UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CHAYANE DA ROCHA

IMPACTO DE DIFERENTES ALIMENTOS SOBRE A ESTRUTURA MORFOLÓGICA INTESTINAL E DIGESTIBILIDADE DOS NUTRIENTES EM FRANGOS

CURITIBA, 2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CHAYANE DA ROCHA

IMPACTO DE DIFERENTES ALIMENTOS SOBRE A ESTRUTURA MORFOLÓGICA INTESTINAL E DIGESTIBILIDADE DOS NUTRIENTES EM FRANGOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Área de Concentração em Produção e Alimentação Animal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Ciências Veterinárias.

Orientador: Prof. Dr. Alex Maiorka
Co-Orientador: Prof. Dr. Fabiano Dahlke
Co-Orientador: Prof. Dr. Paul Iji

CURITIBA, 2014

Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias
Comissão de Ética no Uso de Animais – CEUA SCA

CERTIFICADO

Certificamos que o protocolo no. 057/2011, referente ao projeto "Efeitos de ingredientes utilizados na formulação de dietas sobre a saúde intestinal de frangos", sob a responsabilidade de Chayane da Rocha, na forma que foi apresentado (utilizando 988 animais), foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais do Setor de Ciências Agrárias, em reunião realizada dia 16 de dezembro de 2011.

CERTIFICATE

We certify that the protocol number 057/2011, regarding the project "Effects of ingredients used in formulating diets on gut health of chickens", in charge of Chayane da Rocha , in the terms it was presented (using 988 animals), was approved by the Animal Use Ethics Committee of the Agricultural Sciences Campus of the Universidade Federal do Paraná (Federal University of the State of Paraná, Southern Brazil) during session on December 2011.

Curitiba, 16 de dezembro de 2011.

Geraldo Camilo Alberton
Presidente

Patrick Schmidt
Vice-Presidente

Comissão de Ética no Uso de Animais
Setor de Ciências Agrárias
Universidade Federal do Paraná.

AUTHORITY No.: AEC12-104

ANIMAL ETHICS COMMITTEE

ANIMAL RESEARCH AUTHORITY
And Approval for Animal Experimentation

RESEARCH TEAM: A/Prof Paul Iji, Mr Sleman Mohammed, Mr Mark Porter, Ms Chayane da Rocha & Dr Momenuzzaman Bhuiyan

EMERGENCY CONTACT A/Prof Paul Iji
02 6773 2082, 02 6772 7102 or 0422 790 975

Are authorised to conduct the following research:

TITLE: Energy value of cereal by-products for broiler chickens

LOCATION(S): Animal House Complex, UNE

ANIMALS:

Species	Strain	No's Required	Procedure Details
13 - Poultry	Broiler	396	6

This authority remains in force from **12/02/2013** to **12/02/2014** unless suspended, cancelled or surrendered.

This statement must be read in conjunction with the Conditions for Animal Experimentation at UNE as stated on the reverse.

Jo-Ann Sozou
AEC Secretary and UNE Research

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS VETERINÁRIAS

UFPR

PARECER

A Comissão Examinadora da Defesa da Tese intitulada **"IMPACTO DE DIFERENTES ALIMENTOS SOBRE A ESTRUTURA MORFOLÓGICA INTESTINAL E DIGESTIBILIDADE DOS NUTRIENTES EM FRANGOS"** apresentada pela Doutoranda **CHAYANE DA ROCHA** declara ante os méritos demonstrados pela Candidata, e de acordo com o Art. 79 da Resolução nº 65/09–CEPE/UFPR, que considerou a candidata APTA para receber o Título de Doutor em Ciências Veterinárias, na Área de Concentração em Ciências Veterinárias.

Curitiba, 24 de março de 2014

Professor Dr. Alex Maiorka
Presidente/Orientador

Professora Dra. Ana Vitoria Fischer da Silva
Membro

Professor Dr. Fabiano Dahlke
Membro

Dr. Everton L. Krabbe
Membro

Professora Dra. Ananda Portella Félix
Membro

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida.

