
Qual era o melhor caminho  
Por isso é sempre de porco  
O formato do cofrinho

Botar dinheiro no porco  
Ainda é a melhor poupança  
É bom começar bem cedo  
A ensinar as crianças  
E por falar em crianças  
Graças à suinocultura  
Há menos fome no mundo  
É essa é verdade pura.

Alcy de Vargas Cheuiche



## RESUMO

Um dos mais críticos problemas ambientais de Santa Catarina é a poluição causada pelos dejetos de suínos e aves. O fósforo (P), apesar de ser essencial a esses animais, é o mineral com maior potencial poluidor de mananciais, estimulando a eutrofização e degradação ambiental. A determinação da digestibilidade verdadeira ( $D_{\text{verd}}$ ) do P de ingredientes é essencial para reduzir a excreção do mineral através de uma formulação mais ajustada às exigências nutricionais. Por meio de ensaios de digestibilidade, objetivou-se estudar as perdas endógenas (PE) e a  $D_{\text{verd}}$  do P dos farelos de soja (FS) e canola (FC) para frangos de corte, poedeiras comerciais nas fases de recria e postura e suínos. Adicionalmente, foram avaliadas as diferenças interespecies na digestibilidade do P do farelo de canola. Dietas semipurificadas à base de amido de milho foram formuladas para atender 30, 45, 60 ou 75% da exigência de P recomendada para a fase de crescimento. Os animais foram alojados em gaiolas metabólicas para coleta total de excretas ou fezes e as PE bem como a  $D_{\text{verd}}$  do P foram determinados para cada ingrediente pelo método da regressão linear. Para frangos de corte, os coeficientes de  $D_{\text{verd}}$  do P do FC e do FS foram 34,7 e 28,7% com respectivas PE de -411 e -421 mg/kg de matéria seca ingerida (MSI). Em relação às poedeiras comerciais na fase de recria, a  $D_{\text{verd}}$  do P foi de 22,9 e -17,0% para o FC e FS com PE de -493 e -1490 mg/kg de MSI. Na fase de postura, a  $D_{\text{verd}}$  do P foi de 32,2 e 36,7% para os farelos de canola e soja e as PE foram de -344 para o FC e 210 mg/kg de MSI para o farelo de soja. Os ensaios com poedeiras demonstraram que aves Hy-Line Brown às 32 semanas de idade aproveitam o P do FS mais eficientemente que às 17 semanas. Para suínos em crescimento-terminação, os coeficientes de  $D_{\text{verd}}$  do P dos farelos de canola e soja foram 65,0 e 85,0% com PE de -471 e -457 mg/kg de matéria seca ingerida. O estudo interespecies evidenciou que para o FC, poedeiras na fase de recria têm menor PE de P em relação a frangos de corte e maior em relação à poedeiras na fase de produção.

**Palavras-chave:** Avicultura. Dejetos. Metabolismo. Minerais. Suinocultura.





## ABSTRACT

One of the most critical environmental problems in Santa Catarina is the pollution caused by swine and poultry waste. Phosphorus (P), although essential to these animals, is the mineral with the highest pollution potential of springs, stimulating eutrophication and environmental degradation. Determination of true total tract P digestibility (TPD) is essential to reduce the excretion through a formulation more suited to the nutritional requirements. The objective of this study was to evaluate the endogenous P losses (EL) and the TPD of soybean meal (SM) and canola meal (CM) in broiler chickens, commercial laying hens in the rearing and laying phases and pigs. The interspecies differences in P digestibility of CM were also evaluated. Semipurified diets based on corn starch were formulated to meet 30, 45, 60 or 75% of the recommended P requirements for growing phase. The animals were housed in metabolic cages for total collection of excreta or feces and the EL as well as TPD were determined simultaneously for each ingredient by the linear regression method. For broiler chickens, TPD of CM and SM were 34.7 and 28.7% with respective EL of -411 and -421 mg/kg of dry matter intake (DMI). In relation to commercial laying hens in the rearing phase, TPD were 22.9 and -17.0% for CM and SM with EL of -493 and -1490 mg/kg of DMI, respectively. In the laying phase, the TPD was 32.2 and 36.7% for CM and SM and the EL were -344 for CM and 210 mg/kg of DMI. Layer trials demonstrated that Hy-Line Brown hens at 32 weeks of age digest P of SM more efficiently than at 17 weeks. For growing-finishing pigs, the TPD of CM and SM were 65.0 and 85.0% with EL of -471 and -457 mg/kg of DMI. The interspecies study showed that for CM, laying hens in the rearing phase have lower values of EL in relation to broilers and higher EL in relation to laying hens in the production phase.

**Keywords:** Metabolism. Minerals. Poultry production. Swine production. Waste.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Relação linear entre o consumo (g/kg MS) e a excreção de P dietético (g/kg MSI) em frangos de corte na fase de crescimento alimentados com dietas contendo níveis crescentes de farelo de canola (A) ou soja (B).....	56
Figura 2 - $D_{\text{verd}}$ (%) do P dos farelos de soja e canola para poedeiras nas fases de recria (17 sem) e produção (32 sem).....	80
Figura 3 - PE (mg/kg MSI) do P dos farelos de soja e canola para poedeiras nas fases de recria (17 sem) e produção (32 sem) .....	80
Figura 4 – Relação linear entre a digestão (g/kg MSI) e a ingestão de P dietético (g/kg MS) em suínos na fase de crescimento-terminação alimentados com dietas contendo níveis crescentes de farelo de canola (A) ou soja (B) .....	98
Figura 5 - Relação linear entre P excretado (g/kg $PV^{0,75}$ ) e P dietético (g/kg $PV^{0,75}$ ) do farelo de canola fornecido em níveis crescentes para galinhas poedeiras, frangos de corte e suínos .....	115



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição nutricional do farelo de canola e do farelo de soja <sup>1,2</sup> .....	29
Tabela 2 - Composição centesimal e calculada das dietas experimentais .....	46
Tabela 3 - Composição analisada e calculada dos farelos de canola e soja <sup>1</sup> .....	49
Tabela 4 – Digestibilidade da matéria seca (MS) e do fósforo (P) em frangos Cobb aos 28 dias alimentados com dietas semipurificadas com níveis crescentes de P oriundos do farelo de canola.....	53
Tabela 5 - Digestibilidade da matéria seca (MS) e do fósforo (P) em frangos Cobb aos 28 dias alimentados com dietas semipurificadas com níveis crescentes de P oriundos do farelo de soja .....	54
Tabela 6 - Relação linear entre P excretado (g/kg de MS ingerida) e P dietético (g/kg de MS) dos farelos de canola e soja fornecidos em níveis crescentes para frangos de corte na fase de crescimento <sup>1</sup> .....	55
Tabela 7 - Composição centesimal e calculada das dietas de poedeiras na fase de recria <sup>1</sup> .....	63
Tabela 8 - Composição centesimal e calculada das dietas de poedeiras na fase de produção <sup>1</sup> .....	64
Tabela 9 - Composição analisada e calculada dos farelos de canola e soja <sup>1</sup> .....	67
Tabela 10 - Digestibilidade da matéria seca (MS) e do fósforo (P) em poedeiras Hy-Line Brown na fase de recria alimentadas com dietas semipurificadas com níveis crescentes de P oriundos do farelo de canola.....	74
Tabela 11 - Digestibilidade da matéria seca (MS) e do fósforo (P) em poedeiras Hy-Line Brown na fase de recria alimentadas com dietas semipurificadas com níveis crescentes de P oriundos do farelo de soja.....	75
Tabela 12 - Relação linear entre P excretado (g/kg de MS ingerida) e P dietético (g/kg de MS) dos farelos de canola e soja fornecidos em níveis crescentes para poedeiras Hy-Line Brown na fase de recria <sup>1</sup> .....	76
Tabela 13 – Digestibilidade da matéria seca (MS) e do fósforo (P) em poedeiras Hy-Line Brown na fase de postura alimentadas com dietas semipurificadas com níveis crescentes de P oriundos do farelo de canola.....	77
Tabela 14 – Digestibilidade da matéria seca (MS) e do fósforo (P) em poedeiras Hy-Line Brown na fase de postura alimentadas com dietas semipurificadas com níveis crescentes de P oriundos do farelo de soja.....	78
Tabela 15 – Relação linear entre P excretado (g/kg de MS ingerida) e P dietético (g/kg de MS) dos farelos de canola e soja fornecidos em níveis crescentes para poedeiras Hy-Line Brown na fase de postura <sup>1</sup> .....	79
Tabela 16 - Composição centesimal e calculada das dietas experimentais <sup>1</sup> .....	88
Tabela 17 – Composição analisada e calculada dos farelos de canola e soja <sup>1</sup> .....	91
Tabela 18 – Digestibilidade da matéria seca (MS) e do fósforo (P) em suínos na fase de crescimento-terminação alimentados com dietas semipurificadas com níveis crescentes de P oriundos do farelo de canola.....	95

Tabela 19 – Digestibilidade da matéria seca (MS) e do fósforo (P) em suínos na fase de crescimento-terminação alimentados com dietas semipurificadas com níveis crescentes de P oriundos do farelo de soja.....	96
Tabela 20 – Relação linear entre P digerido (g/kg de MS ingerida) e P dietético (g/kg de MS) dos farelos de canola e soja fornecidos em níveis crescentes para suínos na fase de crescimento-terminação <sup>1</sup> .....	97
Tabela 21 - Composição centesimal das dietas experimentais.....	113
Tabela 22 – Equações de regressão lineares para estimativas do P excretado (g/kg PV <sup>0,75</sup> ) de frangos de corte, poedeiras nas fases de recria e produção e suínos alimentados com níveis crescentes de farelo de canola .....	114

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>23</b>
1.1 REFERÊNCIAS.....	25
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>26</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	26
2.2 IMPORTÂNCIA DO FÓSFORO .....	27
2.3 FARELO DE CANOLA .....	28
2.4 FARELO DE CANOLA PARA MONOGÁSTRICOS.....	30
<b>2.4.1 Aves.....</b>	<b>30</b>
2.4.1.1 <i>Frangos de corte</i> .....	30
2.4.1.2 <i>Poedeiras comerciais</i> .....	31
<b>2.4.2 Suínos.....</b>	<b>32</b>
2.5 MÉTODO DA REGRESSÃO PARA ESTIMAR A DIGESTIBILIDADE VERDADEIRA DO FÓSFORO EM MONOGÁSTRICOS .....	34
2.6 REFERÊNCIAS.....	37
<b>3 CAPÍTULO I – PERDAS ENDÓGENAS E DIGESTIBILIDADE VERDADEIRA DO FÓSFORO DOS FARELOS DE SOJA E CANOLA PARA FRANGOS DE CORTE ...</b>	<b>44</b>
3.1 INTRODUÇÃO .....	44
3.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	45
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
3.4 CONCLUSÕES .....	52
3.5 REFERÊNCIAS.....	57
<b>4 CAPÍTULO II – PERDAS ENDÓGENAS E DIGESTIBILIDADE VERDADEIRA DO FÓSFORO DOS FARELOS DE SOJA E CANOLA PARA POEDEIRAS: FASES DE RECRIA E PRODUÇÃO.....</b>	<b>61</b>
4.1 INTRODUÇÃO .....	61
4.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	62
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
4.4 CONCLUSÕES .....	73
4.5 REFERÊNCIAS.....	81
<b>5 CAPÍTULO III – PERDAS ENDÓGENAS E DIGESTIBILIDADE VERDADEIRA DO FÓSFORO DOS FARELOS DE SOJA E CANOLA PARA SUÍNOS.....</b>	<b>86</b>
5.1 INTRODUÇÃO .....	86
5.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	87
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	90
5.4 CONCLUSÕES .....	94
5.5 REFERÊNCIAS.....	99

<b>6 CAPÍTULO IV – DIFERENÇAS INTERESPÉCIES NA DIGESTIBILIDADE VERDADEIRA DO FÓSFORO DO FARELO DE CANOLA .....</b>	<b>104</b>
6.1 INTRODUÇÃO .....	104
6.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	105
6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	108
6.4 CONCLUSÕES .....	112
6.7 REFERÊNCIAS.....	116
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>120</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>121</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os principais países produtores de carne suína, de frango e ovos. Na produção de carne, Santa Catarina responde por 27 e 18% da produção nacional de suínos e frangos, respectivamente, e na produção de ovos encontra-se entre os dez principais produtores (IBGE, 2015). Esses números resultam de um sistema amparado na agricultura familiar integrada à agroindústria, dotado de regiões especializadas na produção e consequentemente com alta densidade animal.

A concentração elevada de aves e suínos em determinadas regiões, no entanto, resulta em problemas ambientais, sendo o mais crítico a poluição causada pelas dejeções (JONDREVILLE; DOURMAD, 2005). Quando não reaproveitados, esses dejetos alcançam os cursos de água, poluindo os mananciais. Em Santa Catarina, as regiões mais afetadas são as bacias hidrográficas do Oeste, rios Chapecó e Irani e do Sul catarinense, rio Tubarão (PLANO CATARINENSE DE DESENVOLVIMENTO, 2015).

O fósforo (P) e o nitrogênio (N) são os principais elementos com potencial poluidor nos dejetos de suínos e nas excretas de aves (JONGBLOED; LENIS, 1998). Por causar eutrofização das águas superficiais, o P merece atenção, pois nesse processo ocorre a diminuição do oxigênio dissolvido na água, modificando o equilíbrio dos ecossistemas (JONGBLOED et al., 1999).

Suínos e aves têm pouca habilidade em digerir o P de alimentos de origem vegetal, que representam a maior parte de suas dietas, o que resulta na excreção diária de aproximadamente 50% do P ingerido (SCHULIN-ZEUTHEN et al., 2007). Isso está relacionado à presença de fitato no alimento, o qual não é digerido sem a enzima fitase (AJAKAIYE et al., 2003) e à suplementação excessiva de fosfatos nas formulações, pela falta de dados de digestibilidade verdadeira ( $D_{\text{verd}}$ ) do P em certos ingredientes.

O farelo de soja (FS) é a principal fonte proteica utilizada nas rações para aves e suínos, tendo uma gama de informações disponíveis no tocante a composição nutricional, digestibilidade e limitações para uso nas dietas. O farelo de canola (FC) possui cerca de 38% de proteína e teor considerável de P total, ao redor de 1,0% (ROSTAGNO et al., 2011). Esse alimento, portanto, pode ser uma alternativa importante ao farelo de soja, não somente de uma perspectiva proteica, como também mineral.

Dados de  $D_{\text{verd}}$  permitem reduzir o uso de fontes alternativas de P suplementar e a excreção desse mineral nos dejetos (PETERSEN; STEIN, 2006). Em relação à digestibilidade

aparente ( $D_{ap}$ ), a  $D_{verd}$  considera as perdas endógenas totais de P, que são variáveis. Assim, a  $D_{verd}$  é atualmente considerada um valor mais preciso em relação à aparente. Existe, contudo, a carência desses dados para aves e suínos em relação ao FC produzido no Brasil. Adicionalmente, são poucos os estudos nacionais que determinam as perdas endógenas de P pelo método de regressão e não há trabalho publicado que avalie a  $D_{verd}$  dos mesmos alimentos em diferentes monogástricos. Nesse sentido, as diferenças interespecies na digestibilidade verdadeira do P e suas perdas endógenas podem ser melhor elucidadas quando poedeiras, frangos e suínos são alimentados com dietas de composição similar. Embora esses animais tenham exigências de P disponível diferentes, uma extrapolação de dados interespecies seria vantajosa em termos de manejo e custos experimentais.

A alimentação de precisão é proposta como uma abordagem essencial para melhorar a utilização do fósforo, reduzir sua excreção e o custo da ração (POMAR et al., 2009). Para isso, é necessário, entre outros quesitos, o conhecimento do valor nutricional dos ingredientes.

O presente trabalho tem por objetivo geral determinar as perdas endógenas totais e a  $D_{verd}$  do P do FS e do FC para suínos, frangos de corte e poedeiras nas fases de crescimento e postura. Além disso, verificar o comportamento interespecie da  $D_{verd}$  do P e perdas endógenas nesses animais.

A tese está estruturada de forma a apresentar uma introdução sobre o assunto estudado, uma revisão de literatura, os resultados experimentais de frangos de corte, aves poedeiras na recria e produção e suínos em crescimento-terminação, além de um capítulo destinado a discutir as diferenças interespecies quanto a  $D_{verd}$  do P do farelo de canola. Por fim, são colocadas as conclusões gerais sobre o trabalho desenvolvido e sugestões para pesquisas futuras.

## 1.1 REFERÊNCIAS

AJAKAIYE, A. et al. Determination of true digestive utilization of phosphorus and the endogenous phosphorus outputs associated with soybean meal for growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 81, n. 11, p. 2766-2775, 2003.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2015. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 20/06/2016.

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

JONGBLOED, A. W.; LENIS, N. P. Environmental concerns about animal manure. **Journal of Animal Science**, v. 76, n. 10, p. 2641-2648, 1998.

JONGBLOED, A. W. et al. Environmental and legislative aspects of pig production in The Netherlands, France and Denmark. **Livestock Production Science**, v. 58, n. 3, p. 243-249, 1999.

PETERSEN, G. I.; STEIN, H. H. Novel procedure for estimating endogenous losses and measurement of apparent and true digestibility of phosphorus by growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 84, n. 8, p. 2126-2132, 2006.

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

PLANO CATARINENSE DE DESENVOLVIMENTO. **Plano Catarinense de Desenvolvimento de Santa Catarina**: 111 p., 2015.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3.ed. Viçosa, MG.: UFV, DZO, 2011. 252p.

SCHULIN-ZEUTHEN, M. et al. Meta-analysis of phosphorus balance data from growing pigs. **Journal Animal Science**, v. 85, n. 8, p. 1953-1961, 2007.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 INTRODUÇÃO

O Fósforo (P) é o terceiro constituinte mais caro em dietas para suínos e aves, seguido da proteína e energia (BOLING et al., 2000). Ingredientes como cereais (milho, farelo de trigo) e oleaginosas (farelo de soja) presentes nas rações de animais monogástricos, têm teor relativamente alto desse mineral (0,2 a 1,0%). No entanto, aproximadamente um terço do P é disponível (não fítico) a suínos e aves, de modo que 60 a 80% são excretados (POMAR et al., 2006). No Brasil a utilização de dejetos de suínos e aves na agricultura visando atender a necessidade de nitrogênio (N) das plantas tornou-se comum. Isso, no entanto, resulta em excesso e acúmulo de P no solo. Assim, o desenvolvimento de algas no ambiente aquático é estimulado, reduzindo o oxigênio dissolvido na água com conseqüente mortalidade de organismos (RYDEN; SYERS; HARRIS, 1974).

Devido à pouca disponibilidade de P nos alimentos utilizados nas dietas dos animais, a alta exigência nutricional do mineral e a carência de informações de determinados alimentos para monogástricos é necessário o uso de fontes de P suplementares. Por via de regra, o fosfato bicálcico é a principal fonte do mineral utilizada nas rações e muitas vezes, considerando-se os fatores citados anteriormente, quantidades excessivas de fosfato bicálcico são utilizadas, o que aumenta a excreção de P nos dejetos (FAN et al., 2001).

Considerando o custo elevado da suplementação do P nas dietas de suínos e aves, é fundamental otimizar a utilização desse mineral através do uso de fontes alternativas e do conhecimento de seu real aproveitamento, através da digestibilidade verdadeira ( $D_{\text{verd}}$ ). Valores de  $D_{\text{verd}}$  permitem a formulação mais ajustada às exigências nutricionais, pois leva-se em consideração a perda endógena de P e, portanto, o real aproveitamento do nutriente pelo animal.

## 2.2 IMPORTÂNCIA DO FÓSFORO

O P é o segundo mineral mais abundante no organismo animal após o cálcio, estando 80% presente nos ossos e dentes. Os 20% remanescentes estão amplamente distribuídos em tecidos moles e fluidos nos quais atuam em uma vasta gama de funções: na composição do DNA e RNA, essenciais para o crescimento e diferenciação celular, na fluidez e integridade da membrana celular, na manutenção do equilíbrio osmótico e ácido-básico, na regulação da energia. Além disso, o P está envolvido no controle do apetite e na eficiência de utilização do alimento (SUTTLE, 2010). A principal função do P, no entanto, é a formação e mineralização da matriz orgânica dos ossos, sendo assim indispensável para todos os animais vertebrados (MCDOWELL, 2003).

Os cereais e fontes de proteína vegetal são ricos em P, mas a maior parte do mineral é complexada ao cálcio, magnésio e potássio, formando tetra, penta e hexafosfatos de inositol, respectivamente (JENDREVILLE et al., 2007). Sendo assim, parte significativa do P ( $\pm 60\%$ ) nesses alimentos não é disponível para monogástricos. Isso implica na necessidade de o mineral ser suplementado, considerando que as dietas usuais baseadas em milho e farelo de soja não atendem as exigências de P, quer sejam para manutenção, crescimento ou produção de ovos. Normalmente, o fosfato bicálcico é a principal fonte de P utilizada nas rações, sendo também responsável por parte significativa do custo atrelado à dieta. Estima-se que um excesso de 20 a 100% de P em relação à exigência seja comercialmente utilizado em dietas para aves e suínos, principalmente pela ausência de dados de  $D_{verd}$  do P de determinados ingredientes (APPLEGATE, T.J; ANGEL, 2008). Apesar de a disponibilidade do P ser alta nos fosfatos inorgânicos (superior a 70%), o uso excedente dessas fontes leva à excreção do mineral, que é potencialmente poluidor de mananciais.

A importância do P em funções fisiológicas vitais, sua relevância no custo da dieta, o fato de provir – em suplementos - de fontes não renováveis e seu impacto na sustentabilidade ambiental, justificam estudos que visem melhorar o aproveitamento desse nutriente para aves e suínos. Isso pode ser alcançado através de uma formulação de dietas mais ajustada às exigências, o que requer a determinação da  $D_{verd}$  do P de ingredientes, tanto usuais quanto alternativos.

### 2.3 FARELO DE CANOLA

No Brasil o cultivo da canola teve início em 1974 no Rio Grande do Sul e, posteriormente, em 1980, a oleaginosa passou a ser cultivada também no Paraná (EMBRAPA TRIGO, 2016). A canola (*Brassica napus L.* e *Brassica rapa L.*) é uma planta da família das crucíferas, de gênero *Brassica* e produz um dos óleos comestíveis mais saudáveis, sendo rico em ômega-3, vitamina E, gorduras monoinsaturadas e com menor teor de gordura saturada entre os óleos vegetais (ORSAVOVA et al., 2015). O nome “canola” é uma contração de “Can” (Canadá - país pioneiro no melhoramento genético da oleaginosa) e “ola” que se refere a “oil low acid” (óleo de baixa acidez) (CANOLA COUNCIL, 2015).

A produção de canola no Brasil aumentou 25% de 2015 a 2016, com uma produção de 54,9 mil toneladas para 68,7 mil toneladas (CONAB, 2016), respectivamente. Os grãos de canola produzidos no país possuem aproximadamente 25% de proteína bruta (PB) e 37% de óleo. Durante o esmagamento, o rendimento da semente é de 42% de óleo, usado para consumo humano e 58% de farelo, cuja utilização se dá na alimentação animal (UNGER, 1990). Em relação ao farelo, a União Européia e a China representam os países que mais produzem e consomem o produto, e outros incluindo o Brasil, têm pequena participação (CONAB, 2016). O farelo de canola (FC), subproduto resultante da extração do óleo, possui cerca de 36% de PB, podendo ser uma alternativa ao farelo de soja (FS), principal fonte de PB utilizada em rações para monogástricos. Apesar de o FC ser a segunda fonte de proteína mais utilizada na alimentação animal no mundo (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2016), no Brasil seu uso ainda é limitado e informações científicas são escassas.

Anteriormente ao melhoramento genético da canola, a presença de glucosinolatos em concentrações elevadas foi o principal limitante para o uso do farelo na alimentação animal (KHAJALI; SLOMINSKI, 2012). As variedades atuais de canola, entretanto, contêm baixos níveis de glucosinolatos (< 30  $\mu\text{mol/g}$ ) e de ácido erúico (< 2,0%), outro importante fator antinutricional presente no óleo (CANOLA COUNCIL, 2015).

Em se tratando da composição nutricional (Tabela 1), o FC possui mais P total (1,01 vs 0,59%) do que o farelo de soja, o que pode reduzir a necessidade de suplementação dietética de P inorgânico, dependendo de sua digestibilidade. Embora rico em fósforo fítico, o FC possui uma das maiores concentrações de P não-fítico (0,38% disponível) se comparado a outros alimentos, tais como o FS (0,28%), farelos de algodão (0,23%), trigo (0,09%) e farelo (0,26%), milho (0,07%) e cevada (0,13%) (KHAJALI; SLOMINSKI, 2012).

O conteúdo de metionina e cisteína é 17% maior no FC em relação ao FS, diminuindo o uso de metionina sintética, aminoácido exigido por aves (em maior proporção) e suínos. Ainda, o FC possui quantidades importantes de vitaminas, como colina, biotina, ácido fólico, niacina, riboflavina e tiamina (BELL, 1993). Considerando as reduções de fosfato bicálcico e principalmente aminoácidos sulfurados, é provável uma redução no custo das dietas.

Tabela 1 - Composição nutricional do farelo de canola e do farelo de soja<sup>1,2</sup>

Item	Farelo de canola	Farelo de soja	Diferença, %
Matéria seca, %	90,0	88,7	1,4
Matéria mineral, %	6,8	6,4	5,8
Energia bruta, kcal kg <sup>-1</sup>	4203	4090	2,7
Energia metab. Aves kcal kg <sup>-1</sup>	1692	2254	-33,2
Energia metab. Suínos kg <sup>-1</sup>	2787	3154	-13,2
Extrato etéreo, %	3,5	1,7	51,4
Ácido linoleico, %	0,42	0,89	-111,9
Proteína bruta, %	35,6	45,2	-27,0
Lisina, %	2,08 (1,64) <sup>3</sup>	2,79 (2,51)	-53,0
Metionina, %	0,74 (0,68)	0,60 (0,56)	17,6
Treonina, %	1,59 (1,13)	1,78 (1,44)	-27,4
Triptofano, %	0,45 (0,35)	0,63 (0,53)	-51,4
Oligossacarídeos (rafinose e estaquiose), %	2,0	5,6	-180,0
Fibra bruta, %	11,6	5,4	53,4
FDN, %	21,2	13,8	34,9
FDA, %	17,2	8,07	53,1
Lignina e polifenóis, %	10,4	2,6	75,0
<b>Fósforo total, %</b>	<b>1,01</b>	<b>0,56</b>	<b>44,6</b>
<b>Fósforo fítico, %</b>	<b>0,64</b>	<b>0,38</b>	<b>40,6</b>
<b>Fósforo disponível<sup>4</sup>, %</b>	<b>0,37</b>	<b>0,18</b>	<b>51,3</b>
Cálcio, %	0,63	0,24	61,9

<sup>1</sup>Valores expressos na matéria natural; <sup>2</sup>Dados publicados em ROSTAGNO et al. (2011) e KHAJALI; SLOMINSKI (2012); <sup>3</sup>Valores entre parênteses representam o aminoácido digestível (HAUG; LANTZSCH, 1983; RAVINDRAN et al., 2006); <sup>4</sup>Valores calculados; Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Devido ao alto conteúdo em fibras do FC, a inclusão do ingrediente nas rações de monogástricos torna-se limitada. Diferentemente da soja, a semente da canola não é descascada antes da extração do óleo, o que aumenta significativamente o teor de fibras no farelo (MATTHÄUS, 1998). Parte da porção fibrosa da canola é composta por polissacarídeos não-celulósicos (13 a 16%), além de lignina e polifenóis (5 a 8%) e celulose (4 a 6%) (SLOMINSKI, BOGDAN A.; CAMPBELL, 1990).

A quantidade de energia fornecida pelo FC está diretamente relacionada ao conteúdo em fibras e ao óleo residual, que é menor quando a extração do óleo do grão se dá por

solvente (UNGER, 1990). Comparativamente ao FC, o FS possui valores de energia metabolizável (EM) superiores para monogástricos devido a diluição da fração energética pela fibrosa no FC (CLARK; CLASSEN; NEWKIRK, 2001). Além disso, o tipo de semente interfere na composição nutricional, de modo que as sementes amarelas possuem maior teor de óleo e menor de fibra (SLOMINSKI, B. A. et al., 1999).

## 2.4 FARELO DE CANOLA PARA MONOGÁSTRICOS

### 2.4.1 Aves

#### 2.4.1.1 Frangos de corte

Em fases de maior demanda energética o uso do FC nas rações de frangos pode ser limitado (máximo 20%) devido ao seu baixo conteúdo de EM. Alguns estudos demonstraram, no entanto, que o FC pode ser utilizado em até 30% em dietas sem afetar o desempenho, desde que a formulação seja baseada em aminoácidos digestíveis (NEWKIRK; CLASSEN, 2002; RAMESH; DEVEGOWDA; KHOSRAVINIA, 2006). Outros autores relatam que o FC reduziu a altura de vilos intestinais e, por essa razão, poderia ser incluído em até 16,7% na dieta sem redução na digestibilidade (GOPINGER et al., 2014). Adicionalmente, pelo menor conteúdo de potássio em comparação ao farelo de soja (1,2 vs 1,9%), o uso de FC pode reduzir o consumo de ração. Autores demonstraram que o consumo de alimento em frangos é positivamente correlacionado com o balanço cátio-iônico da dieta (SUMMERS; BEDFORD, 1994), de modo que a adição de bicarbonato de sódio em rações com FC poderia reduzir depressões no consumo.

Em trabalho recente, o rendimento de carne de peito dos frangos diminuiu linearmente conforme a quantidade de FC na dieta (AN et al., 2016). No mesmo estudo, a inclusão de 3, 5, 10 ou 15% do ingrediente reduziu de forma linear o consumo e o ganho médio diário na fase inicial, mas não nas fases de crescimento e final das aves criadas até os 35 dias.

De maneira geral, a literatura científica demonstra que, dependendo do nível, a inclusão do FC em dietas para frangos de corte pode deprimir o consumo e o ganho de peso (TOGHYANI et al., 2016). Em comparação ao FS, a digestibilidade de aminoácidos do FC em frangos é menor e mais variável (KHAJALI; SLOMINSKI, 2012). Esses efeitos negativos



podem ser atenuados com o uso de enzimas, tais como carboidrases, fitase e pela suplementação de aminoácidos. A utilização de fitase pode melhorar não só o aproveitamento do P do FC como também da proteína. Em estudo desenvolvido por (KONG; ADEOLA, 2011), frangos de corte com idade de 8 a 15 dias, recebendo FC como única fonte de proteína, apresentaram melhor eficiência de retenção de nitrogênio quando 1500 unidades de fitase/kg foram suplementadas na dieta.

O tipo de processamento da canola para extração do óleo pode afetar a quantidade de EM do farelo. Com o uso de solvente, menor é o teor de óleo residual no farelo, sendo portanto menor a EM comparado à extração por prensagem (expeller) (WOYENGO; KIARIE; NYACHOTI, 2010). Entretanto, a extrusão do FC pode melhorar a EM aparente, bem como a digestibilidade ileal de aminoácidos, devido, sobretudo, à gelatinização do amido (AHMED et al., 2014).

#### *2.4.1.2 Poedeiras comerciais*

Apesar de o uso do FC ser mais favorável para poedeiras comerciais devido a menor exigência de EM e baixo ganho de peso, a quantidade de trabalhos na área é relativamente pequena. Algumas experiências negativas com o FC, como fígado hemorrágico, ovos pequenos e com “odor de peixe”, além do baixo consumo pelas aves, levaram a resistência ao uso por parte da indústria e produtores.

Hemorragias hepáticas são causadas pelos glucosinolatos, fator antinutricional presente no FC. As variedades de canola atuais, contudo, possuem um terço da quantidade de glucosinolatos (CANOLA COUNCIL, 2015). Não foram observados fígado hemorrágico nem aumento na mortalidade quando o FC foi utilizado em até 20% na dieta de poedeiras de ovos brancos ou marrons (SAVARY; ANDERSON, 2011). O “odor de peixe” em ovos de casca marrom é resultado da presença de sinapina, outro fator antinutricional do FC (KHAJALI; SLOMINSKI, 2012). A sinapina é composta de ácido sináptico e colina e no sistema digestório das aves é convertida a trimetilamina (TMA). Aves que produzem ovos marrons são incapazes de produzir a TMA-oxidase, enzima responsável pela conversão da TMA odorífera a TMA N-óxido, que é excretada na urina. As linhagens atuais de poedeiras de ovos marrons podem, no entanto, tolerar até 24% de FC na dieta sem apresentar ovos com “odor de peixe” (WARD; CLASSEN; BUCHANAN, 2009).

O uso do FC em dietas para poedeiras comerciais não interfere na produção de ovos, nem no tamanho desses (CANOLA COUNCIL, 2015). Publicações anteriores demonstravam, entretanto, que dietas com FC visando substituir o FS afetavam a produção de ovos. Essas dietas eram formuladas com base no conceito de PB e não em aminoácidos digestíveis, o que resultava em deficiências na ingestão de lisina (KAMINSKA, 2003).

Quanto a digestibilidade de aminoácidos, aves Lohmann Brown digeriram em média 81% dos aminoácidos essenciais do FC e a concentração de Fibra Detergente Neutro (FDN) foi negativamente correlacionada com a digestibilidade da lisina (REZVANI et al., 2012). A digestibilidade e metabolismo do P são pouco abordados na literatura científica em se tratando de poedeiras comerciais. Poucos estudos mostraram que aves mais velhas utilizam o fitato mais eficientemente (MAROUNEK et al., 2008; NELSON, 1976) em comparação às jovens. Essa eficiência foi demonstrada para aminoácidos em galinhas Lohmann Brown às 40 e 57 semanas de idade, de modo que a digestibilidade de aminoácidos foi melhor para as aves mais velhas quando alimentadas com dietas à base de trigo (REZVANI et al., 2007).

#### **2.4.2 Suínos**

A digestibilidade de aminoácidos importantes para suínos é menor no FC em comparação ao de soja (CANOLA COUNCIL, 2015). Nesse sentido, estudos demonstram que o FC pode ser incluído em até 25% nas dietas quando formuladas sob o conceito de aminoácidos digestíveis (BRAND; BRANDT; CRUYWAGEN, 2001; ROTH-MAIER; BÖHMER; ROTH, 2004). Isso evita que os níveis de lisina e treonina diminuam numa substituição do FS pelo farelo de canola.

Para os suínos, os glucosinolatos presentes no FC representam o principal fator que influencia as reduções de consumo (CANOLA COUNCIL, 2015). Os glucosinolatos conferem um sabor amargo à dieta, e quando comparados às aves, os suínos têm melhor percepção de sabor dos alimentos (KARE, 1971). Em um ensaio de preferência conduzido por LANDERO; BELTRANENA; ZIJLSTRA (2012), suínos aos 35 dias de idade preferiram FS ao FC. No mesmo estudo, o uso de até 20% de FC cultivar *black* em substituição ao FS, não afetou o desempenho dos leitões. Em contrapartida, quando houve 24% de substituição ao FS pelo FC cultivar *yellow*, observou-se redução no consumo e ganho de peso diários, devido à maior concentração de glucosinolatos nesse último.

O menor custo de aminoácidos disponíveis por grama de FC quando comparado ao FS tem incentivado os nutricionistas a considerar maiores inclusões nas dietas. O uso de 5, 10 ou 15% de FC das variedades *black* ou *yellow* não afetou o desempenho após a desmama de leitões, sendo a formulação das dietas baseada nos conceitos de energia líquida e lisina digestível (SANJAYAN; HEO; NYACHOTI, 2014). Os mesmos autores também verificaram se o uso de enzimas poderia melhorar a utilização da energia dos polissacarídeos não-amiláceos do FC. A adição de multi-carboidrases aumentou a digestibilidade aparente da energia e PB aos níveis de 20 e 25% de inclusão.

Em um ensaio com suínos machos castrados e fêmeas alimentados com FC das variedades *black* ou *yellow* nas fases de crescimento e terminação, o uso de 10, 20 ou 30% do ingrediente não afetou o ganho médio diário de peso independentemente da variedade de FC fornecida na dieta. O consumo, no entanto, foi 45 gramas/dia menor para os animais alimentados com FC da variedade *yellow*, possivelmente em função da maior concentração de glucosinolatos (SMIT et al., 2014). Uma estimativa do nível tolerável de glucosinolatos na dieta total de suínos é de 2,4 a 2,5  $\mu\text{mol/g}$  (SCHÖNE et al., 1997).

O uso de FC em dietas para suínos fornece menor energia digestível e metabolizável que dietas à base de milho e FS (LIU, Y. et al., 2014b). O farelo obtido por prensagem da semente (expeller) pode, contudo, ter EM equiparável à das dietas usuais, devido ao seu maior teor de óleo residual. Em experimento conduzido por SENEVIRATNE et al. (2010), suínos machos castrados com peso inicial de 25kg foram alimentados com dietas com 0, 7,5, 15 ou 22,5% de FC oriundo de prensagem. O consumo médio diário foi reduzido em dietas com 22,5% de FC e, considerando a totalidade do experimento (90 dias), o ganho médio diário de peso diminuiu linearmente. Por outro lado, características de carcaça, como espessura de toucinho, profundidade de lombo ou o perfil de ácidos graxos não foram afetadas, ainda que fontes de gordura insaturada possam reduzir o grau de saturação da gordura na carcaça (WHITNEY et al., 2006). Nesse estudo a energia digestível do FC foi de 3.770 kcal/kg, maior que a obtida quando a extração do óleo da semente se dá por solvente (3.203 kcal/kg) e maior do que aquela de dietas típicas à base de milho e farelo de soja (3.240 kcal/kg) (KIL; KIM; STEIN, 2013).

Estudos anteriores sobre o uso do FC na nutrição de suínos indicavam resultados negativos. Em geral, esses resultados foram atribuídos ao baixo nível de energia e/ou deficiência em lisina do FC (BERTOL; MAZZUCO, 1998). Posteriormente, a formulação de dietas com base nos conceitos de energia líquida e aminoácidos digestíveis do FC amenizou esses efeitos, levando a possibilidade de níveis mais altos de inclusão, de 10 para 25%

(MEJICANOS et al., 2016). Mesmo assim, os dados de desempenho em suínos têm se mostrado variáveis, provavelmente por diferenças na qualidade e composição nutricional dos farelos e dietas experimentais, além do cultivar da semente e tipo de processamento utilizados.

## 2.5 MÉTODO DA REGRESSÃO PARA ESTIMAR A DIGESTIBILIDADE VERDADEIRA DO FÓSFORO EM MONOGÁSTRICOS

Na pesquisa em nutrição de monogástricos, três métodos podem ser utilizados para determinação do P de origem endógena afim de tornar possível a obtenção de coeficientes de digestibilidade verdadeira ( $D_{verd}$ ): o método da dieta isenta de P, no qual ocorre a recuperação do P de origem endógena nas excretas ou fezes; o uso de marcadores radioisótopos que permitem verificar a cinética do mineral em ossos e tecidos e o método da regressão linear. Os métodos da dieta isenta e dos radioisótopos são de opinião controversa entre pesquisadores. No caso da dieta isenta, as perdas endógenas seriam as menores possíveis, considerando que dependem da concentração dietética de fósforo (PETTEY; CROMWELL; LINDEMANN, 2006). Sendo assim, os animais acabam por alterar seu status nutricional e fisiológico e os valores de perdas são subestimados. O método dos radioisótopos é de difícil aplicação na rotina experimental, em termos de manipulação segura dos resíduos radioativos e, nesse caso, experiências com aminoácidos demonstram uma superestimação dos valores de perdas endógenas (FAN et al., 2001). Considerando que o presente trabalho teve por objetivo utilizar a regressão linear nos experimentos, nessa revisão serão apenas citados estudos referentes a essa metodologia.

A determinação da digestibilidade aparente do P leva em consideração a quantidade do mineral ingerida pelo animal e aquela excretada nas fezes:  $D_{ap} = P_{ingerido} - P_{excretado}$ . Em um experimento conduzido por FAN et al. (2001) no qual dietas com níveis crescentes de FS (13, 27, 40, 54%) foram fornecidas a suínos com peso inicial de 6,8kg e final de 20,8kg, a  $D_{apa}$  do P aumentou ( $P < 0,01$ ) linearmente (19, 38, 39, 45%). Nesse sentido, percebe-se que para o mesmo ingrediente há diferentes valores de digestibilidade e existe ampla variabilidade de resultados entre estudos com o mesmo objetivo. Assim, não é possível definir qual seria o valor correto de digestibilidade do P a ser utilizado na formulação da ração.

Em contrapartida, o cálculo da digestibilidade verdadeira ( $D_{verd}$ ) do P leva em consideração a quantidade do mineral ingerida pelo animal, aquela excretada nas fezes e as

perdas endógenas totais (PE) de fósforo:  $D_{\text{verd}} = P_{\text{ingerido}} - (P_{\text{excretado}} - PE_{\text{totais}})$ . As secreções endógenas consistem de P oriundo da saliva, de sucos gástricos, das secreções biliares e pancreáticas, bem como de secreções e descamação da mucosa intestinal (NYACHOTI et al., 1997; TAMMINGA et al., 1995).

FAN et al. (2001) desenvolveram uma metodologia que permite mensurar simultaneamente a  $D_{\text{verd}}$  do P além de suas perdas endógenas. Assim, uma série de dietas (no mínimo 3 a 4) que contenham níveis crescentes de P do ingrediente avaliado são fornecidas ao animal em estudo e procede-se, após um período de adaptação, a coleta ileal ou total de fezes ou excretas. Os dados de P excretado ou digerido (g/kg de MS ingerida) são regredidos contra os de consumo do mineral (g/kg de MS). Existindo a relação linear entre o P excretado e os níveis ingeridos com interceptos significativos, a quantidade de P endógeno pode ser determinada diretamente por extrapolação dos níveis ingeridos à zero. Resumidamente, na equação de regressão, o *slope* representa a  $D_{\text{verd}}$  do P e o intercepto, as perdas endógenas do mineral.

Valores de digestibilidade verdadeira do P em fontes orgânicas ou inorgânicas são necessários para estimar precisamente a digestibilidade do mineral em dietas misturadas (PETERSEN; STEIN, 2006). Dietas baseadas na digestibilidade verdadeira do P melhoram a aditividade dos valores para coeficientes de digestibilidade do P, o que permite uma formulação de dietas mais precisa, contribuindo para uma redução na excreção de P no ambiente, sem afetar negativamente o desempenho dos animais.

Nos últimos anos, pesquisadores da área da nutrição de monogástricos passaram a utilizar o método da regressão para determinação da  $D_{\text{verd}}$  do P de diferentes ingredientes (FANG et al., 2007; GOPINGER et al., 2014; LIU, J. B. et al., 2014a). Esse método teve sua aplicação iniciada em estudos com suínos e posteriormente com frangos de corte. Até o momento, a literatura científica não reporta o método da regressão em estudo com poedeiras comerciais.

A  $D_{\text{verd}}$  do P do FC das variedades *Brassica napus black* ou *Brassica juncea yellow* foi determinada por ADHIKARI; HEO; NYACHOTI (2015). Suínos machos castrados alojados em gaiolas de metabolismo e com peso inicial de 19,9 kg receberam dietas à base de amido de milho e com concentrações de P que variaram de 0,8 a 3,3 g/kg de ração. Os FC avaliados representaram a única fonte de P das dietas e foram utilizados em níveis de inclusão de 7,8; 16,0; 23,5 e 31,4%. A digestibilidade aparente do P aumentou linearmente conforme o nível de P dietético ( $P < 0,001$ ). A  $D_{\text{verd}}$  foi determinada por análise de regressão do P excretado (g/kg de MS ingerida) em função do P ingerido (g/kg MS). Assim, o intercepto indicou as

perdas endógenas totais de P (665 mg/kg de MS ingerida) e o *slope* a  $D_{\text{verd}}$ , sendo 33,3% para a variedade black e 28,3% para a yellow.

Outro estudo utilizando a técnica da análise de regressão determinou a  $D_{\text{verd}}$  do P dos farelos de soja e canola e o efeito do uso da fitase (AKINMUSIRE; ADEOLA, 2009). Suínos machos castrados de 17 kg foram alimentados com dietas com três níveis crescentes de FC e FS e dois níveis de fitase (0 ou 1000 unidades/kg). O uso da fitase melhorou a  $D_{\text{verd}}$  do P do FC (34,3 vs 61,4%) e do FS (40,9 vs 70,8%). Os coeficientes de  $D_{\text{verd}}$  do P dos FS e FC foram 34 e 41%, respectivamente, e as perdas endógenas de P, 101 e 48mg/kg de MS ingerida.

O método da regressão linear para determinação da  $D_{\text{verd}}$  do P também passou a ser utilizado para aves. Em um experimento conduzido por MUTUCUMARANA et al. (2014), frangos de corte Ross 308, aos 21 dias, receberam dietas semi-purificadas e os ingredientes avaliados (milho ou FC) representaram as únicas fontes de P disponível. O método da coleta total de excretas foi utilizado, bem como da coleta ileal. A retenção de P diminuiu linearmente nos frangos alimentados com dietas contendo níveis crescentes de FC ( $P < 0,01$ ). Para esse ingrediente, o coeficiente de  $D_{\text{verd}}$  do P foi 48,6% e as perdas endógenas do mineral, 487 mg/kg de MS ingerida.

A  $D_{\text{verd}}$  do P de duas variedades de FS foi determinada pelo método da regressão em frangos Ross dos 15 aos 22 dias de idade (DILGER; ADEOLA, 2006). Quatro dietas foram formuladas para conter níveis crescentes de cada variedade de FS, convencional e baixo fitato, de modo que o consumo de P variou de 0,9 a 3,9g/kg de MS. A  $D_{\text{verd}}$  do P encontrada foi de 59,8% para o FS convencional e as perdas endógenas de P foram de 190,5 mg/kg de MS ingerida.

A possibilidade da utilização do FC para a alimentação de suínos e aves, além de permitir o aproveitamento de um coproduto de indústria, diminui a dependência do FS como fonte proteica. A maior parte dos estudos, no entanto, tem sido direcionada para avaliar o potencial de substituição do FS. Estudos relacionados ao uso do FC como fonte de P são escassos e, dados sobre a digestibilidade verdadeira do P do FC e perdas endógenas de P em suínos e aves são poucos e variáveis. Não há informações sobre esses dados para poedeiras nas fases de recria e produção nem em relação ao FC produzido no Brasil.

## 2.6 REFERÊNCIAS

ADHIKARI, P. A.; HEO, J. M.; NYACHOTI, C. M. True and standardized total tract phosphorus digestibility in canola meals from *Brassica napus* black and *Brassica juncea* yellow fed to growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 93, n. 1, p. 209-216, 2015.

AHMED, A. et al. Extrusion enhances metabolizable energy and ileal amino acids digestibility of canola meal for broiler chickens. **Italian Journal of Animal Science**, v. 13, n. 1, p. 44-47, 2014.

APPLEGATE, T. J.; ANGEL, R. **Phosphorus Requirements for Poultry**. Purdue Extension, 2008. <http://www.extension.purdue.edu/extmedia/AS/AS-583-W.pdf>

AKINMUSIRE, A. S.; ADEOLA, O. True digestibility of phosphorus in canola and soybean meals for growing pigs: Influence of microbial phytase. **Journal of Animal Science**, v. 87, n. 3, p. 977-983, 2009.

AN, B. et al. Effects of diets with graded levels of canola meal on the growth performance, meat qualities, relative organ weights, and blood characteristics of broiler chickens. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 18, p. 351-356, 2016.

BELL, J. M. Factors affecting the nutritional value of canola meal: A review. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 73, n. 4, p. 689-697, 1993.

BERTOL, T. M.; MAZZUCO, H. **Farelo de canola: uma alternativa protéica para alimentação de suínos e aves**. AVES, E. S. E. Concórdia - SC: 56 p. 1998.

BOLING, S. D. et al. The effects of dietary available phosphorus levels and phytase on performance of young and older laying hens. **Poultry Science**, v. 79, n. 2, p. 224-230, 2000.

BRAND, T. S.; BRANDT, D. A.; CRUYWAGEN, C. W. Utilisation of growing-finishing pig diets containing high levels of solvent or expeller oil extracted canola meal. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 44, n. 1, p. 31-35, 2001.

CANOLA COUNCIL. **CANOLA MEAL FEEDING GUIDE**, Winnipeg, Manitoba, 2015. Disponível em: < [http://www.canolacouncil.org/media/516716/2015\\_canola\\_meal\\_feed\\_industry\\_guide.pdf](http://www.canolacouncil.org/media/516716/2015_canola_meal_feed_industry_guide.pdf) >. Acesso em: 14/07/2016.

CLARK, W. D.; CLASSEN, H. L.; NEWKIRK, R. W. Assessment of tail-end dehulled canola meal for use in broiler diets. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 81, n. 3, p. 379-386, 2001.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**, 2016. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br/> >. Acesso em: 11/10/2016.

DILGER, R. N.; ADEOLA, O. Estimation of true phosphorus digestibility and endogenous phosphorus loss in growing chicks fed conventional and low-phytate soybean meals. **Poultry Science**, v. 85, n. 4, p. 661-668, 2006.

EMBRAPA TRIGO. Canola. Disponível em: < <http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/canola/> >. Acesso em: 11/10/2016.

FAN, M. Z. et al. Novel methodology allows simultaneous measurement of true phosphorus digestibility and the gastrointestinal endogenous phosphorus outputs in studies with pigs. **Journal of Nutrition**, v. 131, n. 9, p. 2388-2396, 2001.

FANG, R. J. et al. Comparison of the regression analysis technique and the substitution method for the determination of true phosphorus digestibility and faecal endogenous phosphorus losses associated with feed ingredients for growing pigs. **Livestock Science**, v. 109, n. 1-3, p. 251-254, 2007.

GOPINGER, E. et al. The effect of different dietary levels of canola meal on growth performance, nutrient digestibility, and gut morphology of broiler chickens. **Poultry Science**, v. 93, n. 5, p. 1130-1136, 2014.



HAUG, W.; LANTZSCH, H.-J. Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and cereal products. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 34, n. 12, p. 1423-1426, 1983.

JENDREVILLE, C. et al. Characterisation of European varieties of triticale with special emphasis on the ability of plant phytases to improve phytate phosphorus utilisation. **British Poultry Science**, v. 48, p. 678–689, 2007.

KAMINSKA, B. Z. Substitution of soyabean meal with 00 rapeseed meal or its high-protein fraction in the nutrition of hens laying brown-shelled eggs. **Journal of Animal & Feed Sciences**, v. 12, n. 1, p. 111-119, 2003.

KARE, M. Comparative study of taste. In: BEIDLER, L. M. (Ed.). **Taste**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, p.278-292, 1971.

KHAJALI, F.; SLOMINSKI, B. A. Factors that affect the nutritive value of canola meal for poultry. **Poultry Science**, v. 91, n. 10, p. 2564-2575, 2012.

KIL, D. Y.; KIM, B. G.; STEIN, H. H. Feed energy evaluation for growing pigs. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 26, n. 9, p. 1205-1217, 2013.

KONG, C.; ADEOLA, O. Protein utilization and amino acid digestibility of canola meal in response to phytase in broiler chickens. **Poultry Science**, v. 90, n. 7, p. 1508-1515, 2011.

LANDERO, J. L.; BELTRANENA, E.; ZIJLSTRA, R. T. Growth performance and preference studies to evaluate solvent-extracted Brassica napus or Brassica juncea canola meal fed to weaned pigs. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. 4, p. 406-408, 2012.

LIU, J. B. et al. Comparison of two diet types in the estimation of true digestibility of phosphorus in soybean and canola meals for growing pigs by the regression method. **Livestock Science**, v. 167, 2014a.

LIU, Y. et al. Effects of protein concentration and heat treatment on concentration of digestible and metabolizable energy and on amino acid digestibility in four sources of canola meal fed to growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 10, p. 4466-4477, 2014b.

MCDOWELL, L. R. **Minerals in animal and human nutrition**. 2.ed. Gainesville, FL, EUA: Elsevier Science, 2003. 644p.

MAROUNEK, M. et al. Availability of phytate phosphorus and endogenous phytase activity in the digestive tract of laying hens 20 and 47 weeks old. **Animal Feed Science and Technology**, v. 146, n. 3-4, p. 353-359, 2008.

MATTHÄUS, B. Effect of dehulling on the composition of antinutritive compounds in various cultivars of rapeseed. **Lipid / Fett**, v. 100, n. 7, p. 295-301, 1998.

MEJICANOS, G. et al. Recent advances in canola meal utilization in swine nutrition. **Journal of Animal Science and Technology**, v. 58, n. 1, p.1-13, 2016.

MUTUCUMARANA, R. K. et al. Measurement of true ileal digestibility and total tract retention of phosphorus in corn and canola meal for broiler chickens. **Poultry Science**, v. 93, n. 2, p. 412-419, 2014.

NELSON, T. S. The hydrolysis of phytate phosphorus by chicks and laying hens. **Poultry Science**, v. 55, n. 6, p. 2262-2264, 1976.

NEWKIRK, R.; CLASSEN, H. The effects of toasting canola meal on body weight, feed conversion efficiency, and mortality in broiler chickens. **Poultry Science**, v. 81, n. 6, p. 815-825, 2002.

NYACHOTI, C. M. et al. Significance of endogenous gut nitrogen losses in the nutrition of growing pigs: A review. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 77, n. 1, p. 149-163, 1997.

ORSAVOVA, J. et al. Fatty Acids Composition of vegetable oils and its contribution to dietary energy intake and dependence of cardiovascular mortality on dietary intake of fatty acids. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 16, n. 6, p. 12871-12890, 2015.

PETERSEN, G. I.; STEIN, H. H. Novel procedure for estimating endogenous losses and measurement of apparent and true digestibility of phosphorus by growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 84, n. 8, p. 2126-2132, 2006.

PETTEY, L. A.; CROMWELL, G. L.; LINDEMANN, M. D. Estimation of endogenous phosphorus loss in growing and finishing pigs fed semi-purified diets. **Journal of Animal Science**, v. 84, n. 3, p. 618-626, 2006.

POMAR, C. et al. Influence du niveau de phosphore des aliments sur les performances zootechniques et la rétention corporelle de calcium, phosphore, potassium, sodium, magnésium, fer et zinc chez le porc de 20 à 100 kg de poids vif. **Journées Recherche Porcine**, p.209-216, 2006.

RAMESH, K. R.; DEVEGOWDA, G.; KHOSRAVINIA, H. Effects of enzyme addition to broiler diets containing varying levels of double zero rapeseed meal. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 19, n. 9, p. 1354-1360, 2006.

RAVINDRAN, V. et al. Influence of an escherichia coli-derived phytase on nutrient utilization in broiler starters fed diets containing varying concentrations of phytic acid. **Poultry Science**, v. 85, n. 1, p. 82-89, 2006.

REZVANI, M. et al. Variation in amino acid digestibility of rapeseed meal studied in caecectomised laying hens and relationship with chemical constituents. **British Poultry Science**, v. 53, n. 5, p. 665-674, 2012.

REZVANI, M. et al. Studies on the effect of age and caecectomy on amino acid excretion and digestibility in laying hens. **Archiv für Geflügelkunde**, v. 71, n. 6, p. 241-246, 2007.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3. Viçosa, MG.: UFV, DZO, 2011. 252p.

ROTH-MAIER, D. A.; BÖHMER, B. M.; ROTH, F. X. Effects of feeding canola meal and sweet lupin (*L. luteus*, *L. angustifolius*) in amino acid balanced diets on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. **Animal Research**, v. 53, n. 1, p. 21-34, 2004.

RYDEN, J. C.; SYERS, J. K.; HARRIS, R. F. Phosphorus in Runoff and Streams. In: BRADY, N. C. (Ed.). **Advances in Agronomy**: Academic Press, v.25, p.1-45, 1974.

SANJAYAN, N.; HEO, J. M.; NYACHOTI, C. M. Nutrient digestibility and growth performance of pigs fed diets with different levels of canola meal from Brassica napus black and Brassica juncea yellow. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 9, p. 3895-3905, 2014.

SAVARY, R.; ANDERSON, D. M. Effect of black-seeded canola meal and Juncea meal on production performance of white and brown strains of laying hens. 32<sup>nd</sup> Western Nutrition Conference, 2011. 285p.

SUTTLE, N. F. **Mineral Nutrition of Livestock**. 4.ed., 2010.

SCHÖNE, F. et al. Effect of rapeseed feedstuffs with different glucosinolate content and iodine administration on gestating and lactating Sow. **Journal of Veterinary Medicine Series A**, v. 44, n. 1-10, p. 325-339, 1997.

SENEVIRATNE, R. W. et al. The nutritional value of expeller-pressed canola meal for grower-finisher pigs. **Journal of Animal Science**, v. 88, n. 6, p. 2073-2083, 2010.

SLOMINSKI, B. A.; CAMPBELL, L. D. Non-starch polysaccharides of canola meal: Quantification, digestibility in poultry and potential benefit of dietary enzyme supplementation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 53, n. 2, p. 175-184, 1990.

SLOMINSKI, B. A. et al. Nutritive value for broilers of meals derived from newly developed varieties of yellow-seeded canola. **Animal Feed Science and Technology**, v. 78, n. 3, p. 249-262, 1999.

SMIT, M. N. et al. Feeding Brassica juncea or Brassica napus canola meal at increasing dietary inclusions to growing-finishing gilts and barrows. **Animal Feed Science and Technology**, v. 198, p. 176-185, 2014.

SUMMERS, J. D.; BEDFORD, M. Canola meal and diet acid-base balance for broilers. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 74, n. 2, p. 335-339, 1994.

TAMMINGA, S. et al. The nutritional significance of endogenous n-losses along the gastrointestinal tract of farm animals. **Archiv für Tierernaehrung**, v. 48, n. 1-2, p. 9-22, 1995.

TOGHYANI, M. et al. Effect of elevated dietary amino acid levels in high canola meal diets on productive traits and cecal microbiota population of broiler chickens in a pair-feeding study. **Poultry Science**, v.0, p. 1-12, 2016.

UNGER, E. H. Commercial Processing of Canola and Rapeseed: Crushing and Oil Extraction. In: SHAHIDI, F. (Ed.). **Canola and Rapeseed: Production, Chemistry, Nutrition and Processing Technology**. Boston, MA: Springer US, 1990, p.235-249.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Canola. 2016. Disponível em: < <https://www.ers.usda.gov/topics/crops/soybeans-oil-crops/canola.aspx> >. Acesso em: 03/10/2016.

WARD, A. K.; CLASSEN, H. L.; BUCHANAN, F. C. Fishy-egg tainting is recessively inherited when brown-shelled layers are fed canola meal. **Poultry Science**, v. 88, n. 4, p. 714-721, 2009.

WHITNEY, M. H. et al. Growth performance and carcass characteristics of grower-finisher pigs fed high-quality corn distillers dried grain with solubles originating from a modern Midwestern ethanol plant1. **Journal of Animal Science**, v. 84, n. 12, p. 3356-3363, 2006.