Aos meus pais, Edite T. Bergamaschi e Renê da Rocha, por terem me guiado desde meus primeiros passos e me ensinado valores e princípios de amor e respeito ao próximo.

Ao meu irmão Maycon da Rocha por todo carinho e brigas ao longo dos anos, momentos esses que me tornaram uma pessoa mais forte.

Ao amigo e orientador Alex Maiorka a quem tenho extremo carinho, respeito e admiração. Obrigada por todos os conhecimentos partilhados, conselhos e por todos os “puxões de orelha”, os quais me fizeram evoluir cientificamente e pessoalmente como ser humano.

Ao Professor Fabiano Dahlke por todo apoio, co-orientação, confiança e incentivo.

As Professoras Ana Vitória Fischer da Silva e Simone Oliveira e ao Professor Sebastião Borges por terem feito parte de minha trajetória acadêmica, pelos conselhos e por sempre me receberem de braços abertos sempre que precisei.

A minha querida amiga Ananda (Nandinha) por ser uma pessoa generosa e sincera que esteve sempre ao meu lado me aconselhando e partilhando momentos de alegria e tristeza, obrigada pela amizade.

Aos queridos amigos Ivânio, Lucas, Marina, Ronan, Vinícius, Jean, Diego, Sthéfanie, Gislaine e Andréia os quais auxiliaram sem medir esforços e tornaram possível a condução e execução dos experimentos, sempre com sorriso no rosto e muita alegria em todos os momentos. Vocês são pessoas mais do que especiais que permanecerão no meu coração e pensamentos aonde quer que eu esteja.

A minha amiga Tabyta que esteve ao meu lado nos últimos meses de maneira mais intensiva, me acompanhando de perto nos momentos pessoais, de lazer e trabalho, sempre estará comigo de alguma forma onde quer que eu vá.

A todos os colegas de Pós-Graduação e estagiários da avicultura com os quais convivi e estiveram ao meu lado me auxiliando ao longo desses anos, que não foram poucos, sem vocês os dias de pesagens, coletas, festas e churrascos seriam muito mais tristes e difíceis.

A minha grande amiga Carina, que apesar de estar morando distante, tem acompanhado minha trajetória desde os meus estágios com pastagens. Foram manhãs geladas, tardes,

noites e madrugadas intermináveis contando bocados, colocando fraldas em cabras, medindo perfilhos, fazendo separação botânica. Mas nunca esquecendo da diversão, viagens, festas e churrascos. Momentos os quais guardarei com muito carinho em minha memória.

A toda equipe do Laboratório de Nutrição Animal: Aldo, Cleusa, Janise, Hair, Marcelo e Ruy pelo auxílio e paciência nas análises laboratoriais.

Aos funcionários da Fazenda Experimental Canguiri, Osmael, Divina e Ismael pela ajuda e disposição em todos os momentos.

A todos os professores da Universidade Federal do Paraná e ao curso de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias pela convivência e ensinamentos ao longo desses anos.

A Maria José Maeda, secretária do PPGCV, sempre prestativa e atenciosa.

Ao Prof Paul Iji e seus estudantes que me receberam com tanta disposição e carinho na University of New England, Armidale, Austrália.

Ao Reuni pela bolsa concedida.

A CAPES pela bolsa e oportunidade de participar do Programa de Doutorado Sanduíche.

A todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

Àqueles que aqui não foram citados, mas contribuíram de maneira direta ou indireta para que esse sonho se tornasse realidade.

Aos animais, sem os quais seria impossível a conclusão desta tese, ofereço meu respeito!

Meu muito obrigado a todos por fazerem parte da minha vida!