WOYENGO, T. A.; KIARIE, E.; NYACHOTI, C. M. Metabolizable energy and standardized ileal digestible amino acid contents of expeller-extracted canola meal fed to broiler chicks. **Poultry Science**, v. 89, n. 6, p. 1182-1189, 2010.

### 3 CAPÍTULO I – PERDAS ENDÓGENAS E DIGESTIBILIDADE VERDADEIRA DO FÓSFORO DOS FARELOS DE SOJA E CANOLA PARA FRANGOS DE CORTE

#### 3.1 INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é o terceiro fator que mais onera a alimentação de frangos de corte, seguido da proteína e energia. Por participar em reações metabólicas, atuar como componente do DNA e fazer parte da formação e mineralização óssea (NRC, 1994), esse mineral é considerado um dos mais importantes na nutrição de aves.

As exigências nutricionais de frangos de corte evoluíram, de modo que o desenvolvimento de linhagens de crescimento rápido exigiu maior aporte nutricional nas dietas. Esse avanço ocorreu em um curto espaço de tempo, sendo que em 1980, o peso médio de um frango era 1,78 kg aos 53 dias, enquanto em 2011 aos 47 dias, o peso atingiu 2,63 kg (PATRICIO et al., 2012; SIEGEL, 2014). Em virtude do maior acúmulo de tecido muscular e do crescimento ósseo, a exigência de P não-fítico de uma ave jovem passou de 0,40% em 1994 (NRC, 1994) para cerca de 0,43% nos dias atuais (ROSTAGNO et al., 2011).

Da mesma forma que as exigências de P mudaram em termos quantitativos, uma evolução de conceitos à cerca do mineral ocorreu. Assim, as dietas deixaram de ser formuladas com base no teor de P total dos ingredientes para posteriormente os conceitos de P digestível e disponível tornarem-se preferíveis (PROSZKOWIEC-WEGLARZ; ANGEL, 2013). Geralmente assume-se que cerca de um terço do P em alimentos de origem vegetal é não-fítico e, portanto, biologicamente disponível (RAVINDRAN et al., 2006). O fato de a maior parte das rações ser composta por esses ingredientes incentivou a inclusão nas tabelas de referência de valores de P disponível, não-fítico e digestível (INRA, 2002 ; NRC, 1994; ROSTAGNO et al., 2011). Sendo assim, melhorar o aproveitamento do P dietético passou a ser um dos principais desafios na nutrição de frangos de corte.

É sabido que os ensaios de digestibilidade são a forma mais comum de avaliação da capacidade do alimento de suprir o mineral para o animal (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007). A digestibilidade verdadeira ( $D_{verd}$ ) é obtida através da correção da utilização aparente para as perdas endógenas de P e resulta numa estimativa mais precisa de aproveitamento do mineral (DILGER; ADEOLA, 2006). A carência de informações à cerca da  $D_{verd}$  do P em ingredientes gera uma superalimentação do mineral que é comercialmente comum, com excessos de 20 a 100% em relação às exigências (APPLEGATE, T.J; ANGEL, 2008). Esses excessos ocorrem pelo uso de fontes inorgânicas, como o fosfato bicálcico, cuja

biodisponibilidade do P é maior. O consumo excessivo de P pela ave é negativo na indústria avícola, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental.

Em períodos de pouca disponibilidade ou elevação de preços do milho e/ou do farelo de soja (FS), o nutricionista precisa fazer uso de ingredientes alternativos na formulação. Existem no Brasil alimentos com bom potencial nutricional, mas cuja falta de dados de  $D_{\text{verd}}$  do P torna seu uso desfavorável. Entre esses alimentos está o farelo de canola (FC), cuja inclusão em dietas de aves era limitada devido aos seus fatores antinutricionais (KHAJALI; SLOMINSKI, 2012).

O desenvolvimento atual de novas variedades de canola e a expansão do cultivo da oleaginosa na região sul do Brasil têm gerado quantidades expressivas de subprodutos, como o farelo (CONAB, 2016). Embora possua uma quantidade maior de P total do que o farelo de soja (FS), pouca informação está disponível na literatura nacional sobre a digestibilidade verdadeira.

Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a  $D_{\text{verd}}$  do P de uma fonte protéica alternativa, o farelo de canola e compará-la com a comumente utilizada em dietas de frangos de corte, o farelo de soja.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética em Uso de Animais do Instituto Federal Catarinense - Campus Concórdia, parecer nº 08/2015 e foi conduzido conforme padrões técnicos de ética e biossegurança.

O experimento foi realizado no Setor de Avicultura do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) em novembro de 2015. Um ensaio de digestibilidade foi conduzido utilizando 240 frangos de corte machos da linhagem Cobb na fase de crescimento. Até o início do ensaio, as aves foram criadas em pinteiro dotado de cama de maravalha, bebedouros e comedouros pendulares e aquecimento através de campânulas elétricas e a gás. Nesse período, os frangos receberam uma ração basal que atendeu as exigências nutricionais propostas para a fase e linhagem, conforme recomendações de (ROSTAGNO et al., 2011).

No início do experimento os frangos apresentaram peso vivo médio de  $841,8 \pm 31,5$  g e idade de 22 dias, sendo distribuídos às dietas experimentais conforme um delineamento inteiramente casualizado, constituído de oito tratamentos (FC\_30, FC\_45, FC\_60, FC\_75,

FS\_30, FS\_45, FS\_60, FS\_75), com seis repetições de cinco aves/gaiola, sendo a gaiola considerada como unidade experimental.

As dietas (Tabela 2) foram formuladas para atender 30, 45, 60 e 75% da exigência de P disponível recomendada por (ROSTAGNO et al., 2011). Em todas as rações o ingrediente avaliado (FC ou FS) representou a única fonte de P disponível, de forma que amido, açúcar e óleo foram as fontes de energia, calcário calcítico a fonte de cálcio (Ca), sal comum a de cloreto de sódio (NaCl) e um premix adequado à fase foi incorporado para atender as exigências de microminerais e vitaminas. Para a formulação das dietas, os teores de matéria seca (MS), energia bruta (EB), extrato etéreo (EE), proteína bruta (PB), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), P e Ca do FS e do FC foram analisados em laboratório, bem como o nível de Ca e MS do calcário calcítico.

Tabela 2 - Composição centesimal e calculada das dietas experimentais

Ingrediente	Nível P disponível							
	0,103	0,154	0,205	0,257	0,103	0,154	0,205	0,257
	Atendimento à exigência <sup>1</sup> , %							
	30	45	60	75	30	45	60	75
Farelo soja	-	-	-	-	50,0	75,7	85,0	90,9
Farelo canola	28,5	42,8	57,0	71,2	-	-	-	-
Amido	61,8	47,4	33,4	19,3	41,2	15,3	6,5	-
Açúcar	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Óleo de soja	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Calcário	0,30	0,60	0,60	0,60	0,50	0,70	0,70	0,80
Cloreto potássio	1,00	0,80	0,70	0,50	-	-	-	-
Sal comum	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Premix <sup>2</sup>	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Total	100	100	100	100	100	100	100	100
Nutriente	Composição calculada							
EM, kcal kg <sup>-1</sup>	3089,2	2830,9	2584,9	2335,4	3012,3	2688,4	2591,4	2497,5
P disponível, %	0,103	0,154	0,205	0,257	0,102	0,154	0,172	0,185
Cálcio dig, %	0,209	0,349	0,400	0,469	0,193	0,293	0,303	0,340
Ca/P disponível	2,03	2,27	1,95	1,82	1,89	1,90	1,76	1,84

<sup>1</sup> Exigência de P disponível de 0,342% conforme Rostagno et al. (2011); <sup>2</sup> Níveis por quilograma de produto: Ácido Fólico, 189 mg; Ácido Pantotênico, 2934,9 mg; Biotina, 19,0 mg; Cobre, 2.100 mg; Colina, 86,67 g; Ferro, 12.600 mg; Iodo, 250,0 mg; Óxido de manganês, 16.800 mg; Niacina, 7.500 mg; Selênio, 75,0 mg; Vitamina A, 2.640.000 UI; Vitamina B1, 502,0 mg; Vitamina B12, 3.000 mcg; Vitamina B2, 1.125 mg; Vitamina B6, 622,0 mg; Vitamina D3, 638.000 UI; Vitamina E, 3.650 UI; Vitamina K3, 450,0 mg; Zinco, 13.000 mg; Colistina, 2.500 mg; BHT 0,80 g, Enramicina, 2.500 mg, Semduramicina, 6.250 mg. Fonte: elaborado pela autora, 2017.

As aves foram alojadas em gaiolas metabólicas, durante sete dias, sendo cinco para adaptação ao ambiente, rotina experimental e às dietas e dois dias para coleta total de



excretas. As gaiolas estavam acopladas a estruturas metálicas dispostas em três andares e mantidas em sala climatizada com temperatura média de 22 °C.

As dietas foram fornecidas *ad libitum* em comedouros tipo calha de modo que a quantidade diária seguiu a recomendação para a linhagem (ROSTAGNO et al., 2011). Durante o ensaio, procurou-se estimular o consumo de ração através da movimentação dos comedouros. O acesso à água foi livre através de bebedouro tipo nipple e o programa de luz adotado foi um fotoperíodo contínuo de 18 h.

As excretas foram coletadas duas vezes ao dia, sendo pesadas, acondicionadas em sacos plásticos e conservadas em freezer a -15 °C. O início e o final da coleta foram determinados pelo aparecimento de excretas marcadas através da incorporação à ração de 1% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Em caso de sobras de alimento, essas foram coletadas de cada comedouro e armazenadas em recipientes, sendo contabilizadas ao final do ensaio. Ao término do experimento, as excretas foram homogeneizadas, secas em estufa de ventilação forçada (55 °C por 72 h) e moídas em moinho de facas com peneira de 1 mm, para análises posteriores.

Foram analisados em duplicata, nas dietas e excretas, o conteúdo de matéria seca (MS), matéria mineral (MM) e fósforo total (P total) de acordo com técnicas descritas em (SILVA; QUEIROZ, 2009) e (COMPÊNDIO BRASILEIRO DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL, 2009). Para a análise de P foi utilizado o método colorimétrico, o qual fundamenta-se em ataque ácido e à quente da amostra e posterior formação de um complexo colorido entre o fosfato e os reagentes vanadato e molibdato de amônio, de cor amarela (COMPÊNDIO BRASILEIRO DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL, 2009). Nas leituras em absorvância, também em duplicata, foi utilizado o comprimento de onda de 400nm. O cálculo do teor de P total presente na amostra foi conforme DETMANN et al. (2012).

Para mensurar a  $D_{\text{verd}}$  e as perdas endógenas totais do P do FS e do FC foi utilizado o método de regressão (FAN et al., 2001). A estimativa das perdas endógenas por esse método depende de se estabelecer uma relação linear entre o nutriente aparentemente digerido ou excretado e seu consumo. Assim, o conteúdo de P endógeno fecal é o intercepto da regressão e seu *slope* representa a estimativa da digestibilidade verdadeira (DILGER; ADEOLA, 2006):

$$\mathbf{P \text{ digerido} = (D_{\text{verd}} \times P_{\text{ing}}) - PE}$$

$D_{\text{verd}}$  = slope da regressão – representa a estimativa de  $D_{\text{verd}}$  do P;

PE = intercepto da regressão – representa a estimativa das perdas endógenas.

Para a obtenção do coeficiente de digestibilidade aparente do P das dietas, foram utilizados os cálculos:

Matéria seca ingerida ( $MS_{ing}$ ) = Ração fornecida (g) \* MS ração (%) – Sobras (g) \* MPS sobras (%);

Excretas produzidas = Fezes (g) \* MST fezes (%)

Coeficiente de digestibilidade aparente do P =  $(P_{ing} - P_{excr}) / P_{ing} * 100$

As perdas endógenas totais de P foram estimadas através da regressão do P excretado em g/Kg de matéria seca ingerida (variável dependente) contra a variável independente P dietético (g/kg de matéria seca). O valor obtido no intercepto ( $PE_{totais}$ ) foi multiplicado pelo consumo de matéria seca, expresso em kg, de cada unidade experimental. Os coeficientes de digestibilidade verdadeira do P das dietas foram calculados através da equação (GONZÁLEZ-VEGA et al., 2013):

$$D_{verd} P = D_{apa} (\%) + [(PE_{totais} (g/kg MS_{ing}) / P \text{ dietético (g/kg MS)}) * 100]$$

Os dados foram analisados conforme um delineamento inteiramente casualizado através do procedimento GLM do (SAS, 2004). O procedimento UNIVARIATE foi utilizado para identificar outliers e os valores considerados foram aqueles que desviaram da média do tratamento por mais de 3 ou menos de 1,5 vezes o intervalo interquartil. No modelo estatístico foi incluído o efeito de tratamento (nível de P disponível), sendo a gaiola considerada a unidade experimental para todas as análises. O procedimento LSMEANS foi usado para calcular as médias dos tratamentos e contrastes polinomiais ortogonais foram utilizados para determinar os efeitos (linear, quadrático ou cúbico) dos níveis de P nas variáveis estudadas; valores de  $P \leq 0,05$  foram considerados significativos. O procedimento REG foi utilizado para a estimativa das perdas endógenas de P e da digestibilidade verdadeira do mineral. Hipóteses foram testadas para verificar possíveis diferenças entre os *slopes* e interceptos das equações lineares (FS e FC) através de contrastes (ZARNOCH, 2009).

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período experimental as aves permaneceram saudáveis, não foram observados problemas de pernas e a mortalidade de somente um frango do tratamento FS\_75 foi registrada.

A composição analisada dos farelos de canola e soja utilizados no presente estudo está apresentada na tabela 3. Com base na concentração de MS, o FC possui mais P total e Ca do que o FS, além disso, maiores teores de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), extrato etéreo (EE) e energia bruta (EB) são encontrados no FC. Farelos de oleaginosas possuem de 60 a 75% do P total como P-fítico (NRC, 1994) e contêm baixa atividade intrínseca de fitase, menor que 70 FTU/kg (RODRÍGUEZ et al., 2013). Para ambos farelos utilizados em nosso estudo, esses resultados são condizentes com aqueles encontrados nas principais tabelas de composição de alimentos (FEEDIPEDIA, 2016; ROSTAGNO et al., 2011).

Tabela 3 - Composição analisada e calculada dos farelos de canola e soja<sup>1</sup>

Item	Farelo de canola	Farelo de soja
Matéria seca, %	87,8	88,7
Proteína bruta, %	37,6	50,9
Energia bruta, kcal kg <sup>-1</sup>	4.365	4.298
Extrato etéreo, %	2,90	1,90
Fibra detergente neutro, %	29,9	17,4
Fibra detergente ácido, %	20,3	6,30
Matéria mineral, %	6,80	5,80
Cálcio, %	0,69	0,29
Fósforo total, %	1,08	0,61
Fitato <sup>2</sup> , %	2,60	1,40
Fósforo fítico <sup>3</sup>	0,73	0,39
Fósforo não-fítico <sup>4</sup> , %	0,35	0,22
Fósforo não-fítico, % P total	32,4	36,0

<sup>1</sup> Valores expressos na base natural;

<sup>2</sup> Conforme RODRÍGUEZ et al. (2013);

<sup>3</sup> Corresponde a 28,2% do fitato (TRAN; SAUVANT, 2004);

<sup>4</sup> Diferença entre P total e P fítico;

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

A formulação de dietas de frangos de corte baseada no conceito de P disponível é fundamental para minimizar o impacto ambiental e econômico nos sistemas produtivos. Assim, o primeiro passo é desenvolver um protocolo consistente para a determinação das perdas endógenas (ADEDOKUN; ADEOLA, 2013) afim de se obter a digestibilidade verdadeira do P dos ingredientes. Essas perdas consistem de P oriundo de sucos gástricos, de

secreções biliares e pancreáticas e da descamação da mucosa intestinal (NYACHOTI et al., 1997; TAMMINGA et al., 1995) sendo inevitáveis mesmo a um consumo zero do mineral (DÄNNER et al., 2006).

O método da regressão é aplicável na determinação das perdas endógenas de P em frangos de corte, quando relações lineares consistentes entre ingestão e excreção do mineral são obtidas (DILGER; ADEOLA, 2006; MUTUCUMARANA, R. K. et al., 2014b). Essas relações foram observadas no presente estudo, tanto para o FC ( $r^2=0,78$ ) quanto para o FS ( $r^2=0,52$ ) (Figura 1).

Os resultados de digestibilidade da matéria seca (CDMS) para os frangos alimentados com níveis crescentes de FC ou FS estão apresentados nas tabelas 4 e 5, respectivamente. Para o FC, o CDMS reduziu (82 para 61%) linearmente ( $P < 0,0001$ ) com o nível do ingrediente na dieta, ocorrendo o mesmo (81 para 59%) para o FS ( $P < 0,0001$ ). Para ambos ingredientes, essa redução é explicada pela substituição do amido de milho, alimento altamente digestível, pelo ingrediente avaliado, de menor digestibilidade (DILGER; ADEOLA, 2006) e reflete uma condição normal da função digestiva (FANG et al., 2007).

Para as aves alimentadas com FC, o consumo e a excreção diários de P aumentaram linearmente ( $P < 0,0001$ ) com o nível do mineral nas dietas. Para o P absorvido ( $P=0,0019$ ) e endógeno ( $P=0,0162$ ), os dados apresentaram comportamento quadrático em relação ao P dietético (Tabela 4). Em relação ao FS, o consumo ( $P < 0,0001$ ), a excreção ( $P=0,0036$ ) e o P endógeno ( $P=0,0041$ ) aumentaram linearmente em relação ao nível do ingrediente na dieta (Tabela 5). Os resultados de aumento linear na ingestão e excreção de P conforme o nível do ingrediente avaliado, corroboram com publicações anteriores relacionadas ao FC (MUTUCUMARANA, R. K. et al., 2014a) ou ao FS (AL-MASRI, 1995; DILGER; ADEOLA, 2006). O comportamento quadrático dos resultados de P absorvido e endógeno para o FC pode estar associado ao teor de fibra detergente neutro (FDN) da dieta com maior inclusão desse ingrediente (24% FDN). A fibra pode reduzir o tempo de trânsito da digesta, diminuindo a absorção de minerais (VANDER AAR et al., 1983). Para o FS, o aumento linear no P endógeno é provavelmente resultado das concentrações crescentes do ingrediente nas dietas, pois ingestões graduais de P fítico limitam a excreção de P endógeno (AL-MASRI, 1995).

As estimativas médias das perdas endógenas de P e a  $D_{\text{verd}}$  do P do FC e do FS estão apresentadas na tabela 6. Não foram observadas diferenças nas perdas endógenas ( $P=0,1463$ ) nem nos coeficientes de  $D_{\text{verd}}$  do P ( $P=0,7052$ ) entre os farelos estudados, possivelmente pelo fato de as dietas terem sido formuladas com níveis de P inferiores à exigência para o mineral

(MUTUCUMARANA, R. K. et al., 2014a). As perdas endógenas totais (PE) estimadas foram de -411 mg/kg de MS ingerida (MSI) para o FC e -421 mg/kg de MSI para o FS sendo os coeficientes de  $D_{\text{verd}}$  do P de 34,7 e 28,7% para o FC e FS, respectivamente.

Os valores negativos de perdas endógenas de P relacionados ao FC e ao FS obtidos nesse estudo refletem uma limitação matemática do método utilizado e foram demonstrados também em publicações com perus (DÄNNER et al., 2006) e com frangos (RODEHUTSCORD et al., 2012). Para o FC, esse valor (-411mg) foi próximo ao encontrado (-487mg) por MUTUCUMARANA, R. K. et al. (2014a). Esses autores determinaram um coeficiente de  $D_{\text{verd}}$  do P do FC de 48,6%, superior ao deste trabalho (34,7%). Coeficientes de  $D_{\text{verd}}$  do P similares ao do presente estudo foram obtidos por ADEOLA; APPLGATE (2010) e por LESKE; COON (1999) (39,0 e 39,4%, respectivamente). Tabelas de composição de alimentos e exigências nutricionais de aves reportam valores de  $D_{\text{verd}}$  do P para o FC de 25,6% (NRC, 1994) e 43,1% (ROSTAGNO et al., 2011).

A  $D_{\text{verd}}$  do P do FS obtida neste trabalho foi de 28,7%, menor que em outras publicações relacionadas: 59,8% (DILGER; ADEOLA, 2006), 45,0% (ROSTAGNO et al., 2011), 41,5% (NRC, 1994) e similar àquela encontrada (27,0%) por LESKE; COON (1999). Essa amplitude de valores é atribuída a diversos fatores que podem influenciar a disponibilidade de P-fítico, tais como fonte de fitato, idade das aves, nível de cálcio dietético e, sobretudo, diferenças no protocolo experimental (LESKE; COON, 1999).

Considerando o consumo médio individual de MS, os frangos alimentados com FS tiveram perda endógena de P de aproximadamente 74 mg/dia, valor próximo ao obtido (87 mg/dia) por DILGER & ADEOLA (2006). Trabalho recentemente publicado que determinou a digestibilidade ileal verdadeira ( $DI_{\text{verd}}$ ) do P do FS, demonstrou que a perda endógena do mineral para esse ingrediente é de 49 mg/ave/dia e a  $DI_{\text{verd}}$  79% (MUTUCUMARANA, R. K. et al., 2014a). A estimativa da  $DI_{\text{verd}}$ , é substancialmente diferente da  $D_{\text{verd}}$  do P determinada em relação à totalidade do trato digestório (LI et al., 2016). Independente do protocolo experimental utilizado existe alta variabilidade entre e dentro de laboratórios na estimativa de perdas endógenas de P em frangos (DILGER; ADEOLA, 2006).

No presente trabalho, as perdas endógenas de P não foram diferentes entre os dois farelos de oleaginosas avaliados, sugerindo que essas perdas não dependem unicamente do conteúdo de fitato dietético. Além disso, o teor de P não-fítico dos alimentos não é reflexo do seu conteúdo de P digestível (APPLGATE, TODD J.; ANGEL, 2014; MUTUCUMARANA, R. K. et al., 2014a). Considerando que o FC possui mais P-fítico do que o FS (0,68 vs 0,43%), teoricamente mais P disponível é provido pelo primeiro (0,40 vs

0,21%). Nossos resultados demonstraram que as quantidades de P disponível fornecidas por ambos ingredientes foram ligeiramente menores que os teores de P não-fítico. Isso sugere que outros fatores inerentes à dieta e/ou às aves interferiram na disponibilidade do P para esses alimentos e que, considerando a amplitude de fatores possíveis bem como suas inter-relações, torna-se complicado apontar o principal.

### 3.4 CONCLUSÕES

Os coeficientes de digestibilidade verdadeira do fósforo dos farelos de canola e soja obtidos para frangos de corte na fase de crescimento foram 34,7 e 28,7% com respectivos valores de perdas endógenas de -411 e -421 mg/kg de matéria seca ingerida;

Frangos de corte na fase de crescimento aproveitam o fósforo oriundo dos farelos de canola ou soja de forma similar.

Tabela 4 – Digestibilidade da matéria seca (MS) e do fósforo (P) em frangos Cobb aos 28 dias alimentados com dietas semipurificadas com níveis crescentes de P oriundos do farelo de canola

Variável	Nível P disponível, %				Epm <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>		
	0,103	0,154	0,205	0,257		Linear	Quadrático	Cúbico
	Atendimento à exigência, %							
	30	45	60	75				
Peso vivo, g	817,7	817,3	827,3	806,3	3,80	-	-	-
Consumo, g	950,0	1.016,0	1.063,0	1.027,0	10,0	0,0033	0,0112	0,4219
Excretas, g	1127,4	1394,2	1502,6	1859,4	60,41	<.0001	0,4263	0,1045
MS ing <sup>3</sup> , g	835,3	886,3	924,9	894,7	10,15	0,0074	0,0193	0,4282
MS excr, g	159,5	216,6	255,7	348,9	14,91	<.0001	0,0414	0,0573
D <sub>apa</sub> MS, %	82,0	75,5	71,9	60,9	1,56	<.0001	0,0348	0,0151
P ing <sup>4</sup> , g dia <sup>-1</sup>	0,257	0,409	0,570	0,690	0,03	<.0001	0,0646	0,2725
P excr, g dia <sup>-1</sup>	0,141	0,241	0,284	0,494	0,03	<.0001	0,0488	0,0717
P abs, g dia <sup>-1</sup>	0,116	0,169	0,286	0,171	0,02	0,0137	0,0019	0,0102
D <sub>apa</sub> P, %	44,9	41,1	50,0	26,2	2,73	0,0238	0,0307	0,0288
P endog, mg ave dia <sup>-1</sup>	34,33	36,43	38,01	36,77	0,42	0,1865	0,0162	0,3735
D <sub>verd</sub> P, %	58,2	50,0	56,7	31,6	3,0	0,0011	0,0638	0,0249

<sup>1</sup> Erro padrão da média; <sup>2</sup> Contrastes polinomiais, Probabilidade (P< 0,05); <sup>3</sup> Referente a 2 dias; <sup>4</sup> Médias das seis unidades experimentais compostas por cinco aves cada; Peso vivo inicial (P=0,291). Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Tabela 5 - Digestibilidade da matéria seca (MS) e do fósforo (P) em frangos Cobb aos 28 dias alimentados com dietas semipurificadas com níveis crescentes de P oriundos do farelo de soja

Variável	Nível P disponível, %				Epm <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>		
	0,103	0,154	0,205	0,257		Linear	Quadrático	Cúbico
	Atendimento à exigência, %							
	30	45	60	75				
Peso vivo, g	863,5	876,0	861,3	864,8	4,16	-	-	-
Consumo, g	963,0	1.065,0	1.058,0	1.052,0	20,0	0,0828	0,1085	0,4688
Excretas, g	1.240,1	2.132,6	2.530,1	2.883,4	135,33	<.0001	0,0106	0,3046
MS ing <sup>3</sup> , g	833,3	914,3	909,2	935,2	14,06	0,0123	0,2693	0,2926
MS excr <sup>4</sup> , g	165,5	293,1	336,7	371,8	17,30	<.0001	0,0015	0,1946
D <sub>apa</sub> MS, %*	80,6	67,5	63,0	58,9	1,82	<.0001	0,0003	0,0824
P ing <sup>4</sup> , g dia <sup>-1</sup>	0,267	0,425	0,494	0,552	0,02	<.0001	0,0013	0,2008
P excr*, g dia <sup>-1</sup>	0,163	0,287	0,323	0,312	0,02	0,0036	0,0257	0,7389
P abs*, g dia <sup>-1</sup>	0,132	0,173	0,160	0,208	0,01	0,1190	0,8917	0,3451
D <sub>apa</sub> P, %	44,9	39,3	33,5	49,4	2,44	0,3833	0,2153	0,5728
P endog, mg ave dia <sup>-1</sup>	35,1	38,5	38,3	40,0	0,60	0,0041	0,3870	0,2249
D <sub>verd</sub> P, %	58,1	47,9	41,2	47,4	2,62	0,0941	0,1079	0,6685

<sup>1</sup> Erro padrão da média; <sup>2</sup> Contrastes polinomiais, Probabilidade (P ≤ 0,05); <sup>3</sup> Referente a 2 dias; <sup>4</sup> Médias das seis unidades experimentais compostas por cinco aves cada; Peso vivo inicial (P=0,631). \* MS ing utilizada como covariável. Fonte: elaborado pela autora, 2017.



Tabela 6 - Relação linear entre P excretado (g/kg de MS ingerida) e P dietético (g/kg de MS) dos farelos de canola e soja fornecidos em níveis crescentes para frangos de corte na fase de crescimento<sup>1</sup>

Ingrediente	Equação <sup>2</sup>	SE slope <sup>3</sup>	SE intercepto <sup>3</sup>	r <sup>2</sup>	PE (g/kg MSI) <sup>4</sup>	D <sub>Verd</sub> <sup>5</sup>
Farelo de canola	Y = 0,653X - 0,411	0,08	0,42	0,78	- 0,411	0,347
Farelo de soja	Y = 0,713X - 0,421	0,15	0,71	0,52	- 0,421	0,287

<sup>1</sup> Valores representativos da média de 6 repetições (5 aves por repetição);

<sup>2</sup> Regressão linear do P excretado (g/kg de MS ingerida) contra o P dietético (g/kg de MS) determinada com frangos de corte recebendo níveis crescentes de farelo de canola ou soja. O slope representa a indigestibilidade verdadeira e o intercepto representa as perdas endógenas de P (g/kg MSI);

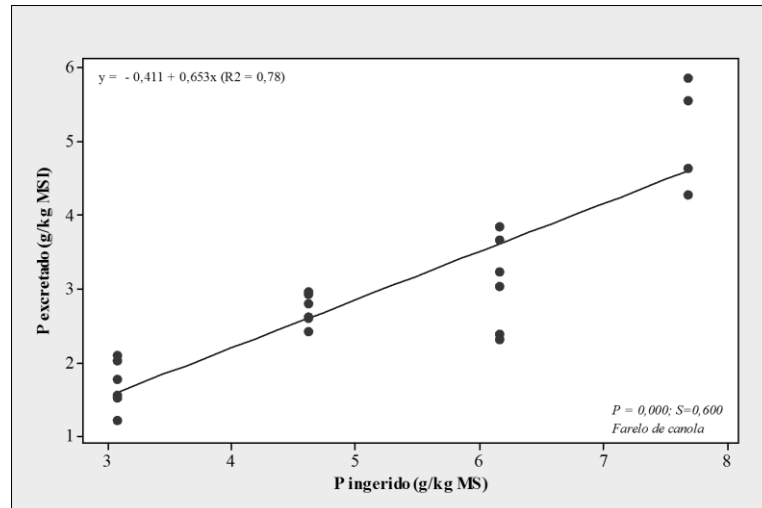
<sup>3</sup> Erro padrão do slope e intercepto;

<sup>4</sup> Calculado como descrito em DILGER; ADEOLA (2006); Médias não diferem (P=0,1463) quando comparadas por contrastes conforme ZARNOCH (2009);

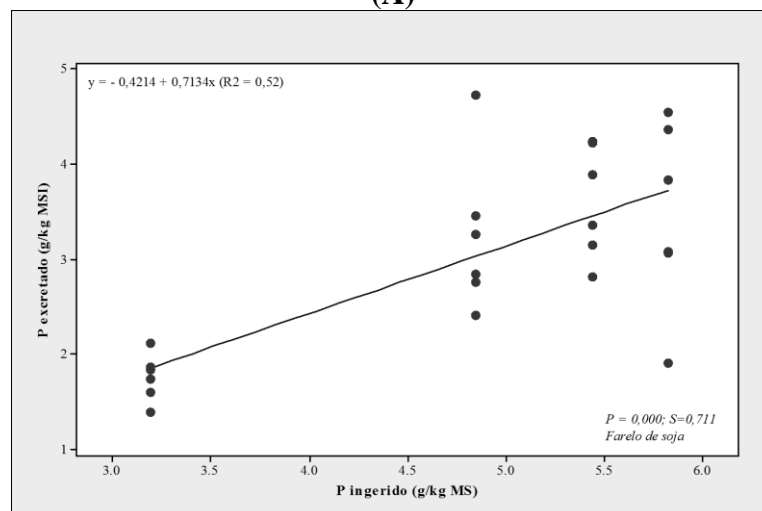
<sup>5</sup> Digestibilidade verdadeira calculada como:  $D_{\text{verd}} = (1 - 0,653) * 100 = 34,7\%$ ; Médias não diferem (P=0,7052) quando comparadas por contrastes conforme ZARNOCH (2009).