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas graças a Deus, não sou o que era antes”.
(Marthin Luther King)

SUMÁRIO

Resumo **18**
Abstract **19**
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS **20**
1. Introdução **20**
2. Revisão de Literatura **21**
2.1 Estrutura do trato gastrintestinal 21
2.2 Mucina e ácido siálico 24
2.3 Ingredientes e limitações para sua utilização na alimentação animal 26
2.3.1 Soja integral 27
2.3.2 Óleo ácido de soja 33
2.3.3 Farelo de trigo 37
2.3.4 Farinha de penas 50
2.3.5 Farelo de arroz integral **59**
2.4 Enzimas exógenas na nutrição animal **65**
2.4.1 Fitases 69
2.4.2 Carboidrases 72
3. Refêrencias Bibliogáficas **76**
CAPÍTULO 2 - SOJA INTEGRAL CRUA OU TOSTADA NA ALIMENTAÇÃO DE FRANGOS **90**
Resumo **90**
Abstract **91**
1. Introdução **92**
2. Material e Métodos **93**
3. Resultados e Discussão **96**
4. Conclusões **105**
5. Referências Bibliográficas **106**
CAPÍTULO 3 – ÓLEO ÁCIDO DE SOJA, FARINHA DE PENAS E FARELO DE TRIGO NA DIETA SOBRE A MORFOMETRIA INTESTINAL E DIGESTIBILIDADE EM FRANGOS. **109**
Resumo **109**
Abstract **110**
1. Introdução **111**

2. Material e Métodos 112
2.1 Experimento I - Óleo Ácido de Soja 113
2.1.1 Delineamento experimental e manejo 113
2.1.2 Dietas 113
2.1.3 Variáveis analisadas 115
Ensaio de Digestibilidade 115
Morfometria Intestinal e ácido siálico 115
2.2 Experimento II – Farinha de Penas 116
2.2.1 Delineamento experimental e manejo 116
2.2.2 Dietas 116
2.2.3 Variáveis analisadas 118
Ensaio de digestibilidade, morfometria intestinal e ácido siálico 118
2.3 Experimento III – Farelo de Trigo 118
2.3.1 Delineamento experimental e manejo 118
2.3.2 Dietas 118
2.2.3 Variáveis analisadas 120
Ensaio de digestibilidade, morfometria intestinal e ácido siálico 120
2.3 Análise Estatística 120
3. Resultados e Discussão 120
3.1 Experimento I – Óleo Ácido de Soja 120
3.2 Experimento II – Farinha de Penas 124
3.3 Experimento III – Farelo de Trigo 127
4. Conclusões 131
5. Referências Bibliográficas 132
CAPÍTULO 4 – ADIÇÃO DE FARELO DE ARROZ OU FARELO DE TRIGO NA DIETA SOBRE O DESEMPENHO, PESO DE ÓRGÃO E DIGESTIBILIDADE DE NUTRIENTES EM FRANGOS. 136
Resumo 136
Abstract 137
1. Introdução 138
2. Material e Métodos 140
2.1 Delineamento experimental, animais e manejo 140
2.1.2 Dietas experimentais 140
2.1.3 Variáveis analisadas 143

Desempenho e peso de órgãos 143
Ensaio de Digestibilidade 143
Ácido siálico 144
2.2 Análise Estatística 144
3. Resultados e discussão 145
3.1 Experimento I - Farelo de Arroz 145
3.2 Experimento II – Farelo de Trigo 152
4. Conclusões 161
5. Referências Bibliográficas 161
CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS 165

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Tabela 1.Perfil de ácidos graxos (%) do óleo de soja e do óleo ácido de soja..... 34
Tabela 2. Valores de energia metabolizável aparente corrigida para nitrogênio (EMAn) do óleo ácido de soja (OAS) segundo a literatura. 35
Tabela 3. Composição nutricional do farelo de trigo..... 39
Tabela 4. Conteúdo de aminoácido total da farinha de penas..... 52
Tabela 5. Composição nutricional (%) do farelo de arroz integral 60
Tabela 6. Propriedades químicas dos polissacaríedos não-amiláceos isolados do trigo ou farelo de arroz (FA) 65
Tabela 7. Enzimas seus substratos e principais funções. 67

CAPÍTULO 2 - SOJA INTEGRAL CRUA OU TOSTADA NA ALIMENTAÇÃO DE FRANGOS

Tabela 1. Ingredientes e composição química calculada e analisada das rações experimentais..... 94
Tabela 2. Composição química (%) e variáveis da qualidade protéica da SIC, SID e SIS. 97
Tabela 3.Efeito da soja crua ou processada sobre a altura de vilo (AV), profundidade de cripta (PC), número de células caliciformes (CC) e concentração de ácido siálico (AS) no íleo de frangos de corte aos 21 dias de idade. 99
Tabela 4. Efeito da soja crua ou processada sobre os coeficientes de digestibilidade aparente ileal da matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), energia bruta (EB) e energia digestível do conteúdo ileal (ED) em frangos de corte aos 21 dias de idade.... 101
Tabela 5. Efeito da soja crua ou processada sobre o peso vivo (PV), peso absoluto (PA) e peso relativo do pâncreas (PR) de frangos de corte aos 21 dias de idade. 103

CAPÍTULO 3 - ÓLEO ÁCIDO DE SOJA, FARINHA DE PENAS E FARELO DE TRIGO NA DIETA SOBRE A MORFOMETRIA INTESTINAL E DIGESTIBILIDADE EM FRANGOS.

Tabela 1. Ingredientes e composição química analisada e calculada das rações experimentais – Experimento I. 114
Tabela 2. Ingredientes e composição química analisada e calculada das rações experimentais – Experimento II. 117
Tabela 3. Ingredientes e composição química analisada e calculada das rações experimentais – Experimento 3. 119
Tabela 4. Altura de vilo (AV), profundidade de cripta (PC), número de células caliciformes (CC) e concentração de ácido siálico (AS) no íleo de frangos alimentados com dietas com ou sem adição de óleo ácido de soja. 121
Tabela 5. Coeficientes de digestibilidade aparente ileal da matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), energia bruta (EB) e energia digestível (ED) de frangos alimentados com dietas contendo óleo ácido de soja. 123
Tabela 6. Altura de vilo (AV), profundidade de cripta (PC), número de células caliciformes (CC) e concentração de ácido siálico (AS) no íleo de frangos alimentados com dietas contendo níveis crescentes de farinha de penas (FP)..... 124
Tabela 7. Coeficientes de digestibilidade aparente ileal da matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), energia bruta (EB) e energia digestível (ED) das dietas contendo níveis crescentes de farinha de penas (FP). 125
Tabela 8. Altura de vilo (AV), profundidade de cripta (PC), número de células caliciformes (CC) e concentração de ácido siálico (AS) no íleo de frangos alimentados com dietas contendo níveis crescentes de farelo de trigo (FT)..... 128
Tabela 9. Coeficientes de digestibilidade aparente ileal da matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), energia bruta (EB) e energia digestível (ED) de frangos alimentados com dietas contendo níveis crescentes de farelo de trigo (FT). 130

CAPÍTULO 4 – ADIÇÃO DE FARELO DE ARROZ OU FARELO DE TRIGO NA DIETA SOBRE O DESEMPENHO, PESO DE ÓRGÃO E DIGESTIBILIDADE DE NUTRIENTES EM FRANGOS.

Tabela 1. Ingredientes e composição química calculada e analisada das rações experimentais..... 142

Tabela 2. Consumo de ração (CR), ganho de peso (GP) e índice de conversão alimentar (CA) de frangos alimentados com dietas contendo farelo de arroz (FA) engordurado com ou sem suplementação enzimática..... 146

Tabela 3. Peso do proventrículo+moela (P+M), intestino delgado (ID), fígado e pâncreas, de frangos alimentados com dietas contendo farelo de arroz (FA) engordurado com ou sem suplementação enzimática..... 148

Tabela 4. Coeficientes de digestibilidade aparente ileal da matéria seca (MS%), proteína bruta (PB%), extrato etéreo (EE%), energia bruta (EB%) e metabolizável aparente (EMA kcal/kg) em alimentados com dietas contendo farelo de arroz (FA) engordurado com ou sem suplementação enzimática..... 150

Tabela 5. Consumo de ração (CR), ganho de peso (GP) e índice de conversão alimentar (CA) de frangos alimentados com dietas contendo farelão de trigo (FT) com ou sem suplementação enzimática[1]..... 153