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Figura 1 - Relação linear entre o consumo (g/kg MS) e a excreção de P dietético (g/kg MSI) em frangos de corte na fase de crescimento alimentados com dietas contendo níveis crescentes de farelo de canola (A) ou soja (B)



(A)



(B)

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

### 3.5 REFERÊNCIAS

ADEDOKUN, S. A.; ADEOLA, O. Calcium and phosphorus digestibility: Metabolic limits. **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 22, n. 3, p. 600-608, 2013.

ADEOLA, O.; APPLGATE, T. J. Phosphorus and calcium equivalency of phytase. 1st International Phytase Summit, 2010. Washington, D.C. p.45-64.

AL-MASRI, M. R. Absorption and endogenous excretion of phosphorus in growing broiler chicks, as influenced by calcium and phosphorus ratios in feed. **British Journal of Nutrition**, v. 74, n. 3, p. 407-415, 1995.

APPLGATE, T. J.; ANGEL, R. **Phosphorus Requirements for Poultry**. Purdue Extension, 2008. <http://www.extension.purdue.edu/extmedia/AS/AS-583-W.pdf>

APPLGATE, T. J.; ANGEL, R. Nutrient requirements of poultry publication: History and need for an update. **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 23, n. 3, p. 567-575, 2014.

COMPÊNDIO BRASILEIRO DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL. **Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal**. SINDIRAÇÕES, 2009.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**, 2016. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br/> >. Acesso em: 11/10/2016.

DÄNNER, E. et al. Inevitable losses of phosphorus in growing male turkeys 8 and 12 weeks of age. **Archiv für Geflügelkunde**, v. 70, n. 1, p. 2-7, 2006.

DETMANN, E. et al. **Métodos para Análise de Alimentos**. 1. ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012. 214p.

DILGER, R. N.; ADEOLA, O. Estimation of True Phosphorus Digestibility and Endogenous Phosphorus Loss in Growing Chicks Fed Conventional and Low-Phytate Soybean Meals. **Poultry Science**, v. 85, n. 4, p. 661-668, 2006.

FAN, M. Z. et al. Novel Methodology Allows Simultaneous Measurement of True Phosphorus Digestibility and the Gastrointestinal Endogenous Phosphorus Outputs in Studies with Pigs. **Journal of Nutrition**, v. 131, n. 9, p. 2388-2396, 2001.

FANG, R. J. et al. Comparison of the regression analysis technique and the substitution method for the determination of true phosphorus digestibility and faecal endogenous phosphorus losses associated with feed ingredients for growing pigs. **Livestock Science**, v. 109, n. 1-3, p. 251-254, 2007.

FEEDIPEDIA. Animal feed resources information system. 2016. Disponible em: < <http://www.feedipedia.org/> >.

GONZÁLEZ-VEGA, J.C. et al. Endogenous intestinal losses of calcium and true total tract digestibility of calcium in canola meal fed to growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 91, p. 4807-4816, 2013.

INRA. **Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. Porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons.** . Paris, France, 2002.

KHAJALI, F.; SLOMINSKI, B. A. Factors that affect the nutritive value of canola meal for poultry. **Poultry Science**, v. 91, n. 10, p. 2564-2575, 2012.

LESKE, K. L.; COON, C. N. A bioassay to determine the effect of phytase on phytate phosphorus hydrolysis and total phosphorus retention of feed ingredients as determined with broilers and laying hens. **Poultry Science**, v. 78, n. 8, p. 1151-1157, 1999.

LI, X. et al. Phosphorus Bioavailability: A Key Aspect for Conserving this Critical Animal Feed Resource with Reference to Broiler Nutrition. **Agriculture**, v. 6, n. 25, p. 1-15, 2016.

MUTUCUMARANA, R. K. et al. Measurement of true ileal digestibility and total tract retention of phosphorus in corn and canola meal for broiler chickens. **Poultry Science**, v. 93, n. 2, p. 412-419, 2014a.

MUTUCUMARANA, R. K. et al. Measurement of true ileal digestibility of phosphorus in some feed ingredients for broiler chickens. **Journal of Animal Science**, v. 92, p. 5520-5529, 2014b.

NRC. **Nutrient Requirements of Poultry**. Ninth Revised Edition. Washington , D.C: National Research Council, 1994. 157p.

NYACHOTI, C. M. et al. Significance of endogenous gut nitrogen losses in the nutrition of growing pigs: A review. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 77, n. 1, p. 149-163, 1997.

PATRICIO, I. et al. Overview on the performance of Brazilian broilers (1990 to 2009). **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 14, p. 233-238, 2012.

PROSZKOWIEC-WEGLARZ, M.; ANGEL, R. Calcium and phosphorus metabolism in broilers: Effect of homeostatic mechanism on calcium and phosphorus digestibility. **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 22, n. 3, p. 609-627, 2013.

RAVINDRAN, V. et al. Influence of an Escherichia coli-Derived Phytase on Nutrient Utilization in Broiler Starters Fed Diets Containing Varying Concentrations of Phytic Acid. **Poultry Science**, v. 85, n. 1, p. 82-89, 2006.

RODEHUTSCORD, M. et al. A note on sampling digesta from the ileum of broilers in phosphorus digestibility studies. **Poultry Science**, v. 91, n. 4, p. 965-971, 2012.

RODRÍGUEZ, D. A. et al. Energy concentration and phosphorus digestibility in canola, cottonseed, and sunflower products fed to growing pigs. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 93, p. 493-503, 2013.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3. Viçosa, MG.: UFV, DZO, 2011. 252p.

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

SAS. **Statistical Analysis System. SAS/INSIGHT User's guide.** . INSTITUTE, C. S. 2004.

SIEGEL, P. B. Evolution of the Modern Broiler and Feed Efficiency. **Annual Review of Animal Biosciences**, v. 2, n. 1, p. 375-385, 2014.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos).** 3a. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009.

TAMMINGA, S. et al. The nutritional significance of endogenous n-losses along the gastrointestinal tract of farm animals. **Archiv für Tierernaehrung**, v. 48, n. 1-2, p. 9-22, 1995.

TRAN, G.; SAUVANT, D. Chemical data and nutritional value. In: WAGENINGEN ACADEMIC PUBLISHERS, W., THE NETHERLANDS AND INRA EDITIONS, VERSAILLES, FRANCE. (Ed.). **Tables of composition and nutritional value of feed materials: Pigs, poultry, cattle, sheep, goats, rabbits, horses, fish.** 2.ed., 2004.

VANDER AAR, P. J. et al. Effects of dietary fibers on mineral status of chicks. **The Journal of Nutrition**, v. 113, p. 653-661, 1983.

ZARNOCH, S. J. **Testing hypotheses for differences between linear regression lines.** Research Note SRS-17. United States Department of Agriculture, Forest Service, Ashville, North Carolina, 2009.

## **4 CAPÍTULO II – PERDAS ENDÓGENAS E DIGESTIBILIDADE VERDADEIRA DO FÓSFORO DOS FARELOS DE SOJA E CANOLA PARA POEDEIRAS: FASES DE RECRIA E PRODUÇÃO**

### **4.1 INTRODUÇÃO**

O Brasil é o sexto produtor mundial de ovos, produzindo no primeiro trimestre de 2016 cerca de 750 milhões de dúzias (IBGE, 2016). Bons índices produtivos têm sido observados desde a década de 80 com a evolução da genética da poedeira comercial. Considerando a fase de recria das linhagens produtoras de ovos marrons, houve redução de 150 gramas no peso corporal e 2,6 kg no consumo de ração. Na fase de postura, o número e tamanho dos ovos por ave alojada aumentou, enquanto que o peso corporal reduziu em 500 gramas às 32 semanas (HY-LINE, 2016). Levando em consideração as melhorias nesses índices, houve necessidade de adequar a dieta da poedeira comercial, de modo que o menor peso corporal e consumo tornaram necessária a formulação de dietas com maiores teores de proteína, cálcio (Ca) e fósforo (P) e menor energia metabolizável (EM).

O P é um dos minerais de maior importância na nutrição de poedeiras, sendo essencial no metabolismo e na formação da casca dos ovos (SOHAIL; ROLAND, 2002), assim poedeiras possuem exigências específicas para crescimento, formação do ovo e mineralização óssea (NRC, 1994). No entanto, o volume de dados científicos sobre exigências, digestibilidade e metabolismo do P de alimentos para poedeiras ainda é pequeno se comparado ao encontrado para frangos de corte (APPLEGATE; ANGEL, 2014). Existe também a necessidade de dados relacionados à digestibilidade de nutrientes em poedeiras de diferentes idades.

Adicionalmente, o P é um mineral que requer atenção especial tanto pela sua importância metabólica como econômica (MAGUIRE et al., 2005). A falta de informações sobre a digestibilidade verdadeira do P de alimentos possíveis de serem utilizados nas dietas gera suplementação excessiva de fosfatos, aumentando a excreção de P pela ave e o impacto ambiental.

Nos sistemas atuais de produção de ovos comerciais as dietas das poedeiras nas fases de recria e produção são formuladas utilizando basicamente milho e farelo de soja (FS). Alimentos alternativos são pouco usados havendo escassez de dados sobre digestibilidade de nutrientes desses alimentos. Em outros países o uso do farelo de canola (FC) em dietas para poedeiras é amplamente difundido (CANOLA COUNCIL, 2015), mas no Brasil ainda é limitado, sendo um dos motivos a carência de informações científicas das cultivares nacionais. Além disso, em se tratando do P em poedeiras, não há pesquisa que tenha avaliado a digestibilidade verdadeira pelo

método de regressão. Esse método permite simultaneamente determinar a digestibilidade verdadeira do mineral, bem como suas perdas endógenas, sendo utilizado atualmente em estudos com suínos e frangos de corte (DILGER; ADEOLA, 2006; FAN et al., 2001; LIU et al., 2014).

Os objetivos do presente trabalho, portanto, foram avaliar a digestibilidade verdadeira do P do FC e do FS para poedeiras Hy-Line Brown em duas fases, recria e produção.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética em Uso de Animais do Instituto Federal Catarinense - Campus Concórdia, parecer nº 08/2015 e foi conduzido conforme padrões técnicos de biossegurança e ética.

Os experimentos foram realizados no Setor de Avicultura do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) em Lages/SC. Dois ensaios de digestibilidade foram realizados utilizando 48 poedeiras Hy-Line Brown nas fases de recria (17 a 18 semanas) e postura (32 a 33 semanas).

No ensaio de recria, 48 aves com peso vivo médio de  $1.489 \pm 148,7$ g foram distribuídas às dietas experimentais conforme um delineamento inteiramente casualizado constituído de oito tratamentos (FC\_30, FC\_45, FC\_60, FC\_75, FS\_30, FS\_45, FS\_60, FS\_75) e dois períodos consecutivos, totalizando seis repetições, sendo considerada a gaiola a unidade experimental. Posteriormente ao ensaio de recria, quando as aves atingiram 32 semanas e peso vivo médio de  $1.966 \pm 197,4$ g, o ensaio de postura foi conduzido. Nesse ensaio os mesmos tratamentos anteriormente descritos foram avaliados em um delineamento inteiramente ao acaso, com seis repetições sendo a gaiola a unidade experimental. Nesse ensaio, todas as aves estavam produzindo ovos.

As dietas de recria e postura (Tabelas 7 e 8) foram formuladas para atender 30, 45, 60 e 75% da exigência de P disponível recomendada por (ROSTAGNO et al., 2011). Em todas as dietas o ingrediente avaliado (FC ou FS) representou a única fonte de P disponível, de forma que amido, açúcar e óleo foram as fontes de energia, o calcário calcítico a fonte de cálcio, o sal comum a de cloreto de sódio e um premix vitamínico-mineral foi incorporado para atender as exigências de microminerais, vitaminas e metionina. Para a formulação das dietas, os teores de matéria seca (MS), energia bruta (EB), extrato etéreo (EE), proteína bruta (PB), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), P e Ca do FS e do FC foram analisados em laboratório, bem como o nível de Ca e MS do calcário calcítico.



Tabela 7 - Composição centesimal e calculada das dietas de poedeiras na fase de recria<sup>1</sup>

Ingrediente	Nível P disponível							
	0,092	0,137	0,183	0,229	0,092	0,137	0,183	0,229
	Atendimento à exigência, %							
	30	45	60	75	30	45	60	75
Farelo de soja	-	-	-	-	42,8	62,0	82,0	87,9
Farelo de canola	35,0	52,5	69,0	82,8	-	-	-	-
Amido	54,8	36,6	19,5	5,00	46,9	27,0	6,20	0,00
Açúcar	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Óleo de soja	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Calcário	1,58	2,32	3,10	3,80	1,96	2,70	3,50	3,80
Cloreto potássio	0,35	0,22	0,13	0,06	-	-	-	-
Sal comum	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Premix <sup>2</sup>	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Total	100,0	100,0	99,9	99,9	99,5	99,6	99,6	99,6
Nutriente	Composição calculada							
EM, kcal kg <sup>-1</sup>	3006,4	2691,3	2396,4	2142,7	3085,8	2837,7	2576,8	2497,6
P disponível, %	0,092	0,139	0,183	0,219	0,093	0,137	0,180	0,193
Cálcio digest., %	0,584	0,861	1,147	1,399	0,606	0,838	1,089	1,181
Ca/P disponível	6,35	6,20	6,27	6,39	6,52	6,12	6,05	6,12

<sup>1</sup>Exigência de P disponível de 0,305% conforme Rostagno et al. (2011); <sup>2</sup>Níveis por quilograma de produto: Metionina, mín 173,25 g; Colina, mín 39,15 g; Vitamina A, mín 1.750.000 UI; Vitamina D3, mín 450.000 UI; Vitamina E, mín 2.750 UI; Vitamina K3, mín 325 mg; Vitamina B1, mín 112,5 mg; Vitamina B2, mín 875mg; Vitamina B6, mín 425 mg/kg, Vitamina B12, mín 2.500 mcg, Niacina, mín 6.000 mg; Ácido Pantotênico, mín 1.840mg; Ácido Fólico, mín 50 mg; Biotina, mín 4 mg; Ferro, mín 7.500 mg; Cobre, mín 2.250 mg; Manganês, mín 15 g; Zinco, mín 15g, Iodo, mín 250 mg; Selênio, mín 62,5 mg; Colistina, 2.000 mg. Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Tabela 8 - Composição centesimal e calculada das dietas de poedeiras na fase de produção<sup>1</sup>

Ingrediente	Nível P disponível							
	0,084	0,126	0,170	0,210	0,084	0,126	0,170	0,210
	Atendimento à exigência, %							
	30	45	60	75	30	45	60	75
Farelo de soja	-	-	-	-	36,8	55,6	80,0	85,5
Farelo de canola	30,5	45,2	67,0	79,0	-	-	-	-
Amido	57,3	41,4	17,8	4,80	51,9	31,8	5,60	0
Açúcar	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Óleo de soja	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Calcário	2,80	4,20	6,00	7,00	2,80	4,20	6,00	6,00
Cloreto potássio	1,00	0,80	0,80	0,80	-	-	-	-
Sal comum	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Premix <sup>2</sup>	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Nutriente	Composição calculada							
EM, kcal kg <sup>-1</sup>	3010,3	2724,0	2298,7	2064,3	3120,2	2855,6	2508,2	2440,7
P disponível, %	0,08	0,12	0,18	0,21	0,08	0,12	0,17	0,19
Cálcio digest., %	0,92	1,37	1,97	2,30	0,84	1,26	1,80	1,81
Ca/P disponível	11,5	11,4	11,0	11,0	10,5	10,5	10,6	9,5

<sup>1</sup> Exigência de P disponível de 0,280% conforme Rostagno et al. (2011); <sup>2</sup> Níveis por quilograma de produto: Ácido Fólico, mín 40 mg; Ácido Nicotínico, mín 5.000 mg; Ácido Pantotênico, mín 2.000 mg; B.H.T. Antioxidante, mín 20 g; Biotina, mín 4 mg; Cobalto, mín 50 mg; Cobre, mín 1.200 mg; Colina 50 g; Ferro, mín 10 g; Iodo, mín 161 mg; Metionina, mín 160 g; Óxido de manganês, 12 g; Selênio, mín 50 mg; Vitamina A, mín 1.800 UI; Vitamina B1, mín 200 mg; Vitamina B12, mín 1.400 mcg; Vitamina B2, mín 800 mg; Vitamina B6, mín 300 mg; Vitamina D3, mín 360.000 UI; Vitamina E, mín 1400 UI; Vitamina K3, mín 600 mg; Zinco, mín 10 g. Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Nos dois ensaios, as aves foram alojadas aos pares, em gaiolas metabólicas, durante nove dias, sendo cinco para adaptação ao ambiente, rotina experimental e dietas e quatro para coleta total de excretas. As gaiolas localizavam-se em estruturas metálicas dotadas de três andares cada e eram mantidas em sala climatizada com temperatura média de 23<sup>o</sup>C ± 1,6.

As dietas, em ambos os ensaios, foram fornecidas *ad libitum* em comedouros tipo calha de modo que a quantidade diária disponibilizada fosse a recomendada pelo manual da linhagem (HY-LINE, 2010). Durante os experimentos, procurou-se estimular o consumo através da movimentação dos comedouros. O acesso à água foi livre através de bebedouro tipo nipple.

As excretas foram coletadas duas vezes ao dia, pesadas, acondicionadas em sacos plásticos e conservadas em freezer a -15<sup>o</sup>C. O início e o final da coleta foram determinados pelo

aparecimento de fezes marcadas através da incorporação à ração de 1% de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Em caso de sobras de alimento, essas foram coletadas de cada comedouro no final de cada período experimental. Ao término dos experimentos, as excretas foram homogeneizadas, secas em estufa de ventilação forçada ( $55^\circ\text{C}$  por 72 h) e moídas para análises posteriores.

Nas dietas e excretas foram analisados, em duplicata, o conteúdo de matéria seca (MS), matéria mineral (MM) e fósforo total (P) de acordo com técnicas descritas em (COMPÊNDIO BRASILEIRO DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL, 2009; SILVA; QUEIROZ, 2009). Para a análise de P foi utilizado o método colorimétrico, o qual fundamenta-se em ataque ácido e à quente da amostra e posterior formação de um complexo colorido entre o fosfato e os reagentes vanadato e molibdato de amônio, de cor amarela (COMPÊNDIO BRASILEIRO DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL, 2009). Nas leituras em absorvância, também em duplicata, foi utilizado o comprimento de onda de 400nm. O cálculo do teor de P total presente na amostra foi conforme DETMANN et al. (2012).

Para mensurar a  $D_{\text{verd}}$  e as perdas endógenas totais do P do FS e do FC foi utilizado o método de regressão (FAN et al., 2001). A estimativa das perdas endógenas por esse método depende de se estabelecer uma relação linear entre o nutriente excretado e seu consumo. Assim, o conteúdo de P endógeno fecal é o intercepto da regressão e seu slope representa a estimativa da digestibilidade verdadeira:

$$\mathbf{P\ digerido = (D_{\text{verd}} \times P_{\text{ing}}) - PE}$$

$D_{\text{verd}}$  = slope da regressão – representa a estimativa de  $D_{\text{verd}}$  do P;

PE = intercepto da regressão – representa a estimativa das perdas endógenas.

Para a obtenção do coeficiente de digestibilidade aparente do P das dietas, foram utilizados os cálculos:

Matéria seca ingerida ( $\text{MS}_{\text{ing}}$ ) = Ração fornecida (g) \* MS ração (%) – Sobras (g) \* MPS sobras (%);

Excretas produzidas = Excretas (g) \* MST excretas (%)

Coeficiente de digestibilidade aparente do P =  $(P_{\text{ing}} - P_{\text{excr}}) / P_{\text{ing}} * 100$

As perdas endógenas totais de P foram estimadas através da regressão do P excretado em g/Kg de matéria seca ingerida (variável dependente) contra a variável independente P dietético (g/kg de matéria seca). O valor obtido no intercepto ( $\text{PE}_{\text{totais}}$ ) foi multiplicado pelo consumo de

matéria seca, expresso em kg, de cada unidade experimental. Os coeficientes de digestibilidade verdadeira do P das dietas foram calculados através da equação (GONZÁLEZ-VEGA et al., 2013):

$$D_{\text{verd P}} = D_{\text{apa}} (\%) + [(PE_{\text{totais}} (\text{g/kg MS}_{\text{ing}})/P_{\text{dietético}} (\text{g/kg MS})) * 100]$$

Os dados foram analisados conforme um delineamento inteiramente casualizado através do procedimento GLM do SAS (SAS, 2004). O procedimento UNIVARIATE foi utilizado para identificar outliers e os valores considerados foram aqueles que desviaram da média do tratamento por mais de 3 ou menos de 1,5 vezes o intervalo interquartil. No modelo estatístico foram incluídos os efeitos de tratamento (nível de P disponível) e período, e a gaiola foi considerada a unidade experimental para todas as análises. O procedimento LSMEANS foi usado para calcular as médias dos tratamentos e contrastes polinomiais ortogonais foram utilizados para determinar os efeitos (linear, quadrático ou cúbico) dos níveis de P nas variáveis estudadas; valores de  $P \leq 0,05$  foram considerados significativos. O procedimento REG foi utilizado para a estimativa das perdas endógenas de P e da digestibilidade verdadeira do mineral. Por fim, hipóteses foram testadas para verificar possíveis diferenças, através de contrastes, entre os slopes e interceptos das equações lineares quanto aos ingredientes (FS ou FC) e quanto à idade da ave (17 ou 32 semanas) (ZARNOCH, 2009).

#### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição analisada dos farelos de canola e soja utilizados no presente estudo está apresentada na tabela 9. Com base na concentração de MS, o FC possui mais P total e Ca do que o FS, além disso, maiores teores de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), extrato etéreo (EE) e energia bruta (EB) são encontrados no FC. Farelos de oleaginosas possuem de 60 a 75% do P total como P-fítico (NRC, 1998) e contêm baixa atividade intrínseca de fitase, menor que 70 FTU/kg (RODRÍGUEZ et al., 2013). Para ambos farelos utilizados em nosso estudo, esses resultados são condizentes com aqueles encontrados nas principais tabelas de composição de alimentos (FEEDIPEDIA, 2016; ROSTAGNO et al., 2011).

Tabela 9 - Composição analisada e calculada dos farelos de canola e soja<sup>1</sup>

Item	Farelo de canola	Farelo de soja
Matéria seca, %	87,8	87,8
Proteína bruta, %	37,6	47,1
Energia bruta, kcal kg <sup>-1</sup>	4.365	4.347
Extrato etéreo, %	2,90	2,00
Fibra detergente neutro, %	29,9	14,9
Fibra detergente ácido, %	20,3	5,30
Matéria mineral, %	6,80	6,90
Cálcio, %	0,69	0,25
Fósforo total, %	1,08	0,64
Fitato <sup>2</sup> , %	2,60	1,40
Fósforo fítico <sup>3</sup>	0,73	0,39
Fósforo não-fítico <sup>4</sup> , %	0,35	0,25
Fósforo não-fítico, % P total	32,4	39,0

<sup>1</sup> Valores expressos na base natural;

<sup>2</sup> Conforme RODRÍGUEZ et al. (2013);

<sup>3</sup> Corresponde a 28,2% do fitato (TRAN; SAUVANT, 2004);

<sup>4</sup> Diferença entre P total e P fítico;

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

### *Fase de recria*

Durante o período experimental as aves permaneceram saudáveis, não foram observados problemas de pernas nem mortalidade.

Nas tabelas 10 e 11 estão apresentados os resultados de digestibilidade da matéria seca (MS) de poedeiras alimentadas com níveis crescentes de FC ou FS na fase de recria. A excreção de MS aumentou ( $P < 0,0001$ ) e o coeficiente de digestibilidade aparente (CDMS) reduziu linearmente ( $P < 0,0001$ ) conforme o nível de FC (81 para 51%) ou FS (82 para 57%). A diminuição no coeficiente de digestibilidade é uma consequência da maior excreção de MS, pois o amido de milho, de alta digestibilidade, é substituído pelo alimento avaliado, menos digestível (DILGER; ADEOLA, 2006).

O consumo de ração apresentou tendência a aumentar com o nível de FC ( $P=0,0660$ ), mas não foi influenciado ( $P=0,6837$ ) pelo nível de FS dietético. Diferenças mais pronunciadas na quantidade de energia metabolizável (EM) entre as dietas com FC podem ter contribuído para ingestões graduais de alimento, pois as aves tentam ajustar o consumo voluntário conforme o nível de energia da dieta (MBAJIORGU; NGAMBI; NORRIS, 2011). Apesar das dietas com FS terem variação na concentração de EM, o consumo de ração não foi diferente, o que suporta os achados de outros autores (LEESON, S.; CASTON; D., 1996; RICHARDS, 2003). Nesses trabalhos a ingestão de alimento pelas aves nem sempre variou em relação a EM da dieta, mas conforme

limitações ou excessos de outros nutrientes, o que se supõe que os mecanismos que afetam o consumo em aves não sejam ainda totalmente compreendidos.

A ingestão e a excreção de P foram influenciadas ( $P < 0,0001$ ) pelos níveis de FC ou FS, de modo que ambas variáveis aumentaram linearmente (Tabelas 10 e 11). Esses resultados estão de acordo com outros trabalhos, nos quais aves foram alimentadas com níveis crescentes de P disponível (BOLING et al., 2000; DÄNNER et al., 2006; LIU; CHEN; ADEOLA, 2013). Houve tendência de resposta linear crescente do P endógeno ( $P = 0,0660$ ) ao nível de inclusão de FC (Tabela 10), o que se justifica pelas ingestões graduais de ácido fólico (0,14; 0,22; 0,33 e 0,39g) com aumento da secreção de P endógeno no lúmen do trato gastrointestinal (WOYENGO; NYACHOTI, 2013). Os coeficientes de  $D_{\text{apa}}$  e  $D_{\text{verd}}$  do P não foram influenciados ( $P > 0,05$ ) pelos níveis de FC, o que se supõe ser devido às baixas concentrações dietéticas de P com melhora da capacidade de utilização do mineral pelas aves e manutenção da homeostase (LIU et al., 2013).

O P absorvido ( $P = 0,0499$ ), a  $D_{\text{apa}}$  ( $P = 0,0093$ ), e a  $D_{\text{verd}}$  ( $P = 0,0004$ ), reduziram linearmente conforme a inclusão de FS. Isso é resultado dos níveis crescentes de FS utilizados neste estudo (LIU et al., 2013), considerando que a menor proporção do ingrediente utilizado representa maior digestibilidade. O FS contém quantidades significativas de fatores anti-nutricionais, como polissacarídeos não-amiláceos e oligossacarídeos que diminuem a digestibilidade da dieta pelo aumento na taxa de passagem da digesta (CHOCT et al., 2010). O P endógeno, no entanto, não foi influenciado ( $P = 0,6837$ ) pelo nível de FS. Em média, a ingestão de ácido fólico pelas frangas alimentadas com FS foi cerca de 53% daquela relacionada ao FC. Além da similaridade no consumo de MS pelas aves dos tratamentos com FS, possivelmente as quantidades de ácido fólico ingeridas não foram consideráveis a ponto de influenciar a secreção de P endógeno. Comparando a secreção endógena das frangas alimentadas com FC, as aves alimentadas com FS secretaram mais P endógeno (37 vs 81 mg dia<sup>-1</sup>;  $P = 0,0214$ ), o que resultou em um coeficiente de  $D_{\text{verd}}$  negativo (-17,0%). Nossos dados indicam que o consumo de MS pelas frangas foi aproximadamente 20 gramas inferior ao esperado (75g) para a linhagem e idade (HY-LINE, 2010) e os resultados de  $D_{\text{verd}}$  do P foram baixos (menores que 50%). Dados sobre PE de P de ingredientes específicos são quase inexistentes para poedeiras jovens, no entanto HEMPEL et al. (2004) determinaram que essas perdas diárias são ao redor de 50 mg kg<sup>-1</sup> de peso corporal. Considerando o peso médio (1495 g) das aves deste trabalho, PE de P de 75mg seriam esperadas, o que leva a crer que houve perda metabólica de P significativa (PE média de 81mg). Essas circunstâncias confirmam as apontadas por (VAN SOEST, 1994) que menciona que a digestibilidade pode ser negativa se uma pequena ingestão de alimento, baixa digestibilidade ou ambos estão associados a uma perda metabólica significativa do nutriente.

As causas para nossos resultados podem ser variáveis e inter-relacionadas, como a idade das aves e a imaturidade enzimática do trato digestório, os fatores antinutricionais do FS, a quantidade de Ca ingerida e do ingrediente nas dietas.

Uma das premissas do método de regressão é a obtenção de relações lineares consistentes entre a quantidade de P excretada e aquela ingerida pelos animais (FAN et al., 2001). Essas relações foram observadas no presente trabalho, tanto para o FC ( $r^2=0,70$ ) quanto para o FS ( $r^2=0,70$ ). Para a fase de recria, as perdas endógenas totais de P (PE) estimadas pela análise de regressão foram de - 493 mg/kg de MS ingerida para o FC e - 1490 mg/kg de MS ingerida para o FS. Os coeficientes de  $D_{\text{verd}}$  do P para o FC e FS foram 22,9% e -17,0%, respectivamente (Tabela 12).

Dados de PE de P e  $D_{\text{verd}}$  do mineral para o FC e FS em poedeiras são escassos, principalmente quando se consideram aves jovens (17 semanas) como as utilizadas neste trabalho. LEESON, S.; ATTEHT; SUMMERS (1987) encontraram que a retenção aparente de P para poedeiras foi de 38,3% quando o FS foi totalmente substituído pelo FC na dieta; já em dietas tendo o FS como única fonte de proteína, a retenção aparente do mineral foi de 38,9%. Posteriormente, LEESON, S.; SUMMERS (2005) reportam que a disponibilidade do P do FC é 45,0% e do FS 37,0%; nas tabelas de (ROSTAGNO et al., 2011), valores de 45,0% de P disponível para o FS e 43,1% para o FC são mencionados. Essas publicações, no entanto, não especificam a idade das aves à que se referem e os resultados de LEESON, S. et al. (1987) foram baseados em poedeiras às 32 semanas. Para aves jovens, como frangos na fase inicial (15 a 21 dias), (DILGER; ADEOLA, 2006) encontraram  $D_{\text{verd}}$  do P para o FS de 59,8% e (LESKE; COON, 1999) de 27,0% para frangos em crescimento (22 dias). Essa amplitude de valores é atribuída a diversos fatores que podem influenciar a disponibilidade de P-fítico, tais como fonte de fitato, idade das aves, nível de cálcio dietético e, sobretudo, diferenças no protocolo experimental (LESKE; COON, 1999). Em nosso trabalho, a  $D_{\text{verd}}$  do P apresentou tendência ( $P=0,0770$ ) a diferir entre o FC e o FS. As PE de P foram diferentes ( $P=0,0214$ ) considerando os ingredientes avaliados, sendo esses resultados discutidos anteriormente.

### *Fase de produção*

Durante o período experimental as aves permaneceram saudáveis, mortalidade não foi observada, no entanto ovos de casca mole foram registrados.

Nas tabelas 13 e 14 estão apresentados os resultados de digestibilidade da matéria seca (MS) de poedeiras alimentadas com níveis crescentes de FC ou FS na fase de postura. O nível de FC na dieta influenciou o consumo de ração ( $P=0,0010$ ), o qual aumentou linearmente, da mesma forma que a excreção de MS ( $P< 0,0001$ ). O CDMS reduziu (80 para 55%) com a inclusão de FC ( $P< 0,0001$ ). Para as poedeiras alimentadas com níveis crescentes de FS, o consumo ( $P=0,0001$ ) e a excreção ( $P=0,0004$ ) de MS aumentaram com o nível de FS dietético, já o CDMS reduziu (86 para 63%) ( $P< 0,0001$ ). Assim como na fase de recria, o consumo das poedeiras alimentadas com FC ou FS pode ter sido influenciado por diferenças na EM das dietas. Por mais que a formulação tenha objetivado o uso de rações isocalóricas, variações na densidade energética são esperadas (DILGER; ADEOLA, 2006), como consequências indiretas das concentrações de gordura dos farelos avaliados e diretas da substituição desses ingredientes por amido de milho, o que também leva às reduções nos CDMS.

O P ingerido ( $P< 0,0001$ ), excretado ( $P< 0,0001$ ), absorvido ( $P=0,056$ ), endógeno ( $P=0,0018$ ) e a  $D_{verd}$  ( $P= 0,0555$ ) demonstraram resposta linear ao consumo de FC (Tabela 13). A ingestão ( $P< 0,0001$ ) e excreção ( $P=0,0020$ ) de P, assim como as PE ( $P< 0,0001$ ) do mineral, apresentaram comportamento linear em relação a inclusão de FS na dieta (Tabela 14). Para ambos farelos, os resultados de ingestão e excreção de P estão de acordo com trabalhos anteriores (DÄNNER et al., 2006; TORKI; HABIBIAN; DAVOODIFAR, 2015), nos quais aves foram alimentadas com níveis crescentes de P disponível. O P na excreta constitui aquele não digerido de origem alimentar, o P utilizado pela microflora do intestino grosso, o excretado na urina e o P endógeno (DILGER; ADEOLA, 2006). O aumento na excreção de P em consonância com o consumo do mineral é possivelmente consequência da maior secreção endógena, observada tanto em poedeiras alimentadas com FC, quanto com FS. Apesar desse resultado, não foram observados efeitos significativos nos coeficientes de  $D_{apa}$ . Em nosso trabalho, considerando o menor nível de P dietético, aproximadamente 8% do mineral excretado foi de origem endógena para as galinhas alimentadas com FC e 5% para aquelas que receberam FS. Isso demonstra que a contribuição endógena para o total de P excretado é relativamente alta a baixos níveis de consumo, o que sugere que o método direto não é adequado para estimar a digestibilidade do P desses ingredientes (MUTUCUMARANA et al., 2014). Em relação a  $D_{verd}$ , observou-se resposta linear decrescente para o FC ( $P=0,0555$ ) em função dos níveis dietéticos. Para o FS, a  $D_{verd}$  do P tendeu ( $P=0,0763$ ) a



diminuir conforme a inclusão do ingrediente na dieta. Esses resultados são condizentes com o aumento na secreção endógena de P em resposta às ingestões crescentes de ácido fítico, o qual tem a hidrólise limitada em aves e suínos e pode formar complexos insolúveis com cátions em pH neutro no intestino delgado (WOYENGO; NYACHOTI, 2013).

As PE de P de poedeiras na fase de produção estimadas pela regressão linear foram de - 344 mg/kg de MSI para o FC e 210 mg/kg de MSI para o FS. Os coeficientes de  $D_{\text{verd}}$  do P foram de 32,2% para o FC e 36,7% para o FS. Não houve diferença entre *slopes* e interceptos das equações de regressão (PE – P=0,1827;  $D_{\text{verd}}$  – P=0,7679) (Tabela 15).

A literatura carece de informações sobre disponibilidade do P do FC para poedeiras de ovos marrons, possivelmente por serem predispostas a produzirem ovos com “odor de peixe”, sendo o uso do farelo cauteloso pela indústria. O FC, no entanto, pode ser incluído em até 24% na dieta sem que o odor apareça nos ovos (WARD; CLASSEN; BUCHANAN, 2009). No trabalho de LEESON, S. et al. (1987) a disponibilidade do P do FC foi 38,3% para poedeiras White Leghorn às 32 semanas. Tabelas de composição de alimentos e exigências nutricionais de aves reportam valores de 25,6% (NRC, 1994) e 43,1% (ROSTAGNO et al., 2011). Em estudos com frangos de corte, a  $D_{\text{verd}}$  do P para o FC variou de 39,0% (ADEOLA; APPLGATE, 2010; LESKE; COON, 1999) a 48,6% (MUTUCUMARANA et al., 2014). Nosso resultado de PE de P para o FC foi de - 344 mg/kg MSI, ou aproximadamente 22 mg diárias por ave. Ao nosso conhecimento, não há trabalho que tenha determinado as PE de P do FC para poedeiras, PE de -487 mg/kg MSI foram encontradas por MUTUCUMARANA et al. (2014) em frangos de corte.

Em relação ao FS, LEESON, S. et al. (1987) obtiveram  $D_{\text{verd}}$  do P de 38,9%, similar ao obtido (36,7%) no presente trabalho. Outras publicações informam valores de 45,0% (ROSTAGNO et al., 2011) e 41,5% (NRC, 1994), contudo essas últimas referem-se às aves de maneira geral. DILGER; ADEOLA (2006) relatam PE de P para o FS de 190 mg/kg de MSI para frangos em crescimento, próximo ao obtido em nosso trabalho (210 mg/kg de MSI). O aumento no catabolismo do P com aumento nas PE (SUTTLE, 2010), é uma particularidade do metabolismo do mineral na ave em postura. Nesse sentido, é importante a busca por dados de  $D_{\text{verd}}$  do P de ingredientes específicos para poedeiras.

Em nosso trabalho não foram observadas diferenças entre os farelos avaliados quanto às PE de P nem em relação à  $D_{\text{verd}}$ , o que pode ocorrer quando as dietas são formuladas com níveis inferiores à exigência de P disponível pelas aves (MUTUCUMARANA et al., 2014).

### *Efeito da idade da poedeira*

A literatura reporta poucos estudos que avaliaram a utilização do P em poedeiras à diferentes idades (BOLING et al., 2000; MAROUNEK; SKŘIVAN; DLOUHÁ; BŘEŇOVÁ, 2008a; NELSON, 1976). Neste trabalho (Figuras 2 e 3), não houve efeito da idade da poedeira (17 vs 32 semanas) com relação à  $D_{verd}$  do P do FC (22,9 vs 32,2%) ( $P=0,5266$ ) nem com relação às PE do mineral (-493 mg/kg MSI vs -344 mg/kg MSI) ( $P=0,1499$ ). Para o FS, no entanto, aves mais velhas foram mais eficientes ( $P=0,0089$ ) em aproveitar o P (-17,0 vs 36,7%) com menor PE do mineral ( $P=0,0515$ ) em relação às jovens (210 mg/kg MSI vs -1490 mg/kg MSI).

Tanto o FC quanto o FS possuem fatores antinutricionais, sendo no FC os glucosinolatos, taninos, sinapina, ácido fítico e oligossacarídeos (OS) os mais relevantes (KHAJALI; SLOMINSKI, 2012). No FS, destacam-se os polissacarídeos não-amiláceos e OS (CHOCT et al., 2010). Os OS rafinose e estaquiose, estão presentes em maior concentração no FS (5,6 vs 2,0%) e caracterizam-se pela baixa digestibilidade em aves (CHEN; PARSONS; BAJJALIEH, 2013). A concentração elevada de OS no intestino delgado produz um efeito osmótico, levando a retenção de fluidos com aumento na taxa de passagem, afetando a absorção de nutrientes (CHOCT et al., 2010). Em nosso trabalho, as concentrações de OS nas dietas baseadas em FC na recria e produção foram em média 1,2 e 1,1% e naquelas com FS, 3,8 e 3,6%, respectivamente. Acredita-se que a magnitude da diferença no teor de OS entre dietas com FS nas fases de recria e produção tenha contribuído para a melhora significativa na  $D_{verd}$  do P com redução nas PE. Essa magnitude foi considerável nos dois primeiros pontos de dados das curvas de regressão. No trabalho de CARRÉ; GOMEZ; CHAGNEAU (1995) a digestibilidade de PNA's foi maior em galos adultos do que em frangos, possivelmente pela adaptação da microflora intestinal pela produção de glucanases.

É sabido que galinhas poedeiras possuem fitase no trato gastrointestinal (ABUDABOS, 2012) e que há diferenças substanciais na magnitude da degradação do ácido fítico por essa enzima conforme o tipo de matéria-prima e quantidade (LESKE; COON, 1999; NRC, 1994). Adicionalmente, aves mais velhas hidrolisam o fitato mais eficientemente do que as jovens, pela maior atividade da fitase no proventrículo, mucosa intestinal e cecos, além do maior tempo de retenção da digesta e maturação das funções digestivas (MAROUNEK; SKŘIVAN; DLOUHÁ; BŘEZINA, 2008ab; SELLE; RAVINDRAN, 2007). A baixa solubilidade do substrato no intestino delgado, no entanto, desfavorece a digestão do fitato em condições específicas (COWIESON; WILCOCK; BEDFORD, 2011). Para o FS, supomos que as diferenças encontradas na  $D_{verd}$  e PE de P, estejam associadas ao tipo de ingrediente e seus fatores antinutricionais (OS), com maior solubilidade desse substrato na fase de postura, além da maior atividade da fitase no trato

gastrointestinal. Para o FC, a diferença numérica em nossos dados leva a crer que num momento de maior demanda de P, como a postura, as aves diminuem suas perdas endógenas e que a melhora na  $D_{verd}$  é provavelmente resposta à maior atividade da fitase no trato gastrointestinal.

#### 4.4 CONCLUSÕES

Os coeficientes de  $D_{verd}$  do P dos farelos de canola e soja obtidos para poedeiras na recria foram 22,9 e -17,0% com respectivos valores de perdas endógenas de - 493 e - 1490 mg/kg de matéria seca ingerida;

Para poedeiras na fase de postura, a  $D_{verd}$  do P foi de 32,2 e 36,7% para os farelos de canola e soja, respectivamente. As perdas endógenas de P foram de - 344 para o FC e 210 mg/kg de matéria seca ingerida para o farelo de soja;

Às 17 semanas, a excreção endógena de P em poedeiras Hy-Line Brown alimentadas com farelo de soja é maior em relação às alimentadas com farelo de canola;

A  $D_{verd}$  do P dos farelos de canola e soja é similar para poedeiras Hy-Line Brown às 32 semanas;

Poedeiras Hy-Line Brown às 32 semanas aproveitam o P do farelo de soja mais eficientemente do que às 17 semanas.

Tabela 10 - Digestibilidade da matéria seca (MS) e do fósforo (P) em poedeiras Hy-Line Brown na fase de recria alimentadas com dietas semipurificadas com níveis crescentes de P oriundos do farelo de canola

Variável	Nível P disponível, %				Epm <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>		
	0,092	0,137	0,183	0,229		Linear	Quadrático	Cúbico
	Atendimento à exigência, %							
	30	45	60	75				
Peso vivo, g	1497,1	1534,2	1543,3	1577,5	19,36	-	-	-
Consumo, g	595,3	643,3	727,5	682,7	24,93	0,1590	0,3698	0,4579
Excretas, g	515,4	730,3	1172,5	1367,5	81,24	<.0001	0,8963	0,1767
MS ing <sup>3</sup> , g	530,9	574,9	646,4	648,0	22,29	0,0660	0,6379	0,6085
MS excr, g	99,2	157,4	240,4	312,6	17,87	<.0001	0,2549	0,2022
D <sub>apa</sub> MS, %	80,9	70,7	62,3	51,3	2,56	<.0001	0,8501	0,6402
P ing <sup>4</sup> , g dia <sup>-1</sup>	0,500	0,815	1,204	1,443	0,08	<.0001	0,5744	0,4285
P excr, g dia <sup>-1</sup>	0,353	0,507	0,863	1,027	0,06	<.0001	0,9307	0,1229
P abs, g dia <sup>-1</sup>	0,131	0,404	0,297	0,436	0,05	0,0847	0,5164	0,1904
D <sub>apa</sub> P, %	26,6	31,0	33,4	27,7	4,05	0,8877	0,5748	0,8746
P endog, mg ave dia <sup>-1</sup>	32,7	35,4	39,8	39,9	1,37	0,0660	0,6379	0,6085
D <sub>verd</sub> P, %	39,7	39,7	40,1	33,2	4,05	0,6274	0,7028	0,8497

<sup>1</sup> Erro padrão da média; <sup>2</sup> Contrastes polinomiais, Probabilidade (P ≤ 0,05); <sup>3</sup> Referente a 4 dias; <sup>4</sup> Médias das seis unidades experimentais compostas por duas aves cada; Peso vivo inicial (P=0,1502). Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Tabela 11 - Digestibilidade da matéria seca (MS) e do fósforo (P) em poedeiras Hy-Line Brown na fase de recria alimentadas com dietas semipurificadas com níveis crescentes de P oriundos do farelo de soja

Variável	Nível P disponível, %				Epm <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>		
	0,092	0,137	0,183	0,229		Linear	Quadrático	Cúbico
	Atendimento à exigência, %							
	30	45	60	75				
Peso vivo, g	1504,2	1443,3	1548,8	1485,0	24,31	-	-	-
Consumo, g	504,2	491,7	474,2	486,7	19,2	0,6857	0,7533	0,8498
Excretas, g	501,8	745,4	1086,5	1205,8	64,2	<.0001	0,3110	0,2470
MS ing <sup>3</sup> , g	445,6	438,6	422,2	430,2	17,0	0,6837	0,8315	0,8364
MS excr <sup>4</sup> , g	77,6	127,8	189,8	191,7	10,8	<.0001	0,0036	0,0422
D <sub>apa</sub> MS, %	82,5	71,3	56,1	56,6	2,7	<.0001	0,0022	0,0173
P ing <sup>4</sup> , g dia <sup>-1</sup>	0,305	0,484	0,554	0,609	0,03	<.0001	0,1816	0,6437
P excr, g dia <sup>-1</sup>	0,215	0,316	0,539	0,635	0,04	<.0001	0,9613	0,2734
P abs, g dia <sup>-1</sup>	0,091	0,145	0,016	-0,067	0,03	0,0499	0,3009	0,4323
D <sub>apa</sub> P, %	31,0	31,8	5,4	-5,9	0,03	0,0093	0,5744	0,3783
P endog, mg ave dia <sup>-1</sup>	83,0	81,7	78,6	80,1	3,17	0,6837	0,8315	0,8363
D <sub>verd</sub> P, %	80,6	66,1	28,5	19,9	7,40	0,0004	0,7904	0,2940

<sup>1</sup> Erro padrão da média; <sup>2</sup> Contrastes polinomiais, Probabilidade (P ≤ 0,05); <sup>3</sup> Referente a 4 dias; <sup>4</sup> Médias das seis unidades experimentais compostas por duas aves cada; Peso vivo inicial (P=0,8283). Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Tabela 12 - Relação linear entre P excretado (g/kg de MS ingerida) e P dietético (g/kg de MS) dos farelos de canola e soja fornecidos em níveis crescentes para poedeiras Hy-Line Brown na fase de recria<sup>1</sup>

Ingrediente	Equação <sup>2</sup>	SE slope <sup>3</sup>	SE intercepto <sup>3</sup>	r <sup>2</sup>	PE (g/kg MSI) <sup>4</sup>	D <sub>Verd</sub> <sup>5</sup>
Farelo de canola	Y = 0,771X - 0,493	0,11	0,76	0,70	- 0,493	0,229
Farelo de soja	Y = 1,170X - 1,490	0,18	0,78	0,70	- 1,490	-0,170

<sup>1</sup> Valores representativos da média de 6 repetições (2 aves por repetição);

<sup>2</sup> Regressão linear do P excretado (g/kg de MS ingerida) contra o P dietético (g/kg de MS) determinada com poedeiras na fase de recria recebendo níveis crescentes de farelo de canola ou soja. O slope representa a indigestibilidade verdadeira e o intercepto representa as perdas endógenas de P (g/kg MSI);

<sup>3</sup> Erro padrão do slope e intercepto;

<sup>4</sup> Calculado como descrito em DILGER; ADEOLA (2006); Médias diferem (P=0,0214) quando comparadas por contrastes conforme ZARNOCH (2009);

<sup>5</sup> Digestibilidade verdadeira calculada como:  $D_{Verd} = (1 - 0,771) * 100 = 22,9\%$ ; Médias não diferem (P=0,0770) quando comparadas por contrastes conforme ZARNOCH (2009);

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Tabela 13 – Digestibilidade da matéria seca (MS) e do fósforo (P) em poedeiras Hy-Line Brown na fase de postura alimentadas com dietas semipurificadas com níveis crescentes de P oriundos do farelo de canola

Variável	Nível P disponível, %				Epm <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>		
	0,08	0,12	0,17	0,21		Linear	Quadrático	Cúbico
	Atendimento à exigência, %							
	30	45	60	75				
Peso vivo, g	1970,0	1975,8	1976,7	1975,8	35,88	-	-	-
Consumo, g	316,3	315,0	483,3	431,3	21,10	0,0018	0,4379	0,0155
Excretas, g	416,1	443,3	568,4	718,5	50,20	0,0010	0,1871	0,7603
MS ing <sup>4</sup> , g	268,6	275,4	424,6	378,7	18,85	0,0010	0,3552	0,0160
MS excr <sup>4</sup> , g*	71,0	78,2	125,3	156,4	12,37	<.0001	0,1556	0,2021
D <sub>apa</sub> MS, %	80,1	78,0	63,8	55,3	2,33	<.0001	0,1714	0,1469
P ing, g dia <sup>-1*</sup>	0,406	0,562	0,854	0,994	0,08	<.0001	0,7165	0,0163
P excr, g dia <sup>-1*</sup>	0,230	0,300	0,497	0,733	0,05	<.0001	0,0388	0,6229
P abs, g dia <sup>-1*</sup>	0,178	0,254	0,348	0,311	0,03	0,0560	0,2222	0,5037
D <sub>apa</sub> P, %	44,1	43,5	41,3	32,8	3,00	0,2158	0,5260	0,8699
P endog, mg ave dia <sup>-1</sup>	18,1	18,1	27,7	24,7	1,21	0,0018	0,4378	0,0155
D <sub>verd</sub> P, %	54,5	50,6	46,0	36,8	3,17	0,0555	0,6728	0,8834

<sup>1</sup> Erro padrão da média; <sup>2</sup> Contrastes polinomiais, Probabilidade (P≤ 0,05); <sup>3</sup> Composto por 6 unidades experimentais com duas aves cada; <sup>4</sup> Referente a 4 dias. Peso vivo inicial (P=0,9559); \*MS ingerida utilizada como covariável. Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Tabela 14 – Digestibilidade da matéria seca (MS) e do fósforo (P) em poedeiras Hy-Line Brown na fase de postura alimentadas com dietas semipurificadas com níveis crescentes de P oriundos do farelo de soja

Variável	Nível P disponível, %				Epm	P		
	0,08	0,12	0,17	0,21		Linear	Quadrático	Cúbico
	Atendimento à exigência, %							
	30	45	60	75				
Peso vivo, g	1969,2	1967,5	1925,8	1969,2	44,98	-	-	-
Consumo, g	301,9	322,1	418,0	426,2	16,11	0,0002	0,7962	0,1263
Excretas, g*	392,4	537,3	658,7	668,0	52,25	0,0091	0,1783	0,6928
MS ing <sup>4</sup> , g	253,8	270,8	362,8	366,4	14,43	0,0001	0,7381	0,0792
MS excr <sup>4</sup> , g*	56,8	82,2	116,9	112,6	8,96	0,0004	0,0473	0,1454
D <sub>apa</sub> MS, %*	85,7	75,0	63,3	63,2	2,04	<.0001	0,0038	0,0843
P ing, g dia <sup>-1</sup> *	0,291	0,387	0,570	0,608	0,05	<.0001	0,0002	<.0001
P excr, g dia <sup>-1</sup> *	0,192	0,265	0,386	0,379	0,03	0,0020	0,1871	0,2203
P abs, g dia <sup>-1</sup>	0,120	0,123	0,161	0,205	0,02	0,1211	0,4728	0,8257
D <sub>apa</sub> P, %	38,5	32,7	31,9	28,3	2,76	0,2343	0,8413	0,7467
P endog, mg ave dia <sup>-1</sup>	10,6	11,3	15,6	14,9	0,57	<.0001	0,3093	0,0108
D <sub>verd</sub> P, %	47,4	38,6	36,0	32,1	2,92	0,0763	0,6581	0,7570

<sup>1</sup> Erro padrão da média; <sup>2</sup> Probabilidade, nível de 5% de significância; <sup>3</sup> Composto por 6 unidades experimentais com duas aves cada; <sup>4</sup> Referente a 4 dias; Peso vivo inicial (P=0,9202). \*MS ingerida utilizada como covariável. Fonte: elaborado pela autora, 2017.



Tabela 15 – Relação linear entre P excretado (g/kg de MS ingerida) e P dietético (g/kg de MS) dos farelos de canola e soja fornecidos em níveis crescentes para poedeiras Hy-Line Brown na fase de postura<sup>1</sup>

Ingrediente	Equação <sup>2</sup>	SE slope <sup>3</sup>	SE intercepto <sup>3</sup>	r <sup>2</sup>	PE (g/kg MSI) <sup>4</sup>	D <sub>Verd</sub> <sup>5</sup>
Farelo de canola	$Y = 0,678X - 0,344$	0,09	0,58	0,71	- 0,344	0,322
Farelo de soja	$Y = 0,633X + 0,210$	0,10	0,44	0,64	0,210	0,367

<sup>1</sup> Valores representativos da média de 6 repetições (2 aves por repetição);

<sup>2</sup> Regressão linear do P excretado (g/kg de MS ingerida) contra o P dietético (g/kg de MS) determinada com poedeiras na fase de postura recebendo níveis crescentes de farelo de canola ou soja. O slope representa a indigestibilidade verdadeira e o intercepto representa as perdas endógenas de P (g/kg MSI);

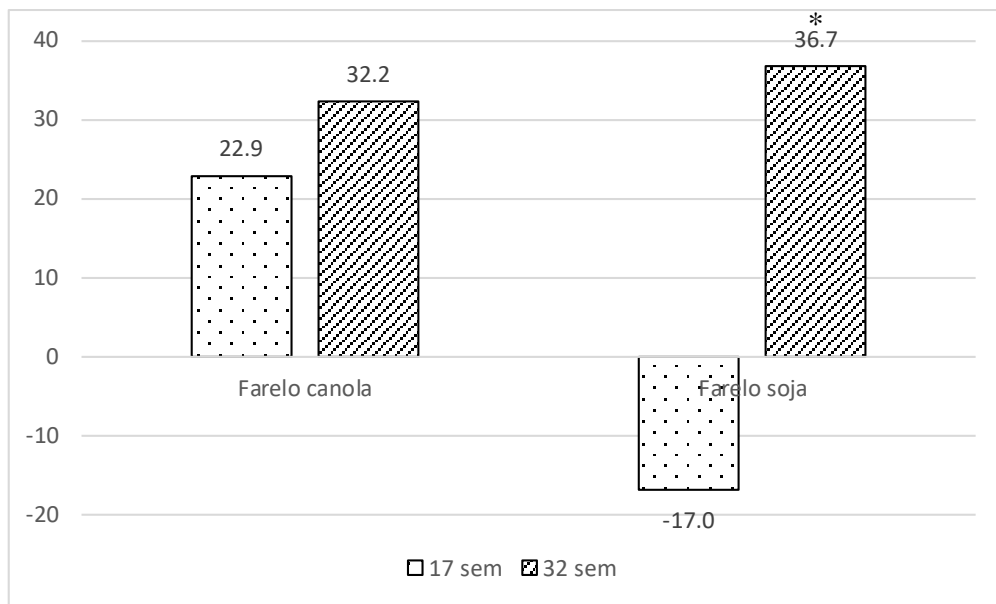
<sup>3</sup> Erro padrão do slope e intercepto;

<sup>4</sup> Calculado como descrito em DILGER; ADEOLA (2006); Médias não diferem (P=0,1827) quando comparadas por contrastes conforme ZARNOCH (2009);

<sup>5</sup> Digestibilidade verdadeira calculada como:  $D_{\text{Verd}} = (1 - 0,678) * 100 = 32,2\%$ ; Médias não diferem (P=0,7679) quando comparadas por contrastes conforme ZARNOCH (2009);

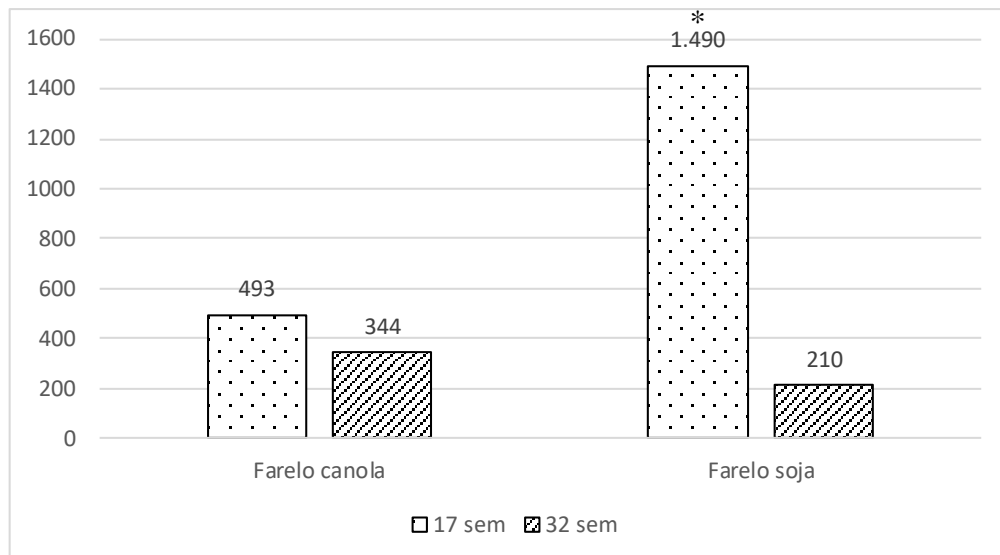
Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Figura 2 -  $D_{\text{verd}}$  (%) do P dos farelos de soja e canola para poedeiras nas fases de recria (17 sem) e produção (32 sem)



Fonte: elaborado pela autora, 2017. \*Efeito da idade da ave (P= 0,0089)

Figura 3 - PE (mg/kg MSI) do P dos farelos de soja e canola para poedeiras nas fases de recria (17 sem) e produção (32 sem)



Fonte: elaborado pela autora, 2017. \*Efeito da idade da ave (P= 0,0515)

#### 4.5 REFERÊNCIAS

ABUDABOS, A. M. Phytate phosphorus utilization and intestinal phytase activity in laying hens. **Italian Journal of Animal Science**, v. 11, p. 41-46, 2012.