Tabela 6. Peso do proventrículo+moela (P+M), intestino delgado (ID), fígado e pâncreas, de frangos alimentados com dietas contendo farelão de trigo (FT) com ou sem suplementação enzimática[1] (expressos em g/100g peso vivo)..... 156

Tabela 7. Coeficientes de digestibilidade aparente ileal da matéria seca (MS%), proteína bruta (PB%), extrato etéreo (EE%), energia bruta (EB%) e metabolizável aparente (EMA kcal/kg) em alimentados com dietas contendo farelão de trigo (FT) com ou sem suplementação enzimática..... 159

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Figura 1. Representação esquemática dos tipos celulares na mucosa intestinal..... 22
Figura 2. Estrutura do ácido siálico. A diversidade deste composto é gerada a partir das inúmeras formas de ligações glicosídicas 25
Figura 3. Estrutura do grão do trigo 38
Figura 4. Micrografia da estrutura do farelo de trigo 38
Figura 5. Classificação dos polissacarídeos não-amiláceos 40
Figura 6. Estrutura das β-glucanas e arabinoxilanas 41
Figura 7. Concentração de polissacarídeos não-amiláceos (PNA) em cereais 42
Figura 8. Efeito da adição de arabinoxilanas do trigo em dietas baseadas em sorgo sobre a digestibilidade ileal do amido, proteína e lipídios 48
Figura 9. Coeficiente de metabolizabilidade da energia de cereais de acordo com a composição de PNA (pentosanas+ β-glucanas) em frangos 49
Figura 10. Efeitos dos PNA solúveis sobre a digestão e absorção de nutrientes no trato gastrointestinal de frangos 50
Figura 11. Estrutura química simplificada da putrescina, espermidina e espermina 58
Figura 12. Diferenças visuais no tamanho e coloração em cada etapa do processamento do arroz 60
Figura 13. Representação esquemática dos efeitos bioquímicos e fisiológicos do fitato sobre o trato gastrointestinal de frangos 64
Figura 14. Hidrólise do fitato pela fitase em inotisol livre, fosfato, metais, minerais e proteínas.....70

CAPÍTULO 2. SOJA INTEGRAL CRUA OU TOSTADA NA ALIMENTAÇÃO DE FRANGOS

Figura 1. (A) Parênquima pancreático normal de frangos alimentados com dietas 15% soja integral tostada, (B) Hipertrofia e hiperplasia pancreática de frangos alimentados com dietas contendo 15% de soja integral crua.....104

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

® - registrado
°C – grau Celsius
Aa – aminoácidos
AB – alcian-blue
AGCC – ácidos graxos de cadeia curta
AGL – ácidos graxos livres
AS – ácido siálico
AV – altura de vilo
Ca – cálcio
CA – conversão alimentar
CDAi – coeficiente de digestibilidade aparente ileal
CHO - carboidratos
CIA – cinzas insolúveis em ácido
CMC – carboximetilcelulose
CR – consumo de ração
E - enzima
EB – energia bruta
EE – extrato etéreo
ED – energia digestível
EM – energia metabolizável
EMA – energia metabolizável aparente
EMAn – energia metabolizável aparente corrigida para nitrogênio
EPM – erro padrão da média
FA – farelo de arroz
FAN – fatores antinutricionais
FB – fibra bruta
FI – fator de indigestibilidade
FP – farinha de penas
FT – farelo de trigo
G – grama
GP – ganho de peso
HE- hematoxilina-eosina
I – ingrediente
ID – intestino delgado
IG – intestino grosso
IP6 – hexafosfato de inositol
MM – matéria mineral
MS – matéria seca
$NaHCO_3$ – bicarbonato de sódio
NT_d – nutrientes da dieta
NT_i – nutrientes no conteúdo ileal
OAS – óleo ácido de soja
ODS - óleo degomado de soja
P – fósforo
PA – peso absoluto
PB – proteína bruta
PC – profundidade de cripta
Pd – fósforo disponível
PNA – polissacarídeos não-amiláceos
PNAs – polissacarídeos não-amiláceos solúveis
PNAi – polissacarídeos não-amiláceos insolúveis
PR – peso relativo
PV – peso vivo
SIC – soja integral crua
SID – soja integral desativada
SIS – soja integral supertostada
TGI – trato gastrointestinal
TiO_2 – dióxido de titânio