ADEOLA, O.; APPLGATE, T. J. Phosphorus and calcium equivalency of phytase. 1st International Phytase Summit, 2010. Washington, D.C. p.45-64.

APPLGATE, T. J.; ANGEL, R. Nutrient requirements of poultry publication: History and need for an update. **The Journal of Applied Poultry Research**, v.23, n.3, p.567-575, 2014.

BOLING, S. D. et al. The effects of dietary available phosphorus levels and phytase on performance of young and older laying hens. **Poultry Science**, v. 79, n. 2, p. 224-230, 2000.

CANOLA COUNCIL. **CANOLA MEAL FEEDING GUIDE**, Winnipeg, Manitoba, 2015.  
Disponível em: <  
[http://www.canolacouncil.org/media/516716/2015\\_canola\\_meal\\_feed\\_industry\\_guide.pdf](http://www.canolacouncil.org/media/516716/2015_canola_meal_feed_industry_guide.pdf)>.  
Acesso em: 14/07/2016.

CARRÉ, B.; GOMEZ, J.; CHAGNEAU, A. M. Contribution of oligosaccharide and polysaccharide digestion, and excreta losses of lactic acid and short chain fatty acids, to dietary metabolisable energy values in broiler chickens and adult cockerels. **British Poultry Science**, v. 36, n. 4, p. 611-629, 1995.

CHEN, X.; PARSONS, C. M.; BAJJALIEH, N. Nutritional evaluation of new reduced oligosaccharide soybean meal in poultry. **Poultry Science**, v. 92, n. 7, p. 1830-1836, 2013.

CHOCT, M. et al. Soy Oligosaccharides and Soluble Non-starch Polysaccharides: A Review of Digestion, Nutritive and Anti-nutritive Effects in Pigs and Poultry. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 23, n. 10, p. 1386-1398, 2010.

COMPÊNDIO BRASILEIRO DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL. **Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal**. SINDIRAÇÕES, 2009.

COWIESON, A. J.; WILCOCK, P.; BEDFORD, M. R. Super-dosing effects of phytase in poultry and other monogastrics. **World's Poultry Science Journal**, v. 67, n. 2, p. 225-236, 2011.

DÄNNER, E. et al. Inevitable losses of phosphorus in growing male turkeys 8 and 12 weeks of age. **Archiv für Geflügelkunde**, v. 70, n. 1, p. 2-7, 2006.

DETMANN, E. et al. **Métodos para Análise de Alimentos**. 1. ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012. 214p.

DILGER, R. N.; ADEOLA, O. Estimation of true phosphorus digestibility and endogenous phosphorus loss in growing chicks fed conventional and low-phytate soybean meals. **Poultry Science**, v. 85, n. 4, p. 661-668, 2006.

FAN, M. Z. et al. Novel methodology allows simultaneous measurement of true phosphorus digestibility and the gastrointestinal endogenous phosphorus outputs in studies with pigs. **Journal of Nutrition**, v. 131, n. 9, p. 2388-2396, 2001.

FEEDIPEDIA. Animal feed resources information system. 2016. Disponível em: < <http://www.feedipedia.org/> >.

GONZÁLEZ-VEGA, J.C. et al. Endogenous intestinal losses of calcium and true total tract digestibility of calcium in canola meal fed to growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 91, p. 4807-4816, 2013.

HEMPEL, R.; STROBEL, E.; RODEHUTSCORD, M. Inevitable phosphorus losses of laying hens. **Proceedings of the Society of Nutrition Physiology**, 13, 31 (abs.), 2004.

HY-LINE. Feeding the Laying Hen. 20/05/2010 2010. Disponível em: < [http://www.hyline.com/redbook/Nutrition/Layer\\_nutrition.html](http://www.hyline.com/redbook/Nutrition/Layer_nutrition.html) >. Acesso em: 25/04/2013.

\_\_\_\_\_. Avanços na nutrição da poedeira moderna 2016. Disponível em: < <http://www.hyline.com/> >. Acesso em: 10/10/2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2016. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/> >. Acesso em: 20/06/2016.

KHAJALI, F.; SLOMINSKI, B. A. Factors that affect the nutritive value of canola meal for poultry. **Poultry Science**, v. 91, n. 10, p. 2564-2575, 2012.

LEESON, S.; ATTEHT, J. O.; SUMMERS, J. D. The replacement value of canola meal for soybean meal in poultry diets. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 67, p. 151-158, 1987.

LEESON, S.; CASTON, L.; D., S. J. Broiler response to diet energy. **Poultry Science**, v. 75, p. 529-535, 1996.

LEESON, S.; SUMMERS, J. D. **Commercial Poultry Nutrition**. 3.ed. Guelph: Context Products Ltd, 2005.

LESKE, K. L.; COON, C. N. A bioassay to determine the effect of phytase on phytate phosphorus hydrolysis and total phosphorus retention of feed ingredients as determined with broilers and laying hens. **Poultry Science**, v. 78, n. 8, p. 1151-1157, 1999.

LIU, J. B.; CHEN, D. W.; ADEOLA, O. Phosphorus digestibility response of broiler chickens to dietary calcium-to-phosphorus ratios. **Poultry Science**, v. 92, n. 6, p. 1572-1578, 2013.

LIU, J. B. et al. Comparison of two diet types in the estimation of true digestibility of phosphorus in soybean and canola meals for growing pigs by the regression method. **Livestock Science**, v. 167, 2014.

MAGUIRE, R. O. et al. Dietary Strategies for Reduced Phosphorus Excretion and Improved Water Quality. **Journal of Environmental Quality**, v. 34, n. 6, p. 2093-2103, 2005.

MAROUNEK, M. et al. Availability of phytate phosphorus and endogenous phytase activity in the digestive tract of laying hens 20 and 47 weeks old. **Animal Feed Science and Technology**, v. 146, n. 3-4, p. 353-359, 2008a.

MAROUNEK, M. et al. Digestibility of phosphorus in laying hens fed a wheat-maize-soyabean diet and the excreta phosphorus fractions. **Journal of Animal and Feed Sciences**, v. 17, p. 579-587, 2008b.

MBAJIORGU, C. A.; NGAMBI, J. W.; NORRIS, D. D. Voluntary feed intake and nutrient composition in chickens. **Asian Journal of Animal and Veterinary Advances**, v. 6, p. 20-28, 2011.

MUTUCUMARANA, R. K. et al. Measurement of true ileal digestibility and total tract retention of phosphorus in corn and canola meal for broiler chickens. **Poultry Science**, v. 93, n. 2, p. 412-419, 2014.

NELSON, T. S. The Hydrolysis of Phytate Phosphorus by Chicks and Laying Hens. **Poultry Science**, v. 55, n. 6, p. 2262-2264, 1976.

NRC. **Nutrient Requirements of Poultry**. Ninth Revised Edition. Washington , D.C: National Research Council, 1994. 157p.

\_\_\_\_\_. **National Research Council. Nutrient requirements of swine**. Washington, DC: National Academic Press, 1998.

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

RODRÍGUEZ, D. A. et al. Energy concentration and phosphorus digestibility in canola, cottonseed, and sunflower products fed to growing pigs. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 93, p. 493-503, 2013.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3.ed. Viçosa, MG.: UFV, DZO, 2011. 252p.

SAS. **Statistical Analysis System. SAS/INSIGHT User's guide.**. INSTITUTE, C. S. 2004.

SELLE, P. H.; RAVINDRAN, V. Microbial phytase in poultry nutrition. **Animal Feed Science and Technology**, v. 135, n. 1, p. 1-41, 2007.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos)**. 3.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009.

SOHAIL, S. S.; ROLAND, D. A. Influence of dietary phosphorus on performance of Hy-Line W36 Hens. **Poultry Science**, v. 81, n. 1, p. 75-83, 2002.

SUTTLE, N. F. **Mineral Nutrition of Livestock**. 4.ed., 2010.

TORKI, M.; HABIBIAN, M.; DAVOODIFAR, M. Response of laying hens to diet inclusion of canola meal as influenced by dietary nonphytate phosphorus level and microbial phytase supplementation. **Journal of Livestock Science and Technologies**, v. 3, n. 2, p. 1-12, 2015.

TRAN, G.; SAUVANT, D. Chemical data and nutritional value. In: WAGENINGEN ACADEMIC PUBLISHERS, W., THE NETHERLANDS AND INRA EDITIONS, VERSAILLES, FRANCE. (Ed.). **Tables of composition and nutritional value of feed materials: Pigs, poultry, cattle, sheep, goats, rabbits, horses, fish**. 2nd, 2004. cap. 17-24,

VAN SOEST, P. J. **Nutritional Ecology of the Ruminant**. Comstock Pub., 1994.

WARD, A. K.; CLASSEN, H. L.; BUCHANAN, F. C. Fishy-egg tainting is recessively inherited when brown-shelled layers are fed canola meal. **Poultry Science**, v. 88, n. 4, p. 714-721, April 1, 2009 2009.

WOYENGO, T. A.; NYACHOTI, C. M. Review: anti-nutritional effects of phytic acid in diets for pigs and poultry – current knowledge and directions for future research. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 93, 2013.

ZARNOCH, S. J. **Testing hypotheses for differences between linear regression lines**. Research Note SRS-17. United States Department of Agriculture, Forest Service, Ashville, North Carolina, 2009.

## 5 CAPÍTULO III – PERDAS ENDÓGENAS E DIGESTIBILIDADE VERDADEIRA DO FÓSFORO DOS FARELOS DE SOJA E CANOLA PARA SUÍNOS

### 5.1 INTRODUÇÃO

Suínos são animais ineficientes em digerir o fósforo (P) de alimentos de origem vegetal, nos quais 65 a 85% do mineral estão na forma fítica (ADEOLA; SANDS, 2003). Essa inabilidade resulta da ausência de produção da enzima fitase pelo trato gastrointestinal, a qual é capaz de hidrolisar o ácido fítico tornando o P disponível (ALMEIDA; STEIN, 2010).

Na suinocultura, mais da metade da composição das rações utilizadas é constituída por ingredientes vegetais, sendo o milho e o farelo de soja (FS) as principais fontes. No Brasil, o FS é a principal fonte de proteína dietética possuindo perfil e digestibilidade de aminoácidos já conhecidos. Em se tratando do P total, o FS contém cerca de 0,5% na base natural (ROSTAGNO et al., 2011) e coeficiente de digestibilidade aparente ( $D_{\text{apa}}$ ) de aproximadamente 38% (AKINMUSIRE; ADEOLA, 2009).

A  $D_{\text{apa}}$  consiste na diferença entre a quantidade de P total na dieta e nas fezes, enquanto que a digestibilidade verdadeira ( $D_{\text{verd}}$ ) considera as perdas endógenas totais de P, que são subtraídas da quantidade do mineral nas fezes. Esse último conceito é preferível de ser adotado nas formulações, pois representa o real aproveitamento do P pelo animal. Por último, a digestibilidade padronizada considera as perdas endógenas basais, sendo a atualização mais recente em termos de digestibilidade do P para suínos (NUTRIENT REQUIREMENTS OF SWINE, 2012).

Na ausência de informações sobre coeficientes de digestibilidade do P, principalmente de ingredientes menos usuais, torna-se necessário utilizar fontes inorgânicas para atender certa exigência nutricional. Na suinocultura, o fosfato bicálcico, a fonte mais utilizada, é, no entanto, de custo elevado e em quantidades excessivas causa aumento da excreção de P (JONGBLOED, 2008).

O método da regressão, revisado por FAN et al. (2001), permite mensurar simultaneamente a  $D_{\text{verd}}$  do P e suas perdas endógenas. Dietas baseadas na  $D_{\text{verd}}$  melhoram a aditividade dos valores para coeficientes de digestibilidade do P (ALMEIDA; STEIN, 2010), o que permite uma formulação mais ajustada à exigência, contribuindo para uma redução na excreção de P no ambiente.

Nos últimos anos, a produção de farelo de canola (FC), oriundo da extração do óleo da semente, tem aumentado significativamente no Brasil (IBGE, 2015). Por seu teor de proteína e P ao redor de 38% e 1,0% (FEEDIPEDIA, 2016; ROSTAGNO et al., 2011), respectivamente, esse ingrediente é um alimento com interessante potencial para uso em dietas de suínos. São poucos os estudos que determinaram a  $D_{\text{verd}}$  do P de ingredientes para suínos pelo método de regressão e há uma carência desses dados para o FC produzido no Brasil.



O objetivo do presente trabalho foi determinar as perdas endógenas e a  $D_{\text{verd}}$  do P do FS e do FC para suínos na fase de crescimento-terminação.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética em Uso de Animais do Instituto Federal Catarinense - Campus Concórdia, parecer nº 08/2015 e foi conduzido conforme padrões técnicos de ética e biossegurança.

Os experimentos foram conduzidos no Setor de Suínos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), no período de junho a julho de 2015. Dois ensaios de digestibilidade foram realizados utilizando 22 suínos machos castrados de linhagem comercial na fase de crescimento-terminação.

No primeiro ensaio, doze suínos com peso vivo médio de  $61,5\text{kg} \pm 5,0$  foram distribuídos às dietas experimentais (FC) conforme um delineamento em blocos casualizados, constituído de três tratamentos (FC<sub>30</sub>, FC<sub>45</sub>, FC<sub>60</sub>) e dois períodos consecutivos, totalizando seis repetições, sendo o animal considerado a unidade experimental. No segundo ensaio, outros doze animais com peso vivo médio de  $76,9\text{kg} \pm 7,8$  foram alocados aos tratamentos para avaliar a  $D_{\text{verd}}$  do P do FS (FS<sub>30</sub>, FS<sub>45</sub>, FS<sub>60</sub>, FS<sub>75</sub>) também em um delineamento em blocos ao acaso composto de quatro tratamentos.

As dietas experimentais (Tabela 16) foram formuladas para atender 30, 45, 60 ou 75% da exigência de P disponível recomendada por (ROSTAGNO et al., 2011). No ensaio com FC foram avaliados três níveis de inclusão do ingrediente e, no ensaio com FS, quatro níveis. Em todas as dietas o ingrediente avaliado (FC ou FS) representou a única fonte de P disponível, de forma que amido, açúcar e óleo foram as fontes de energia, o calcário calcítico constituiu a fonte de cálcio (Ca), o sal comum a de cloreto de sódio (NaCl) e um premix foi incorporado para atender as exigências de microminerais e vitaminas. Para a formulação das dietas, os teores de matéria seca (MS), energia bruta (EB), extrato etéreo (EE), proteína bruta (PB), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), P e Ca do FS e do FC foram analisados em laboratório, bem como o nível de Ca e MS do calcário calcítico.

Tabela 16 - Composição centesimal e calculada das dietas experimentais<sup>1</sup>

Ingrediente, %	Nível P disponível						
	0,081	0,121	0,161	0,202	0,081	0,121	0,161
	Atendimento à exigência <sup>1</sup> , %						
	30	45	60	30	45	60	75
Farelo soja	-	-	-	38,0	59,6	82,0	90,4
Farelo canola	30,6	46,0	63,6	-	-	-	-
Amido	60,5	44,9	27,05	52,9	31,3	8,5	-
Açúcar	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Óleo de soja	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Calcário	0,5	0,7	0,9	0,65	0,85	1,1	1,2
Sal comum	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Premix suínos <sup>2</sup>	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Total	100	100	100	100	100	100	100
EM, kcal kg <sup>-1</sup>	3421,2	3311,7	3185,8	3506,3	3443,0	3363,2	3335,1
P disponível, %	0,081	0,122	0,169	0,082	0,129	0,178	0,196
Cálcio dig, %	0,232	0,338	0,441	0,229	0,309	0,405	0,443
Ca/P disponível	2,85	2,76	2,61	2,76	2,38	2,27	2,25

<sup>1</sup> Exigência de P disponível de 0,269% conforme Rostagno et al. (2011); <sup>2</sup> Níveis por quilograma de produto: Ácido Fólico, mín 130 mg; Ácido Pantotênico, mín 1.700 mg; Biotina, mín 7 mg; Cobalto, mín 95 mg; Cobre, mín 30 g; Colina, mín 26 g; Ferro, mín 19 g; Iodo, mín 270 mg; Óxido de manganês, 13 g; Niacina, mín 2.600mg; Selênio, mín 85 mg; Virgiamicina, 1.100mg; Vitamina A, mín 1.900.000 UI; Vitamina B1, mín 170 mg; Vitamina B12, mín 3.500 mcg; Vitamina B2, mín 600 mg; Vitamina B6, mín 260 mg; Vitamina D3, mín 260.000 UI; Vitamina E, mín 10.000 UI; Vitamina K3, mín 350 mg; Zinco, mín 29 g. Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Os suínos foram individualmente alojados em gaiolas metabólicas durante nove dias, sendo cinco para adaptação ao ambiente, rotina experimental e dietas e quatro para coleta total de fezes. As gaiolas eram mantidas em sala climatizada com temperatura média de 19,4 °C ± 3,4.

As rações foram fornecidas conforme o peso metabólico (PV<sup>0,6</sup>). A quantidade diária foi ajustada à estimativa do ganho de peso médio diário, considerando um consumo de 2,6 vezes a manutenção, estimada em 250 kcal EM/kg PV<sup>0,6</sup> (NOBLET; SHI; DUBOIS, 1993). O alimento foi distribuído em quatro refeições diárias (7:30, 10:30, 13:30, 16:30hs) e o acesso à água foi livre através de bebedouro *bite ball*.

As fezes totais foram coletadas duas vezes ao dia, pesadas, acondicionadas em sacos plásticos e conservadas em freezer a -15°C. O início e o final da coleta foram determinados pelo aparecimento de fezes marcadas através da incorporação à ração de 1% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fornecido na primeira refeição diária. Em caso de sobras de alimento, essas foram coletadas de cada unidade experimental 30 min após a última refeição diária. Ao término de cada ensaio, as fezes e sobras foram homogeneizadas, secas em estufa de ventilação forçada (55 °C por 72 h) e moídas para análises posteriores.

Nas dietas e fezes foram analisados, em duplicata, o conteúdo de matéria seca (MS), matéria mineral (MM) e fósforo total (Pt) de acordo com técnicas descritas em (SILVA; QUEIROZ, 2009) e (COMPÊNDIO BRASILEIRO DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL, 2009). Para a análise de Pt foi utilizado o método colorimétrico, o qual fundamenta-se em ataque ácido e à quente da amostra e posterior formação de um complexo colorido entre o fosfato e os reagentes vanadato e molibdato de amônio, de cor amarela (COMPÊNDIO BRASILEIRO DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL, 2009). Nas leituras em absorvância, também em duplicata, foi utilizado o comprimento de onda de 400nm. O cálculo do teor de P total presente na amostra foi conforme DETMANN et al. (2012).

Para mensurar a  $D_{verd}$  e as perdas endógenas totais do P do FS e do FC foi utilizado o método de regressão (FAN et al., 2001). A estimativa das perdas endógenas por esse método depende de estabelecer uma relação linear entre o nutriente excretado ou digerido e seu consumo. Assim, o conteúdo de P endógeno fecal é o intercepto da regressão e seu slope representa a estimativa da digestibilidade verdadeira, conforme o modelo estatístico:

$$\mathbf{P\ digerido = (D_{verd} \times P_{ing}) - PE}$$

$D_{verd}$  = slope da regressão – representa a estimativa de  $D_{verd}$  do P;

PE = intercepto negativo da regressão – representa a estimativa das perdas endógenas.

Para a obtenção do coeficiente de digestibilidade aparente do P das dietas, foram utilizados os cálculos:

Matéria seca ingerida ( $MS_{ing}$ ) = Ração fornecida (g) \* MS ração (%) – Sobras (g) \* MPS sobras (%);

Fezes produzidas = Fezes (g) \* MST fezes (%)

Coeficiente de digestibilidade aparente do P =  $(P_{ing} - P_{excr}) / P_{ing} * 100$

As perdas endógenas totais de P foram estimadas através da regressão do P excretado em g/Kg de matéria seca ingerida (variável dependente) contra a variável independente P dietético (g/kg de matéria seca). O valor obtido no intercepto ( $PE_{totais}$ ) foi multiplicado pelo consumo de matéria seca, expresso em kg, de cada unidade experimental. Os coeficientes de digestibilidade verdadeira do P das dietas foram calculados através da equação (GONZÁLEZ-VEGA et al., 2013):

$$D_{verd} P = D_{apa} (\%) + [(PE_{totais} (g/kg MS_{ing}) / P \text{ dietético (g/kg MS)}) * 100]$$

Os dados foram analisados conforme um delineamento em blocos ao acaso através do procedimento GLM do (SAS, 2004). O procedimento UNIVARIATE foi utilizado para identificar outliers e os valores considerados foram aqueles que desviaram da média do tratamento por mais de 3 ou menos de 1,5 vezes o intervalo interquartil. No modelo estatístico foram incluídos os efeitos de tratamento (nível de P disponível), animal e período, sendo a gaiola considerada a unidade experimental para todas as análises. O procedimento LSMEANS foi usado para calcular as médias dos tratamentos e contrastes polinomiais ortogonais foram utilizados para determinar os efeitos (linear, quadrático ou cúbico) dos níveis de P nas variáveis estudadas; valores de  $P \leq 0,05$  foram considerados significativos. O procedimento REG foi utilizado para a estimativa das perdas endógenas de P e da digestibilidade verdadeira do mineral. Hipóteses foram testadas para verificar possíveis diferenças entre os slopes e interceptos das equações lineares (FS e FC), (ZARNOCH, 2009).

### 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição analisada dos farelos de canola e soja utilizados no presente estudo está apresentada na tabela 17. Com base na concentração de MS, o FC possui mais P total e Ca do que o FS, além disso, maiores teores de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), extrato etéreo (EE) e energia bruta (EB) são encontrados no FC. Farelos de oleaginosas possuem de 60 a 75% do P total como P-fítico (NRC, 1998) e contêm baixa atividade intrínseca de fitase, menor que 70 FTU/kg (RODRÍGUEZ et al., 2013). Para ambos farelos utilizados em nosso estudo, esses resultados são condizentes com aqueles encontrados nas principais tabelas de composição de alimentos (FEEDIPEDIA, 2016; ROSTAGNO et al., 2011).

Tabela 17 – Composição analisada e calculada dos farelos de canola e soja<sup>1</sup>

Item	Farelo de canola	Farelo de soja
Matéria seca, %	87,8	87,7
Proteína bruta, %	37,6	47,1
Energia bruta, kcal kg <sup>-1</sup>	4.365	4.347
Extrato etéreo, %	2,9	2,0
Fibra detergente neutro, %	29,9	14,9
Fibra detergente ácido, %	20,3	5,3
Matéria mineral, %	6,8	6,9
Cálcio, %	0,69	0,25
Fósforo total, %	1,08	0,64
Fitato <sup>2</sup> , %	2,60	1,40
Fósforo fítico <sup>3</sup>	0,73	0,39
Fósforo não-fítico <sup>4</sup> , %	0,35	0,25
Fósforo não-fítico, % P total	32,4	39,0

<sup>1</sup> Valores expressos na base natural;

<sup>2</sup> Conforme RODRÍGUEZ et al. (2013);

<sup>3</sup> Corresponde a 28,2% do fitato (TRAN; SAUVANT, 2004);

<sup>4</sup> Diferença entre P total e P fítico;

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Durante os experimentos os suínos permaneceram saudáveis, consumiram as dietas fornecidas e as fezes puderam ser coletadas sem dificuldade.

Os resultados de digestibilidade da matéria seca (MS) e do P para os suínos alimentados com níveis crescentes de FC ou FS estão apresentados nas tabelas 18 e 19, respectivamente. O consumo de MS aumentou linearmente ( $P=0,0041$ ) de acordo com o nível de FC na dieta. Para o FS, o consumo ( $P=0,0002$ ) e a excreção de MS ( $P=0,0422$ ) aumentaram linearmente, mas a digestibilidade reduziu (99 para 95%) ( $P=0,0326$ ) conforme o nível do ingrediente na dieta.

O aumento no consumo de MS das dietas com FC ou FS é reflexo do fornecimento da quantidade de alimento baseada no peso metabólico dos suínos e na energia metabolizável da ração. Para ambos farelos, a maior excreção de MS conforme o nível dietético do ingrediente ocorreu pela substituição do amido de milho, de alta digestibilidade, pelo alimento avaliado, menos digestível, reduzindo o CDMS (DILGER; ADEOLA, 2006). É interessante notar que não ocorreu diminuição significativa ( $P>0,05$ ) no CDMS das dietas com FC, o que acredita-se ser uma resposta sobretudo matemática, do que fisiológica. De qualquer forma, as mudanças nos CDMS são indicativo de que os níveis crescentes de proteína bruta, cálcio e P das dietas não afetaram a funções digestivas normais (FAN et al., 2001).

O consumo diário de P aumentou linearmente ( $P=0,0039$ ) com a quantidade de FC nas dietas, ocorrendo o mesmo para o P endógeno ( $P=0,0043$ ). As quantidades de P excretado e absorvido e os coeficientes de  $D_{\text{apa}}$  e  $D_{\text{verd}}$  não foram influenciados ( $P>0,05$ ) pelo nível do ingrediente. Em relação ao FS, a ingestão ( $P<0,0001$ ), a absorção ( $P=0,0601$ ) e as PE de P ( $P=0,0005$ ) responderam linearmente ao nível do ingrediente na dieta e a excreção de P apresentou comportamento cúbico

( $P=0,0426$ ). As digestibilidades aparente e verdadeira do P não foram modificadas ( $P>0,05$ ) com as quantidades dietéticas de FS.

Para ambos farelos, o aumento linear no consumo de P foi uma resposta esperada em função da formulação de dietas sequenciais com níveis crescentes do mineral, os quais foram estabelecidos pela substituição do amido de milho pelo ingrediente avaliado (AKINMUSIRE; ADEOLA, 2009). Apesar do aumento na secreção endógena de P, justificada provavelmente pelo consumo de ácido fítico (WOYENGO; NYACHOTI, 2013) e FDN (WILFART et al., 2006), as digestibilidades aparente e verdadeira do P não foram modificadas, tanto para o FC quanto para o FS. Da mesma forma, AKINMUSIRE; ADEOLA (2009) não encontraram influência dos níveis de FC ou FS sobre a  $D_{\text{apa}}$  do P e esses coeficientes obtidos em nosso trabalho foram superiores aos desses autores para ambos ingredientes (FC: 53 vs 29%; FS – 77 vs 36%). RODRÍGUEZ et al. (2013) determinaram a  $D_{\text{apa}}$  do P do FC e do FS e obtiveram coeficientes de 52 e 56%, respectivamente, considerando suínos de 13,7kg de peso inicial. Dentre outros motivos discutidos posteriormente, pressupõe-se que o uso de calcário como fonte de Ca suplementar nas dietas de nossos ensaios, possa ter reduzido a mobilização de Ca dos ossos com redução na excreção de P (MUTUCUMARANA et al., 2014). No trabalho de AKINMUSIRE; ADEOLA (2009), as únicas fontes de Ca eram os ingredientes, avaliados e RODRÍGUEZ et al. (2013) também utilizaram calcário nas formulações, resultando em maior digestibilidade aparente. O valor negativo de P excretado (-0,88) obtido para os suínos alimentados com FC ocorreu devido a quantidade de P nas fezes ter sido maior do que a ingerida (YANG et al., 2007) e pode sugerir uma propriedade antagonista do ingrediente teste para a absorção de nutrientes (GUIMARÃES et al., 2012).

Para o FS, o comportamento cúbico dos dados de excreção de P, é possivelmente uma resposta à relação Ca:P da dieta (2,25:1), pois o estreitamento dessa relação reduz a excreção do mineral, com aumento da absorção (QIAN; KORNEGAY; CONNER, 1996). A variabilidade de respostas entre animais quanto à  $D_{\text{apa}}$  do P do FC e do FS, contudo, influenciou na ausência de significância do nível desses ingredientes sobre os coeficientes de  $D_{\text{apa}}$  e  $D_{\text{verd}}$ .

No presente estudo relações lineares consistentes entre o P digerido e P ingerido foram observadas (Figura 4), tanto para o FC ( $r^2=0,60$ ) quanto para o FS ( $r^2=0,90$ ), atendendo à condição necessária do método de regressão (FAN et al., 2001). As perdas endógenas totais (PE) estimadas pela análise de regressão foram de - 471 e - 457 mg/kg de MSI para o FC e FS, sendo os coeficientes de  $D_{\text{verd}}$  do P de 65,0% para o FC e 85,0% para o FS (Tabela 20).