Resumo

Para que o trato gastrointestinal (TGI) desempenhe suas funções de maneira adequada é imprescindível que sua estrutura esteja íntegra. Inúmeros fatores podem alterar a dinâmica e a estrutura do TGI. Dentre estes, a presença de fatores antinutricionais como polissacarídeos não-amiláceos, peróxidos, aminas biogênicas, fitato nos alimentos são exemplos de compostos que podem ter efeitos prejudiciais sobre a saúde intestinal e produtividade animal. Deste modo, o objetivo geral desta tese foi avaliar como a inclusão de diferentes ingredientes adicionados a ração pode influenciar o desempenho, morfometria intestinal, peso de órgãos, concentração de ácido siálico e digestibilidade dos nutrientes em frangos criados até os 21 dias de idade. Para tanto, foram realizados diferentes experimentos, os quais tiveram como ingredientes testados: soja integral crua, tostada e superaquecida, óleo ácido de soja, farinha de penas, farelo de trigo e farelo de arroz. No capítulo 2 foi demonstrado que o processamento adequado da soja integral é fundamental, pois a inclusão de soja integral crua nas rações afetou tanto a integridade intestinal como a estrutura pancreática de frangos. Já, o superprocessamento do grão da soja prejudicou o aproveitamento de nutrientes pelas aves. No capítulo 3, verificou-se que a inclusão do óleo ácido de soja pode ser realizada como uma fonte energética alternativa ao óleo de soja sem prejuízos a altura de vilos, profundidade das criptas, concentração de ácido siálico e digestibilidade da ração. No entanto, não recomenda-se a inclusão do farelo de trigo e farinha de penas nas dietas de frangos, mesmo quando em níveis baixos. No capítulo 4 foi demonstrado que a inclusão de 25% de farelo de arroz ou farelo de trigo reduziu o aproveitamento de nutrientes e o desempenho de frangos. Já, a inclusão da combinação de enzimas demonstrou exercer efeitos positivos sobre o desempenho e digestibilidade dos nutrientes em frangos alimentados com dietas contendo farelo de arroz.

Palavras-Chave: Ácido siálico; digestibilidade; frangos; ingredientes; processamento; saúde intestinal.

Abstract

It is essential that gastrintestinal tract present intact structure to perform properly its functions. Many factors may alter the dynamics and structure of TGI. Antinutritional factors as non-starch polysaccharides, peroxides, biogenic amines phytate in foods are examples of compounds which can have detrimental effects on gut health and animal productivity. Thus the aim of this thesis was to evaluate how the inclusion of different ingredients may influence performance, intestinal morphology, organ weight, sialic acid levels, and digestibility in broilers at 21 days of age. In chapter 2, was observed that appropiated full fat soybean processing is fundamental, because the inclusion of raw full fat soybean affected in a negative way the intestinal integrity and pancreatic structure of broilers. Overprocessing of the full fat soybean impaired nutrient utilization by the chickens. In chapter 3, the results showed the acidulated soapstock may be included as an alternative to soybean oil without cause damage on villus height, crypt depth, sialic acid levels, and digestibility. However, it is not recommended the inclusion of wheat bran and feather meal in broiler diets, even at low levels. In chapter 4, it was demosntrated 25% of rice bran or wheat pollard inclusion reduced nutrient utilization and performance of chickens. Enzyme supplementation had shown positive effects on performance and nutrient digestibility in broilers fed diets containing rice bran.

Key words: broiler, digestibility; feedstuffs; intestinal health, processing, sialic acid.

Capítulo 1 – Considerações Gerais

1. Introdução

O trato gastrointestinal (TGI) é a via de entrada de nutrientes e macromoléculas essenciais ao desenvolvimento produtivo das aves. O funcionamento do TGI esta intimamente associado às estruturas do epitélio intestinal. Assim, para que os nutrientes sejam devidamente digeridos e absorvidos pelo animal é fundamental que a estrutura morfológica do TGI esteja íntegra. Qualquer distúrbio e/ou lesão do TGI, além de reduzir a quantidade de substrato digerido e absorvido, aumenta o custo protéico e energético para renovação celular e produção de muco, com consequente aumento na exigência de mantença e redução na produtividade (Dibner et al., 1996).