O coeficiente de  $D_{\text{verd}}$  do P para o FC obtido em nosso trabalho (65,0%) foi superior ao encontrado por RODEHUTSCORD ; FAUST; HOF (1997) – 24%, AKINMUSIRE; ADEOLA (2009) – 34%, ROSTAGNO et al. (2011) – 35,2% e ADHIKARI; HEO; NYACHOTI (2015) – 33%. Quanto às PE de P, nosso resultado (-471 mg/kg MSI) encontra-se dentro da faixa reportada

por esses autores, 101 a 665mg/kg de MSI. Para o FS, FAN et al. (2001) encontraram  $D_{\text{verd}}$  do P de 48,5% e DILGER; ADEOLA (2006) de 44,5%. Posteriormente, FANG et al. (2007) obtiveram  $D_{\text{verd}}$  do P de 49,4% e AKINMUSIRE; ADEOLA (2009) encontraram um coeficiente de 41%. As estimativas de PE de P reportadas nessas publicações variaram de 48 a 620 mg/kg de MSI. No presente estudo, o coeficiente de  $D_{\text{verd}}$  do P obtido para o FS foi superior (85,0%) ao das publicações citadas e as PE de P (-457 mg/kg MSI) estão compreendidas entre as mencionadas.

A digestibilidade de nutrientes em suínos pode ser influenciada por características do alimento (composição química e processamento), por procedimentos experimentais (método de coleta e nível de alimentação) e por fatores intrínsecos ao animal (genótipo, estágio fisiológico, sexo e peso) (LE GOFF; NOBLET, 2001; NOBLET; SHI, 1994). Dados da literatura indicam que a digestibilidade do P em suínos aumenta com o peso corporal (LÉTOURNEAU-MONTMINY et al., 2012). Isso pode estar relacionado ao tempo em que o alimento permanece no trato digestório e é exposto às ações microbiana e enzimática (CUNNINGHAM et al., 1962) ou à maturidade do trato digestório na sua capacidade fisiológica de absorção (LAPLACE; AUMAITRE; RERAT, 2001). O peso vivo médio dos suínos utilizados nos nossos ensaios foi 61 kg (FC) e 76 kg (FS), em contrapartida animais mais leves (média de 16kg) foram utilizados nas publicações previamente citadas. É provável que o peso vivo dos suínos utilizados no presente estudo tenha influenciado na digestão do P para os farelos de canola e soja, o que justifica a divergência de nossos dados em relação aos da literatura.

As PE de P dependem da concentração dietética do mineral (JONGBLOED, 2008) e essas estimativas são bastante variáveis com o método da regressão (DILGER; ADEOLA, 2006). Adicionalmente, algumas publicações determinaram a  $D_{\text{verd}}$  do P com o uso de dietas purificadas, altamente digestíveis e com nível de P mínimo ou ausente. Quando o consumo de P é consideravelmente menor do que a exigência, PE baixas são esperadas (JONGBLOED et al., 1991). Nesse sentido, maior PE de P ocorre quando há uso de dietas comerciais típicas ou aquelas com ingredientes que contenham fatores antinutricionais (PETTEY; CROMWELL; LINDEMANN, 2006). Ambos farelos utilizados em nosso trabalho possuem fatores antinutricionais, como glucosinolatos, taninos, sinapina, ácido fítico e oligossacarídeos (OS) no FC (KHAJALI; SLOMINSKI, 2012) e polissacarídeos não-amiláceos e OS no FS (CHOCT et al., 2010).

Menor  $D_{\text{verd}}$  do P no FC em relação ao FS foi relatada nos trabalhos de RODEHUTSCORD et al. (1997); SAUER et al. (2003) e AKINMUSIRE; ADEOLA (2009), o que corrobora com nossos resultados, nos quais a  $D_{\text{verd}}$  do P do FS (85%) foi superior ( $P=0,0149$ ) à do FC (65%). A estrutura, forma e local da fitina nas leguminosas podem determinar a proporção das interações com outros nutrientes, sendo o teor de ácido fítico um dos principais contribuintes para a variação na digestibilidade do P (ADEOLA; SANDS, 2003). As PE de P, no entanto, não diferiram entre os

farelos de canola e soja ( $P=0,4370$ ). Apesar de existir uma relação do peso corporal do suíno com PE de P (RODEHUTSCORD et al., 1997), de modo que animais mais pesados excretam mais P por essa via (BIKKER et al., 2016; PETTEY; CROMWELL; LINDEMANN, 2006), provavelmente os níveis de consumo de P inferiores à exigência contribuíram para a similaridade de PE de P entre os animais alimentados com FC ou FS. Ainda assim, devido ao fato de as PE terem influência dos ingredientes da dieta (STEIN et al., 2007), menores PE de P eram esperadas para o FS, o que foi observado (457 vs 471 mg/kg MSI) em nosso trabalho.

#### 5.4 CONCLUSÕES

Os coeficientes de  $D_{\text{verd}}$  do P dos farelos de canola e soja obtidos para suínos na fase de crescimento - terminação foram 65,0 e 85,0% com respectivas perdas endógenas de - 471 e - 457 mg/kg de matéria seca ingerida;

Suínos na fase de crescimento-terminação aproveitam o fósforo do farelo de soja mais eficientemente do que o oriundo do farelo de canola.



Tabela 18 – Digestibilidade da matéria seca (MS) e do fósforo (P) em suínos na fase de crescimento-terminação alimentados com dietas semipurificadas com níveis crescentes de P oriundos do farelo de canola

Variável	Nível de P disponível, %			Epm <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>	
	0,081	0,121	0,161		Linear	Quadrático
	Atendimento à exigência, %					
	30	45	60			
Peso vivo <sup>3</sup> , kg	61,20	61,20	62,06	1,22	-	-
Consumo, kg	13,737	14,247	14,976	0,22	0,0052	0,5070
Fezes*, g	1580,0	4670,0	6220,0	360,0	0,4183	0,5108
MS ing <sup>4</sup> , kg	12,050	12,465	13,105	0,19	0,0041	0,3985
MS excr*, g	380,0	1490,0	2230,0	100,00	0,1834	0,4323
D <sub>apa</sub> MS*, %	97,4	88,0	81,7	0,73	0,1633	0,4077
P ing <sup>5</sup> , g dia <sup>-1*</sup>	7,51	10,33	13,78	0,85	0,0039	0,0653
P excr, g dia <sup>-1*</sup>	-0,88	5,89	11,30	0,56	0,1251	0,5747
P abs, g dia <sup>-1*</sup>	8,38	4,45	2,49	0,68	0,3713	0,4631
D <sub>apa</sub> P, %	64,1	41,2	52,5	4,07	0,3969	0,1932
P endog, mg sui dia <sup>-1</sup>	271,1	280,5	294,8	4,24	0,0043	0,4049
D <sub>verd</sub> P, %	68,2	43,9	54,4	4,09	0,3281	0,1873

<sup>1</sup> Erro padrão da média; <sup>2</sup> Contrastes polinomiais ortogonais, Probabilidade (P ≤ 0,05); <sup>3</sup> Peso vivo inicial (P=0,5878); <sup>4</sup> Referente a 6 dias; <sup>5</sup> Médias das seis unidades experimentais compostas por um suíno cada; \* MS ingerida utilizada como covariável. Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Tabela 19 – Digestibilidade da matéria seca (MS) e do fósforo (P) em suínos na fase de crescimento-terminação alimentados com dietas semipurificadas com níveis crescentes de P oriundos do farelo de soja

Variável	Nível P disponível, %				Epm <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>		
	0,081	0,121	0,161	0,202		Linear	Quadrático	Cúbico
	Atendimento à exigência, %							
	30	45	60	75				
Peso vivo <sup>3</sup> , kg	77,63	77,33	76,16	76,58	1,59	-	-	-
Consumo, kg	15,390	15,772	16,138	16,335	0,21	<.0001	0,5301	0,7338
Fezes, g	809,0	1269,0	2363,0	2222,0	180,0	0,0021	0,5461	0,1706
MS ing <sup>4</sup> , kg	13,500	13,702	13,978	14,040	0,18	0,0002	0,5301	0,4047
MS excr <sup>4</sup> , g*	129,0	303,0	652,0	647,0	30,0	0,0422	0,4399	0,1770
D <sub>apa</sub> MS*, %	99,3	97,8	95,2	95,3	0,26	0,0326	0,3700	0,1584
P ing <sup>5</sup> , g dia <sup>-1*</sup>	5,87	8,84	11,97	13,31	0,67	<.0001	0,0003	0,0014
P excr, g dia <sup>-1*</sup>	0,83	1,13	3,47	2,75	0,69	0,0985	0,5799	0,0426
P abs*, g dia <sup>-1*</sup>	3,93	6,91	9,25	10,21	0,64	0,0601	0,2571	0,8191
D <sub>apa</sub> P, %*	59,6	83,5	79,9	84,5	1,92	0,2691	0,1234	0,1598
P endog, mg sui dia <sup>-1</sup>	1168,5	1189,1	1214,0	1216,4	15,31	0,0005	0,4569	0,3988
D <sub>verd</sub> P, %	82,9	97,2	88,6	91,5	1,36	0,2188	0,2148	0,1242

<sup>1</sup> Erro padrão da média; <sup>2</sup> Contrastes polinomiais ortogonais, Probabilidade (P ≤ 0,05); <sup>3</sup> Peso vivo inicial (P=0,9557); <sup>4</sup> Referente a 6 dias; <sup>5</sup> Médias das seis unidades experimentais compostas por um suíno cada; \* MS ingerida utilizada como covariável. Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Tabela 20 – Relação linear entre P digerido (g/kg de MS ingerida) e P dietético (g/kg de MS) dos farelos de canola e soja fornecidos em níveis crescentes para suínos na fase de crescimento-terminação<sup>1</sup>

Ingrediente	Equação <sup>2</sup>	SE slope <sup>3</sup>	SE intercepto <sup>3</sup>	r <sup>2</sup>	PE (g/kg MSI) <sup>4</sup>	D <sub>Verd</sub> <sup>5</sup>
Farelo de canola	Y = 0,646X - 0,471	0,13	0,66	0,60	- 0,471	0,646
Farelo de soja	Y = 0,854X - 0,457	0,06	0,27	0,90	- 0,457	0,854

<sup>1</sup>Valores representativos da média de 6 repetições com 1 suíno cada;

<sup>2</sup>Regressão linear do P digerido (g/kg de MS ingerida) contra o P dietético (g/kg de MS) determinada com suínos na fase de crescimento-terminação recebendo níveis crescentes de farelo de canola ou soja. O slope representa a digestibilidade verdadeira e o intercepto representa as perdas endógenas de P (g/kg MSI);

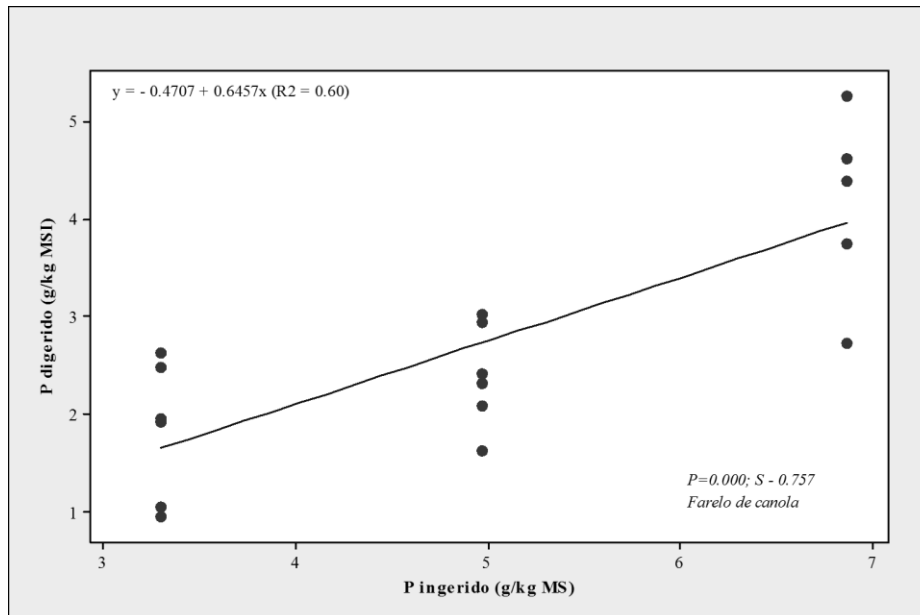
<sup>3</sup>Erros padrão do slope e intercepto;

<sup>4</sup> Calculado como descrito em DILGER; ADEOLA (2006); Médias não diferem (P=0,4370) quando comparadas por contrastes conforme ZARNOCH (2009);

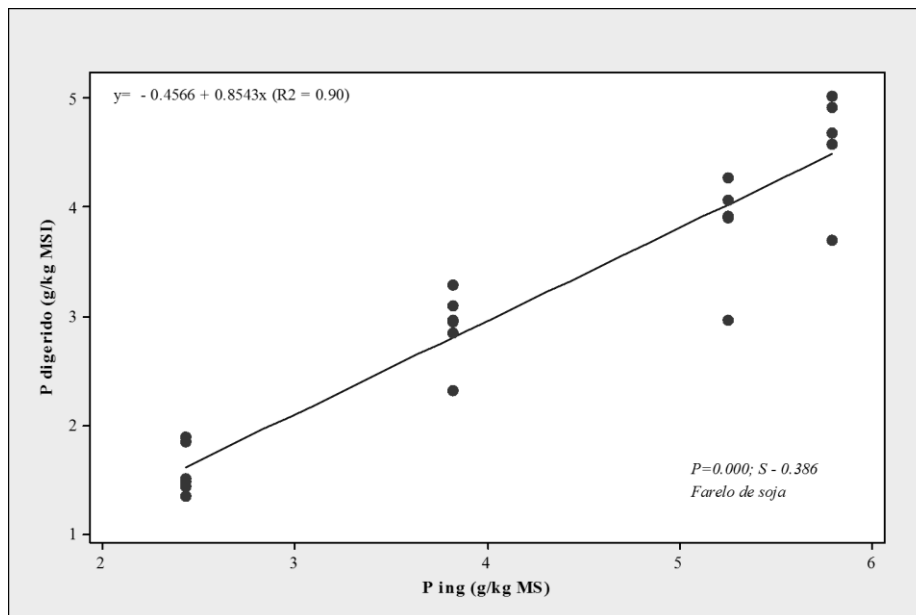
<sup>5</sup> Digestibilidade verdadeira calculada como: D<sub>Verd</sub> = 0,646 \* 100 = 64,6%; Médias diferem (P=0,0149) quando comparadas por contrastes conforme ZARNOCH (2009);

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Figura 4 – Relação linear entre a digestão (g/kg MSI) e a ingestão de P dietético (g/kg MS) em suínos na fase de crescimento-terminação alimentados com dietas contendo níveis crescentes de farelo de canola (A) ou soja (B)



(A)



(B)

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

## 5.5 REFERÊNCIAS

ADEOLA, O.; SANDS, J. S. Does supplemental dietary microbial phytase improve amino acid utilization? A perspective that it does not. **Journal of Animal Science**, v. 81, n. 14, p. 78-85, 2003.

ADHIKARI, P. A.; HEO, J. M.; NYACHOTI, C. M. True and standardized total tract phosphorus digestibility in canola meals from Brassica napus black and Brassica juncea yellow fed to growing pigs<sup>12</sup>. **Journal of Animal Science**, v. 93, n. 1, p. 209-216, 2015.

AKINMUSIRE, A. S.; ADEOLA, O. True digestibility of phosphorus in canola and soybean meals for growing pigs: Influence of microbial phytase<sup>1</sup>. **Journal of Animal Science**, v. 87, n. 3, p. 977-983, 2009.

ALMEIDA, F. N.; STEIN, H. H. Performance and phosphorus balance of pigs fed diets formulated on the basis of values for standardized total tract digestibility of phosphorus. **Journal of Animal Science**, v. 88, n. 9, p. 2968-2977, 2010.

BIKKER, P. et al. Basal endogenous phosphorus losses in pigs are affected by both body weight and feeding level. **Journal of Animal Science**, v. 94, n. 7 (3), p. 294-297, 2016.

CHOCT, M. et al. Soy Oligosaccharides and Soluble Non-starch Polysaccharides: A Review of Digestion, Nutritive and Anti-nutritive Effects in Pigs and Poultry. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 23, n. 10, p. 1386-1398, 10 2010.

COMPÊNDIO BRASILEIRO DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL. **Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal**. SINDIRAÇÕES, 2009.

CUNNINGHAM, H.M.; FRIEND, D.W.; NICHOLSON, J.W.G. The effect of age, body weight, feed intake and adaptability of pigs on the digestibility and nutritive value of cellulose. **Canadian Journal of Animal Science**, v.42, p.168-175, 1962.

DETMANN, E. et al. **Métodos para Análise de Alimentos**. 1. ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012. 214p.

DILGER, R. N.; ADEOLA, O. Estimation of true phosphorus digestibility and endogenous phosphorus loss in growing chicks fed conventional and low-phytate soybean meals. **Poultry Science**, v. 85, n. 4, p. 661-668, 2006.

FAN, M. Z. et al. Novel methodology allows simultaneous measurement of true phosphorus digestibility and the gastrointestinal endogenous phosphorus outputs in studies with pigs. **Journal of Nutrition**, v. 131, n. 9, p. 2388-2396, 2001.

FANG, R. J. et al. Comparison of the regression analysis technique and the substitution method for the determination of true phosphorus digestibility and faecal endogenous phosphorus losses associated with feed ingredients for growing pigs. **Livestock Science**, v. 109, n. 1-3, p. 251-254, 2007.

FEEDIPEDIA. Animal feed resources information system. 2016. Disponível em: < <http://www.feedipedia.org/> >.

GONZÁLEZ-VEGA, J.C. et al. Endogenous intestinal losses of calcium and true total tract digestibility of calcium in canola meal fed to growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 91, p. 4807-4816, 2013.

GUIMARÃES, I. G. et al. Apparent nutrient digestibility and mineral availability of protein-rich ingredients in extruded diets for Nile tilapia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, p. 1801-1808, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2015. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/> >. Acesso em: 20/06/2016.

JONGBLOED, A. W. Environmental pollution control in pigs by using nutrition tools. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 215-229, 2008.

JONGBLOED, A. W.; EVERTS, H.; KEMME, P.A. Phosphorous availability and requirements in pigs. In: **Recent Advances in Animal Nutrition**. E. R. Heinemann, ed. Butterworth, London, UK, 1991.

KHAJALI, F.; SLOMINSKI, B. A. Factors that affect the nutritive value of canola meal for poultry. **Poultry Science**, v. 91, n. 10, p. 2564-2575, 2012.

LAPLACE, J. P.; AUMAITRE, A.; RERAT, A. Forty years of achievement in French research on digestive physiology in the pig. **Reproduction Nutrition Development** v. 41, n. 2, p. 129-151, 2001.

LE GOFF, G.; NOBLET, J. Comparative total tract digestibility of dietary energy and nutrients in growing pigs and adult sows. **Journal of Animal Science**, v. 79, n. 9, p. 2418-2427, 2001.

LÉTOURNEAU-MONTMINY, M. P. et al. Meta-analysis of phosphorus utilization by growing pigs: effect of dietary phosphorus, calcium and exogenous phytase. **Animal**, v. 6, n. 10, p. 1590-1600, 2012.

MUTUCUMARANA, R. K. et al. Measurement of true ileal digestibility and total tract retention of phosphorus in corn and canola meal for broiler chickens. **Poultry Science**, v. 93, n. 2, p. 412-419, 2014.

NOBLET, J.; SHI, X. S. Effect of body weight on digestive utilization of energy and nutrients of ingredients and diets in pigs. **Livestock Production Science**, v. 37, n. 3, p. 323-338, 1994.

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

NRC. **National Research Council. Nutrient requirements of swine**. Washington, DC: National Academic Press, 1998.

NUTRIENT REQUIREMENTS OF SWINE. **Nutrient Requirements of Swine**. Eleventh Revised Edition, 2012.

PETTEY, L. A.; CROMWELL, G. L.; LINDEMANN, M. D. Estimation of endogenous phosphorus loss in growing and finishing pigs fed semi-purified diets. **Journal of Animal Science**, v. 84, n. 3, p. 618-626, 2006.

QIAN, H.; KORNEGAY, E. T.; CONNER, D. E. Adverse effects of wide calcium:phosphorus ratios on supplemental phytase efficacy for weanling pigs fed two dietary phosphorus levels. **Journal of Animal Science**, v. 74, n. 6, p. 1288-1297, 1996.

RODEHUTSCORD, M.; FAUST, M.; HOF, C. Digestibility of phosphorus in protein-rich ingredients for pig diets. **Archiv für Tierernaehrung** v. 50, p. 201-211, 1997.

RODRÍGUEZ, D. A. et al. Energy concentration and phosphorus digestibility in canola, cottonseed, and sunflower products fed to growing pigs. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 93, p. 493-503, 2013.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3.ed. Viçosa, MG.: UFV, DZO, 2011. 252p.

SAS. **Statistical Analysis System**. SAS/INSIGHT User's guide. . INSTITUTE, C. S. 2004.

SAUER, W. C. et al. Effect of phytase supplementation to barley-canola meal and barley-soybean meal diets on phosphorus and calcium balance in growing pigs. **Interciencia**, v. 28, p. 476-481, 2003.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos)**. 3a. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009.

STEIN, H. H. et al. Invited review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application. **Journal of Animal Science**, v. 85, n. 1, p. 172-180, 2007.



TRAN, G.; SAUVANT, D. Chemical data and nutritional value. In: WAGENINGEN ACADEMIC PUBLISHERS, W., THE NETHERLANDS AND INRA EDITIONS, VERSAILLES, FRANCE. (Ed.). **Tables of composition and nutritional value of feed materials: Pigs, poultry, cattle, sheep, goats, rabbits, horses, fish.** 2.ed., 2004. cap. 17-24.

WILFART , A. et al. **La teneur en fibres alimentaires affecte la digestibilité des nutriments dans tous les segments du tube digestif chez le porc.** Journées Recherche Porcine. 38: 193-200, 2006.

WOYENGO, T. A.; NYACHOTI, C. M. Review: anti-nutritional effects of phytic acid in diets for pigs and poultry – current knowledge and directions for future research. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 93, 2013.

YANG, H. et al. True phosphorus digestibility and the endogenous phosphorus outputs associated with brown rice for weanling pigs measured by the simple linear regression analysis technique. **Animal**, v. 1, n. 2, p. 213-220, 2007.

ZARNOCH, S. J. **Testing hypotheses for differences between linear regression lines.** Research Note SRS-17. United States Department of Agriculture, Forest Service, Asheville, North Carolina, 2009.

## **6 CAPÍTULO IV – DIFERENÇAS INTERESPÉCIES NA DIGESTIBILIDADE VERDADEIRA DO FÓSFORO DO FARELO DE CANOLA**

### **6.1 INTRODUÇÃO**

O fósforo (P) é um macromineral indispensável para todos os animais vertebrados, sendo o segundo mais abundante no corpo após o cálcio (MCDOWELL, 2003). Dentre as principais funções atribuídas ao P estão a formação e manutenção do tecido esquelético, regulação da energia e síntese de proteínas, equilíbrio ácido-básico e formação de parte do DNA (MCDONALD et al., 2002). Considerando a quantidade relativa em relação ao peso corporal, um suíno em terminação possui aproximadamente 0,5% de P e em uma poedeira pode-se encontrar até 0,7% (GEORGIEVSKII, 1981).

O Brasil é referência na produção de monogástricos, sendo o segundo maior produtor de frangos de corte, o quarto na produção de suínos e o sexto produtor de ovos (IBGE, 2015). As dietas desses animais são comuns na composição, a qual é baseada em milho e farelo de soja como ingredientes principais. Um aspecto negativo desses alimentos, no entanto, é a baixa disponibilidade de P, o qual 60 a 80% estão na forma fítica, que é indisponível (ADEOLA; SANDS, 2003). Assim, fitase exógena é utilizada nas rações, pois reduz o efeito antinutricional do fitato e melhora a digestibilidade do P (DERSJANT-LI et al., 2015).

A utilização de excretas de aves e dejetos suínos para adubação de culturas agrícolas tornou-se usual e devido ao alto teor de P presente, um excesso é lançado nos solos e cursos d'água, favorecendo a eutrofização das águas superficiais (SUTTLE, 2010). Nesse sentido, a definição das exigências de P dos monogástricos, bem como estudos sobre a digestibilidade do P dos ingredientes são essenciais para uma formulação mais ajustada de forma a minimizar o impacto ambiental (JONGBLOED, 2008).

Resultados experimentais demonstram diferenças entre aves e suínos nos coeficientes de digestibilidade verdadeira do P para um mesmo alimento. Isso poderia estar relacionado às diferentes condições físico-químicas do tubo digestivo e ao tempo de retenção da digesta no trato gastrointestinal (LETOURNEAU MONTMINY, 2009). Nos suínos a absorção de P ocorre na metade superior do intestino delgado (MOORE; TYLER, 1955) enquanto que em frangos em toda a extensão do jejuno (PROSZKOWIEC-WEGLARZ; ANGEL, 2013).

As diferenças na utilização do P observadas em tabelas de composição de alimentos, no entanto, refletem uma variabilidade de condições, sendo a dieta a mais significativa. Fatores como o tipo de alimento e o nível de ingestão de P interferem na secreção endógena

do mineral (PARTRIDGE, 1981). Nesse sentido, a determinação da digestão e absorção do P é ainda desafiada e confundida pela contribuição endógena gastrointestinal (FAN et al., 2001).

Informações científicas são escassas sobre o farelo de canola (FC) oriundo de cultivares nacionais, principalmente em relação ao aproveitamento do P em aves e suínos. Considerado um alimento de bom potencial nutricional, o FC possui cerca de 36% de PB e 1,0% de P total, sendo a segunda fonte protéica mais utilizada na alimentação animal no mundo (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2016).

Recentemente, o uso da técnica de regressão tem permitido a estimativa simultânea da digestibilidade verdadeira e das perdas endógenas (PE) de P (SHEN et al., 2002). Não há estudo publicado, no entanto, que tenha avaliado o uso dessa técnica quando dietas de composição similar tenham sido fornecidas a diferentes monogástricos. Sendo assim, o presente trabalho teve por objetivo comparar a utilização do P em poedeiras nas fases de recria e produção, frangos de corte e suínos na fase de crescimento alimentados com níveis crescentes de farelo de canola.

## 6.2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética em Uso de Animais do Instituto Federal Catarinense - Campus Concórdia, parecer nº 08/2015 e foi conduzido conforme padrões técnicos de biossegurança e ética.

Os experimentos foram realizados no Setor de Avicultura do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) em Lages, SC e no Setor de Suínos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) em Santa Maria, RS. Quatro ensaios de digestibilidade foram realizados utilizando frangos de corte e suínos em crescimento e poedeiras na fase de crescimento e produção.

O ensaio com frangos de corte utilizou 120 machos da linhagem Cobb com peso vivo médio inicial de  $817 \pm 19$  g e idade de 22 dias, distribuídos em quatro tratamentos (níveis de P disponível) que corresponderam a inclusões crescentes de FC na dieta. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e seis repetições de cinco aves/gaiola, sendo a gaiola considerada a unidade experimental. Nesse ensaio, utilizou-se um período de adaptação de cinco dias e dois para a coleta de excretas.

O ensaio com poedeiras na fase de recria utilizou 24 frangas Hy-Line Brown com idade de 17 semanas e peso vivo médio de  $1594 \pm 141$  g. As aves foram alocadas aos tratamentos conforme um delineamento inteiramente casualizado com os mesmos tratamentos

e número de repetições do ensaio com frangos de corte, variando somente o nível de P disponível em cada dieta. As aves foram alojadas aos pares, em gaiolas metabólicas, durante nove dias, sendo cinco para adaptação ao ambiente, rotina experimental e dietas e quatro para coleta total de excretas. As gaiolas, dotadas de bebedouros *nipple* e comedouros tipo calha, foram dispostas em estruturas metálicas em três andares, sendo mantidas em sala climatizada com temperatura média de  $22,6 \pm 1,6$  °C.

Posteriormente ao ensaio de recria, quando atingiram 32 semanas e peso vivo médio de  $1975 \pm 176$  g, outro ensaio foi realizado para avaliar a resposta de aves mais velhas aos mesmos tratamentos aplicados na fase de recria, sendo os níveis de P disponível ajustados para a fase de postura. Nesse ensaio foram utilizadas as mesmas instalações e delineamento experimental que o ensaio de recria.

No ensaio com suínos, 12 machos castrados com peso vivo médio de  $61,5\text{kg} \pm 5,0$  foram distribuídos às dietas experimentais (FC) conforme um delineamento em blocos casualizados, constituído de três níveis de P disponível (FC\_30, FC\_45, FC\_60) e dois períodos consecutivos, totalizando seis repetições, sendo o animal considerado a unidade experimental. Os suínos foram individualmente alojados em gaiolas metabólicas durante nove dias, sendo cinco para adaptação ao ambiente, rotina experimental e dietas e quatro para coleta total de fezes. As gaiolas eram mantidas em sala climatizada com temperatura média de  $19,4$  °C  $\pm 3,4$ .

As dietas para cada espécie animal (Tabela 22) foram formuladas para atender 30, 45, 60 e 75% da exigência de P disponível (frangos: 0,342%; poedeiras recria: 0,305%; poedeiras produção: 0,280%; suínos: 0,269%) recomendada por (ROSTAGNO et al., 2011), com exceção do ensaio de suínos, no qual foram utilizados três níveis de P disponível. A formulação com níveis do nutriente avaliado menores do que a exigência é condição básica para o uso do método da regressão linear (FAN et al., 2001; FANG et al., 2007; SHEN et al., 2002). Dietas à base de amido de milho foram formuladas, de modo que o FC representou a única fonte de P disponível. O amido, açúcar e óleo foram as fontes de energia, o calcário calcítico a fonte de cálcio, o sal comum de cloreto de sódio e ainda um premix vitamínico-mineral foi incorporado para atender as exigências de microminerais e vitaminas. Nas dietas procurou-se manter similarmente a quantidade dos ingredientes utilizados, de modo a haver pequenas variações no percentual de FC e amido presentes nas dietas. Também, para todos os ensaios, foram utilizados os mesmos ingredientes. Para a formulação das dietas, os teores de matéria seca (MS), energia bruta (EB), extrato etéreo (EE), proteína bruta (PB), fibra

detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), P e Ca do FC foram analisados em laboratório, bem como o nível de Ca e MS do calcário calcítico.

Para as aves, água e dietas foram fornecidas *ad libitum*, sendo que durante os experimentos estimulou-se o consumo das dietas através da movimentação destas nos comedouros.

No ensaio com suínos, as dietas foram fornecidas conforme o peso metabólico ( $PV^{0,6}$ ) e a quantidade diária ajustada à estimativa do ganho de peso médio, considerando um consumo de 2,6 vezes a manutenção, estimada em 250 kcal EM/kg  $PV^{0,6}$  (NOBLET; SHI; DUBOIS, 1993). As dietas foram distribuídas em quatro refeições diárias (7:30h, 10:30h, 13:30h, 16:30h) e o acesso à água foi livre através de bebedouro *bite ball*.

Em todos os ensaios as excretas (aves) e fezes (suínos) foram coletadas duas vezes ao dia, sendo pesadas e acondicionadas em sacos plásticos em freezer a  $-15^{\circ}C$ . O início e o final da coleta foram determinados pelo aparecimento de fezes marcadas através da incorporação à ração de 1% de  $Fe_2O_3$ . Em caso de sobras de alimento, essas foram coletadas de cada comedouro no final de cada período experimental. Ao término dos experimentos, as excretas foram homogeneizadas, secas em estufa de ventilação forçada ( $55^{\circ}C$  por 72 h) e moídas para análises posteriores.

Dietas, excretas e fezes foram analisados, em duplicata, para o conteúdo de matéria seca (MS), matéria mineral (MM) e fósforo total (P) de acordo com técnicas descritas em (COMPÊNDIO BRASILEIRO DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL, 2009; SILVA; QUEIROZ, 2009). Para a análise de P foi utilizado o método colorimétrico I (p.98-101) descrito no (COMPÊNDIO BRASILEIRO DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL, 2009). Essa determinação fundamenta-se em ataque ácido e à quente da amostra e posterior formação de um complexo colorido entre o fosfato e os reagentes vanadato e molibdato de amônio, de cor amarela. Nas leituras em absorvância, também em duplicata, foi utilizado o comprimento de onda de 400nm. O cálculo do teor de P total presente na amostra foi conforme DETMANN et al. (2012).

Para mensurar a  $D_{verd}$  e as perdas endógenas totais do P do farelo de canola foi utilizado em cada experimento o método de regressão (FAN et al., 2001). A estimativa das perdas endógenas por esse método depende de se estabelecer uma relação linear entre o nutriente aparentemente digerido ou excretado e seu consumo.

Assim, o conteúdo de P endógeno fecal é o intercepto da regressão e seu *slope* representa a estimativa da digestibilidade verdadeira:

$$P \text{ digerido} = (D_{verd} \times P_{ing}) - PE$$

$D_{\text{verd}}$  = *slope* da regressão – representa a estimativa de  $D_{\text{verd}}$  do P;

PE = intercepto da regressão – representa a estimativa das perdas endógenas.

Para a obtenção do coeficiente de digestibilidade aparente do P das dietas, foram utilizados os cálculos:

Matéria seca ingerida ( $MS_{\text{ing}}$ ) = Ração fornecida (g) \* MS ração (%) – Sobras (g) \* MPS sobras (%);

Excretas/Fezes produzidas = Excretas/Fezes (g) \* MST excretas/fezes (%)

Coeficiente de digestibilidade aparente do P =  $(P_{\text{ing}} - P_{\text{excr}}) / P_{\text{ing}} * 100$

Os dados foram analisados através do programa (SAS, 2004) e (STATGRAPHICS CENTURION XVII, 2016). O procedimento UNIVARIATE foi utilizado para identificar outliers e os valores considerados foram aqueles que desviaram da média do tratamento por mais de 3 ou menos de 1,5 vezes o intervalo interquartil. Uma análise de regressão linear múltipla foi realizada, incluindo no modelo estatístico os efeitos de P ingerido e espécie afim de detectar diferenças entre *slopes* ou interceptos das linhas de regressão. Se significativos, a comparação entre *slopes* ou interceptos foi realizada por contrastes utilizando um modelo linear generalizado conforme (ZARNOCH, 2009).

### 6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição analisada do FC utilizado no presente estudo está apresentada na tabela 21. Com base na MS e com exceção da EB (-76 kcal), as concentrações de PB (+6%), EE (+20%), FDN (+20%), FDA (+11%), MM (+8%), Ca (+8%) e P (+11%) do FC foram superiores à média encontrada em (FEEDIPEDIA, 2016; NRC, 1998; ROSTAGNO et al., 2011). A composição proximal do FC varia com a cultivar, condições ambientais durante o crescimento e colheita, além do tipo de processamento para extração do óleo (WICKRAMASURIYA et al., 2015). Farelos de oleaginosas possuem de 60 a 75% do P total como P-fítico (NRC, 1998) e contêm baixa atividade intrínseca de fitase, menor que 70 FTU/kg (RODRÍGUEZ et al., 2013).

Tabela 21– Composição analisada e calculada do farelo de canola<sup>1</sup>

Item	Farelo de canola
Matéria seca, %	87,8
Proteína bruta, %	37,6
Energia bruta, kcal kg <sup>-1</sup>	4.365
Extrato etéreo, %	2,9
Fibra detergente neutro, %	29,9
Fibra detergente ácido, %	20,3
Matéria mineral, %	6,8
Cálcio, %	0,69
Fósforo total, %	1,08
Fitato <sup>2</sup> , %	2,60
Fósforo fítico <sup>3</sup>	0,73
Fósforo não-fítico <sup>4</sup> , %	0,35
Fósforo não-fítico, % P total	32,4

<sup>1</sup> Valores expressos na base natural;

<sup>2</sup> Conforme RODRÍGUEZ et al. (2013);

<sup>3</sup> Corresponde a 28,2% do fitato (TRAN; SAUVANT, 2004);

<sup>4</sup> Diferença entre P total e P fítico;

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

A composição centesimal das dietas experimentais está apresentada na tabela 22. A inclusão de FC variou em média de 31 a 78% considerando a dieta com menor nível de P disponível para aquela com teor mais alto do mineral (FC\_75), independentemente da espécie. Houve pequena variação (CV=6%) na quantidade de FC dentro de cada nível de inclusão desse ingrediente em relação às dietas de cada animal (frango, poedeira em recria, poedeira em produção, suíno). A inclusão de amido variou de 10 a 59% da dieta com maior nível de P disponível para aquela com menor. Essa variação é resultado da substituição desse ingrediente pelo farelo de canola afim de se obter níveis crescentes de P disponível em cada dieta (FANG et al., 2007).

Para o calcário, os níveis de inclusão dentro de cada tratamento foram bastante variáveis (CV médio de 65%), pois houve necessidade de manter a relação Ca:P disponível similar entre dietas de cada espécie. Além disso, em relação às espécies estudadas, há variação considerável nas exigências de Ca, principalmente entre aves poedeiras na recria e produção (ROSTAGNO et al., 2011). Nas dietas para aves foi utilizado cloreto de potássio com o objetivo de corrigir os baixos níveis no farelo de canola, considerando a sensibilidade que as aves têm às alterações no balanço eletrolítico (SUMMERS; BEDFORD, 1994).

As concentrações de açúcar e óleo foram mantidas constantes em todas as dietas e ambos ingredientes atuaram como fontes de energia e de certo modo, como palatabilizantes,

pois os suínos tendem a rejeitar alimentos de sabor amargo, como é o caso do FC (LANDERO; BELTRANENA; ZIJLSTRA, 2012). Os percentuais de inclusão de premix vitamínico-mineral seguiram as recomendações dos fabricantes dos produtos utilizados, e as quantidades de sal representaram aquelas necessárias para atender as exigências mínimas de cloreto de sódio de cada espécie.

Na tabela 23 estão representadas as equações de regressão linear para cada espécie estudada, bem como variáveis ajustadas ao peso metabólico, além dos resultados da análise de contrastes entre interceptos das regressões.

Considerando cada espécie *per se* foram obtidas relações lineares consistentes entre a excreção de P em gramas por quilograma de peso metabólico e o consumo do mineral (Figura 5). Objetivou-se comparar separadamente slopes e interceptos das equações de regressão, afim de se verificar diferenças entre a digestibilidade verdadeira do P bem como suas perdas endógenas entre os monogástricos avaliados. Na análise de regressão múltipla os *slopes* das regressões não diferiram ( $P=0,6510$ ), apenas os interceptos ( $P=0,0017$ ). Assim, realizou-se a comparação de interceptos através de contrastes, conforme sugerido por (ZARNOCH, 2009).

Os resultados demonstraram que as perdas endógenas de P diferiram significativamente ( $P=0,0342$ ) entre poedeiras na fase de recria e frangos de corte (140 vs 229 mg/kg PV<sup>0,75</sup>) e entre poedeiras na recria e produção ( $P=0,0231$ ; 140 vs 5 mg/kg PV<sup>0,75</sup>). Para as demais comparações possíveis, diferenças significativas não foram detectadas ( $P>0,05$ ).

O uso do FC no Brasil ainda é limitado, apesar de ser a segunda fonte de proteína mais utilizada na alimentação animal no mundo (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2016). Resultante da extração do óleo da semente, o FC possui cerca de 36% de PB podendo ser uma alternativa ao farelo de soja (FS), principal fonte proteica em rações para monogástricos. Além disso, contém aproximadamente 1% de P total, mas informações científicas nacionais são escassas a respeito de sua utilização em animais monogástricos. De maneira geral, estima-se que a disponibilidade do P do FC situe-se entre 30 a 50% do P total (MEJICANOS et al., 2016), o que foi relativamente observado em nosso trabalho – frangos de corte (35%); poedeira na recria (38%), poedeira na produção (46%) e suínos (55%).

Considerando a espécie animal, sabe-se que existem diferenças amplas na capacidade de absorção do P orgânico (SUTTLE, 2010). Uma estimativa mais precisa da utilização do P é obtida pela correção da digestibilidade aparente para suas perdas endógenas (DILGER; ADEOLA, 2006). As secreções endógenas consistem de P oriundo da saliva, de sucos gástrico, biliar e pancreático, bem como de secreções e descamação da mucosa intestinal



(NYACHOTI et al., 1997). As perdas endógenas fecais correspondem então à porção não reabsorvida das secreções endógenas intestinais (LETOURNEAU MONTMINY, 2009). Em nosso trabalho, as PE de frangas (140 mg/kg PV<sup>0,75</sup>) diferiram (P=0,0231) daquelas das galinhas em postura (5 mg/kg PV<sup>0,75</sup>), sendo que essas últimas estavam no pico de produção de ovos (32-33 semanas). Durante as fases iniciais da postura, a produção, o peso do ovo e o peso corporal da ave estão aumentando (ABUDABOS, 2012). Nesse sentido, além das exigências para a postura, essas aves possuíam exigências de P para manutenção e crescimento, caracterizando um cenário de alta demanda do mineral. Especula-se que exista uma possível regulação de secreções digestivas dependendo do aporte de P em relação à exigência do animal (LETOURNEAU MONTMINY, 2009). Isso significa que se a exigência de P é maior do que o consumo do mineral, seja devido a dietas com ingredientes de baixa disponibilidade de P (como é o caso do FC) ou pela redução no consumo voluntário, é provável que aja redução na secreção de P endógeno fecal, sugerindo maior reabsorção de P endógeno no intestino delgado. Além disso, aves mais velhas têm maior capacidade de digestão do fitato, devido a maior atividade de fitase endógena no trato digestório (MAROUNEK et al., 2008), o que melhora o aproveitamento do P com diminuição na secreção endógena. Ambos os fatores citados podem explicar a diferença nas PE de P das poedeiras em recria e produção.

Em relação aos frangos de corte, maior PE (P=0,0342) de P foi observada (229 mg/kg PV<sup>0,75</sup>) em relação às poedeiras na recria (140 mg/kg PV<sup>0,75</sup>).

Os frangos consumiram, em média, 47% mais MS em relação ao PV<sup>0,75</sup> do que as frangas. Para sustentar os altos níveis de desempenho das genéticas comerciais modernas, maior consumo de MS é necessário, resultando em maior desgaste da mucosa intestinal (SUTTLE, 2010) com maior PE de fósforo. Adicionalmente, as PE fecais de P tendem a ser proporcionais aos níveis de aporte alimentar (FERNANDEZ, 1995), o que corrobora com os resultados de nosso trabalho. Frangos de corte possuem maior exigência de P disponível (3,35 g/kg PV<sup>0,75</sup> dia<sup>-1</sup>) em relação às poedeiras na recria (0,96 g/kg PV<sup>0,75</sup> dia<sup>-1</sup>), assim níveis superiores de consumo de P foram observados nos frangos.

No presente estudo não foram encontradas diferenças de PE de P entre poedeiras na recria e suínos (P=0,2188), frangos e suínos (0,6286), frangos e poedeiras na produção (0,9986), e poedeiras na produção e suínos (P=0,4936). É sabido que existem diferenças pontuais entre aves e suínos em relação a utilização digestiva e metabólica do P, a exemplificar: uma resposta linear à ingestão de P não-fítico nos suínos, mas quadrática nas aves; a formação de complexos insolúveis entre Ca e fósforo fítico (à partir de maior aporte de Ca) nos suínos com diminuição na liberação de P pela fitase exógena, sendo essa interação

(Ca-PP) insignificante nas aves; e que as aves podem facilmente modular sua eficiência de utilização do P e do Ca em função de seu status mineral (LETOURNEAU MONTMINY, 2009). Apesar dessas diferenças, a similaridade de respostas entre aves e suínos observada no presente estudo requer futura pesquisa comparativa. Assim, o fato de termos ajustado nossos resultados para uma escala alométrica baseada no peso metabólico, pode também ter contribuído para a ausência das diferenças entre aves e suínos quanto a utilização digestiva e metabólica do fósforo.

#### 6.4 CONCLUSÕES

Poedeiras na fase de recria têm menor perda endógena de P em relação a frangos de corte quando alimentados com dietas com níveis crescentes de farelo de canola;

Poedeiras na fase de recria têm maior perda endógena de P em relação a poedeiras na fase de produção quando alimentados com dietas com níveis crescentes de farelo de canola.

Tabela 21 - Composição centesimal das dietas experimentais

Ingrediente, %	Espécie												Suíno		
	Frango				Poedeira recria				Poedeira produção						
	Atendimento à exigência <sup>1</sup> , %												30	45	60
	30	45	60	75	30	45	60	75	30	45	60	75	30	45	60
Farelo canola	28,5	42,8	57,0	71,2	35,0	52,5	69,0	82,8	30,5	45,2	67,0	79,0	30,6	46,0	63,6
Amido	61,8	47,4	33,4	19,3	54,8	36,6	19,5	5,00	57,3	41,4	17,8	4,80	60,5	44,9	27,05
Açúcar	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Óleo soja	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Calcário	0,30	0,60	0,60	0,60	1,58	2,32	3,10	3,80	2,80	4,20	6,00	7,00	0,50	0,70	0,90
Cloreto potássio	1,00	0,80	0,70	0,50	0,35	0,22	0,13	0,06	1,00	0,80	0,80	0,80	-	-	-
Sal comum	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,50	0,50	0,50	0,50	0,40	0,40	0,40
Premix	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,50	0,50	0,50
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Nutriente	Composição calculada														
EM, kcal kg <sup>-1</sup>	3089	2831	2585	2335	3006	2691	2396	2143	3010	2724	2299	2064	3421	3312	3186
P disponível, %	0,103	0,154	0,205	0,257	0,092	0,139	0,183	0,219	0,080	0,120	0,180	0,210	0,081	0,122	0,169
Cálcio total, %	0,209	0,349	0,400	0,469	0,78	1,15	1,54	1,88	1,17	1,76	2,53	2,96	0,23	0,34	0,44
Ca/P disp.	2,03	2,27	1,95	1,82	6,35	6,20	6,27	6,39	11,5	11,4	11,0	11,0	2,85	2,76	2,61

<sup>1</sup>Exigências de P disponível conforme Rostagno et al. 2011 – Frango: 0,342%; Poedeira recria: 0,305%; Poedeira produção: 0,280%; Suíno: 0,269%. Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Tabela 22 – Equações de regressão lineares para estimativas do P excretado ( $\text{g/kg PV}^{0,75}$ ) de frangos de corte, poedeiras nas fases de recria e produção e suínos alimentados com níveis crescentes de farelo de canola

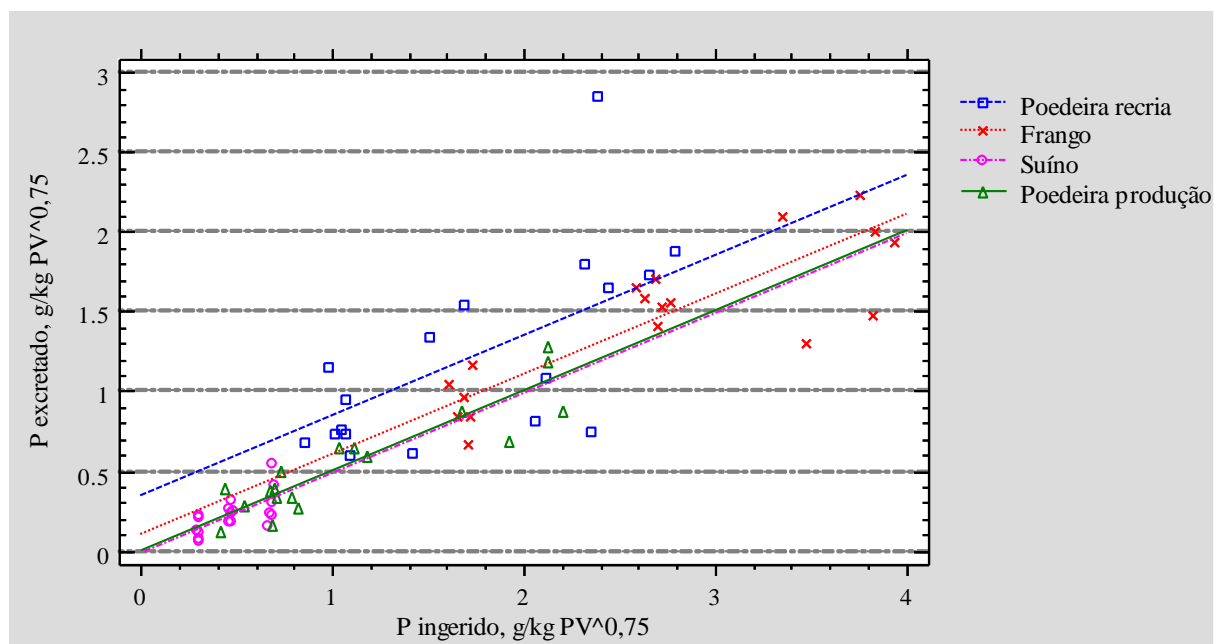
Espécie	Frango	Poedeira recria	Poedeira produção	Suíno
Equação	$Y = 0,650X - 0,229$	$Y = 0,620X + 0,140$	$Y = 0,541X - 0,005$	$Y = 0,445X + 0,010$
SE slope	0,07	0,10	0,05	0,11
SE intercepto	0,24	0,20	0,07	0,05
$r^2$	0,79	0,66	0,87	0,54
Peso metabólico, $\text{kg PV}^{0,75}$	0,153	0,245	0,296	21,94
MS ingerida <sup>2</sup> , % $\text{PV}^{0,75}$	57,4	30,5	21,4	9,5
Exig P disp, $\text{g/kg PV}^{0,75}$ dia <sup>-1</sup>	3,352	0,964	1,045	0,302
P endogo, $\text{mg/kg PV}^{0,75}$	229,0	140,0	5,0	10,0
Digest. verd. P, %	35,0	38,0	46,0	55,5
Comparações interceptos <sup>1</sup>	Probabilidade			
Poedeira recria vs frango	0,0342			
Poedeira recria vs suíno	0,2188			
Poedeira recria vs poedeira prod.	0,0231			
Frango vs suíno	0,6286			
Frango vs poedeira prod.	0,9986			
Suíno vs poedeira prod.	0,4936			

<sup>1</sup> Conforme ZARNOCH (2009). Não foram detectadas diferenças entre *slopes* das quatro equações lineares ( $P=0,2257$ );

<sup>2</sup> Percentual relativo ao peso metabólico;

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Figura 5 - Relação linear entre P excretado ( $\text{g/kg PV}^{0,75}$ ) e P dietético ( $\text{g/kg PV}^{0,75}$ ) do farelo de canola fornecido em níveis crescentes para galinhas poedeiras, frangos de corte e suínos



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

## 6.7 REFERÊNCIAS

ABUDABOS, A. M. Phytate phosphorus utilization and intestinal phytase activity in laying hens. **Italian Journal of Animal Science**, v. 11, p. 41-46, 2012.

ADEOLA, O.; SANDS, J. S. Does supplemental dietary microbial phytase improve amino acid utilization? A perspective that it does not. **Journal of Animal Science**, v. 81, n. 14 (2), p. 78-85, 2003.

COMPÊNDIO BRASILEIRO DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL. **Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal**. SINDIRAÇÕES, 2009.

DETMANN, E. et al. **Métodos para Análise de Alimentos**. 1. ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012. 214p.

DERSJANT-LI, Y. et al. Phytase in non-ruminant animal nutrition: a critical review on phytase activities in the gastrointestinal tract and influencing factors. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 5, p. 878-896, 2015.

DILGER, R. N.; ADEOLA, O. Estimation of true phosphorus digestibility and endogenous phosphorus loss in growing chicks fed conventional and low-phytate soybean meals. **Poultry Science**, v. 85, n. 4, p. 661-668, 2006.

FAN, M. Z. et al. Novel methodology allows simultaneous measurement of true phosphorus digestibility and the gastrointestinal endogenous phosphorus outputs in studies with pigs. **Journal of Nutrition**, v. 131, n. 9, p. 2388-2396, 2001.

FANG, R. J. et al. Comparison of the regression analysis technique and the substitution method for the determination of true phosphorus digestibility and faecal endogenous phosphorus losses associated with feed ingredients for growing pigs. **Livestock Science**, v. 109, n. 1-3, p. 251-254, 2007.

FEEDIPEDIA. Animal feed resources information system. 2016. Disponível em: <  
<http://www.feedipedia.org/>>.

FERNANDEZ, J. Calcium and phosphorus metabolism in growing pigs. II. Simultaneous radio-calcium and radio-phosphorus kinetics. **Livestock Production Science**, v. 41, n. 3, p. 243-254, 1995.

GEORGIEVSKII, V. I. 4 - MINERAL COMPOSITION OF BODIES AND TISSUES OF ANIMALS. In: (Ed.). **Mineral Nutrition of Animals**: Butterworth-Heinemann, 1981. p.69-77.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2015. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/> >. Acesso em: 20/06/2016.

JONGBLOED, A. W. Environmental pollution control in pigs by using nutrition tools. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 215-229, 2008.

LANDERO, J. L.; BELTRANENA, E.; ZIJLSTRA, R. T. Growth performance and preference studies to evaluate solvent-extracted Brassica napus or Brassica juncea canola meal fed to weaned pigs1. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. 4, p. 406-408, 2012.

LETOURNEAU MONTMINY, M.-P. **Modélisation de métabolisme phosphocalcique chez le porc et le poulet en croissance**. 2009. 1 vol. (299 p.)

MAROUNEK, M. et al. Availability of phytate phosphorus and endogenous phytase activity in the digestive tract of laying hens 20 and 47 weeks old. **Animal Feed Science and Technology**, v. 146, n. 3-4, p. 353-359, 2008.

MCDONALD, P. et al. **Animal Nutrition**. 6th Revised edition. Harlow, United Kingdom: 2002. 708p.

MCDOWELL, L. R. **Minerals in animal and human nutrition**. 2.ed. Gainesville, FL, EUA.: Elsevier Science, 2003. 644p.

MEJICANOS, G. et al. Recent advances in canola meal utilization in swine nutrition. **Journal of Animal Science and Technology**, v. 58, n. 1, p. 1-13, 2016.

MOORE, J. H.; TYLER, C. Studies on the intestinal absorption and excretion of calcium and phosphorus in the pig: 2. The intestinal absorption and excretion of radioactive calcium and phosphorus. **British Journal of Nutrition**, v. 9, n. 1, p. 81-93, 1955.

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

NRC. **National Research Council. Nutrient requirements of swine.** Washington, DC: National Academic Press, 1998.

NYACHOTI, C. M. et al. Significance of endogenous gut nitrogen losses in the nutrition of growing pigs: A review. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 77, n. 1, p. 149-163, 1997.

PARTRIDGE, I. G. A comparison of defluorinated rock phosphate and dicalcium phosphate, in diets containing either skim milk powder or soya bean meal as the main protein supplement, for early-weaned pigs. **Animal Science**, v. 32, n. 1, p. 67-73, 1981.

PROSZKOWIEC-WEGLARZ, M.; ANGEL, R. Calcium and phosphorus metabolism in broilers: Effect of homeostatic mechanism on calcium and phosphorus digestibility. **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 22, n. 3, p. 609-627, 2013.

RODRÍGUEZ, D. A. et al. Energy concentration and phosphorus digestibility in canola, cottonseed, and sunflower products fed to growing pigs. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 93, p. 493-503, 2013.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais.** 3. Viçosa, MG.: UFV, DZO, 2011. 252p.

SAS. **Statistical Analysis System.** SAS/INSIGHT User's guide. INSTITUTE, C. S. 2004.

SHEN, Y. et al. Use of the regression analysis technique to determine the true phosphorus digestibility and the endogenous phosphorus output associated with corn in growing pigs. **The Journal of Nutrition**, v. 132, n. 6, p. 1199-1206, 2002.



SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos)**. 3a. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009.

STATGRAPHICS CENTURION XVII. **Statgraphics Centurion XVII**. StatPoint Technologies Inc Virginia, USA 2016.

SUMMERS, J. D.; BEDFORD, M. Canola meal and diet acid-base balance for broilers. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 74, n. 2, p. 335-339, 1994.

SUTTLE, N. F. **Mineral Nutrition of Livestock**. 4.ed., 2010.

TRAN, G.; SAUVANT, D. Chemical data and nutritional value. In: WAGENINGEN ACADEMIC PUBLISHERS, W., THE NETHERLANDS AND INRA EDITIONS, VERSAILLES, FRANCE. (Ed.). **Tables of composition and nutritional value of feed materials: Pigs, poultry, cattle, sheep, goats, rabbits, horses, fish**. 2.ed., 2004.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Canola. 2016. Disponível em: < <https://www.ers.usda.gov/topics/crops/soybeans-oil-crops/canola.aspx> >. Acesso em: 03/10/2016.

WICKRAMASURIYA, S. S. et al. A review of canola meal as an alternative feed ingredient for ducks. **Journal of Animal Science and Technology**, v. 57, n. 29, p. 1-9, 2015.

ZARNOCH, S. J. **Testing hypotheses for differences between linear regression lines**. Research Note SRS-17. United States Department of Agriculture, Forest Service, Ashville, North Carolina, 2009.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dados sobre perdas endógenas totais de P para aves e suínos são ainda limitados na literatura, sendo necessários mais estudos, sobretudo pelo fato de essas perdas contribuírem com parcela significativa da exigência do mineral. Essa limitação é observada principalmente nos alimentos pouco usuais na formulação rotineira. Ainda, existe alta variabilidade de respostas entre estudos conduzidos com enfoque no mesmo objetivo, sugerindo que deveria haver uma padronização da metodologia adotada. Pesquisas com enfoque na comparação entre aves e suínos são importantes afim de um melhor entendimento dos limites digestivos e metabólicos de cada animal para o aproveitamento do P, como também para uma possível extrapolação de dados interespecies. A utilização crescente de *phase feedings* nos sistemas atuais de produção que objetivam a nutrição de precisão, salienta a necessidade de estudos sobre digestibilidade verdadeira do fósforo da maior gama possível de ingredientes, considerando-se as variabilidades locais e regionais de suas composições.

## ANEXOS



Frangos de corte – Sala de metabolismo



Galinhas poedeiras – Sala de metabolismo



Suíno em gaiola metabólica



Homogeneização de excretas



Pesagem de amostra



Secagem de amostras em ventilação forçada



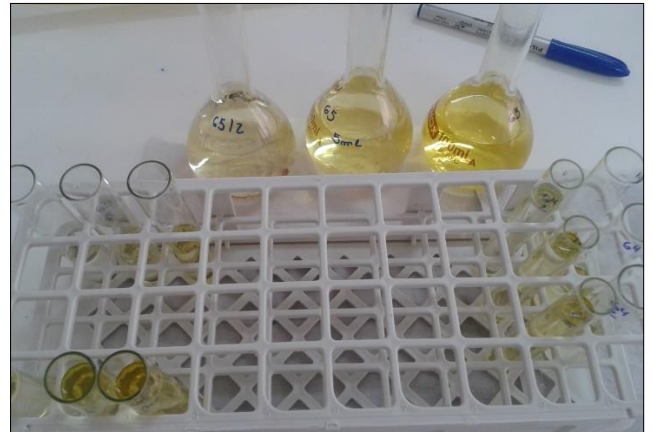
Amostras em dessecador após incineração



Digestão de amostras em placa aquecedora



Filtragem de amostras



Amostras em tubos de ensaio para leitura



Leitura da absorbância em espectrofotômetro visível