No Brasil, a maioria das dietas para frangos são compostas basicamente por milho e farelo de soja. Reduzir o custo de produção é a preocupação constante da cadeia avícola e as oscilações sazonais nos preços destas matérias-primas têm levado a indústria da alimentação animal buscar alternativas que possam substituir os ingredientes tradicionalmente utilizados na formulação de rações. No entanto, assim como o milho e o farelo de soja, os co-produtos provenientes do processamento de cereais e leguminosas contêm fatores antinutricionais que podem afetar a integridade intestinal, diminuir a digestibilidade dos nutrientes e prejudicar o desempenho produtivo animal (Yegani & Korver, 2008).

Os fatores antinutricionais são substâncias biologicamente ativas capazes de exercer efeitos indesejáveis sobre a saúde do TGI, tais como aumento da viscosidade da dieta, lesões na mucosa do intestino, desequilíbrio na microbiota intestinal, entre outros. Uma ampla variedade de ingredientes utilizados na alimentação animal (trigo, sorgo, soja, milho, seus co-produtos, entre outros) apresentam fatores antinutricionais em sua composição. Os polissacarídeos não-amiláceos, peróxidos, aminas biogênicas, fitato são exemplos de compostos que podem ter efeitos prejudiciais sobre a saúde intestinal e produtividade animal.

A literatura apresenta trabalhos que estudam digestibilidade dos nutrientes e valores de energia metabolizável de inúmeros ingredientes utilizados na alimentação animal (Nery et al. 2007; Freitas et al. 2005; Nunes et al. 2001). Entretanto, trabalhos que investiguem o impacto dos ingredientes utilizados sobre a saúde intestinal das aves são escassos. Objetivou-se, portanto, avaliar os efeitos da adição de diferentes ingredientes (soja integral, farelo de trigo, farelo de arroz, farinha de penas e óleo ácido de soja) sobre a

morfometria intestinal, concentração de ácido siálico (ácido N-acetilneuramínico) no conteúdo ileal, digestibilidade da ração e desempenho de frangos aos 21 dias de idade.

2. Revisão de Literatura

2.1 Estrutura do trato gastrintestinal

O trato gastrintestinal (TGI) é um tubo oco e fibromuscular recoberto por epitélios especializados na ingestão, passagem, alterações físicas e químicas do alimento, absorção dos produtos da digestão e excreção dos resíduos metabólicos. Além das funções de digestão e absorção da dieta, o TGI também atua como barreira entre o ambiente externo e interno desempenhando funções imunológicas. Dentro das divisões do TGI das aves (bico, esôfago, papo, proventrículo, moela, intestinos delgado e grosso e cecos), o intestino delgado é considerado o principal órgão de digestão e absorção, sendo o instestino grosso e cecos considerados importantes regiões para colonização de microrganismos (Koutsos & Arias, 2006).

A parede do TGI é composta basicamente por quatro camadas ou túnicas: mucosa, submucosa, muscular e serosa, as quais são compostas por células e tecidos altamente especializados nos processos de digestão, absorção, produção de muco, entre outros. A mucosa intestinal apresenta projeções microscópicas, denominadas vilosidades ou vilos, que auxiliam no processo de digestão e aumentam a área superficial interna de absorção dos nutrientes. As vilosidades apresentam diversos tipos celulares em sua estrutura (Figura 1), sendo 80% ou mais, células absortivas chamadas de enterócitos. Para aumentar ainda mais a superfície absortiva, os enterócitos apresentam projeções voltadas para o lúmen intestinal denominadas como microvilos. As células caliciformes, responsáveis pela produção de muco, encontram-se intercaladas ao longo da superfície dos vilos entre os enterócitos. A produção de muco pelas células caliciformes é uma maneira do organismo proteger-se contra agentes agressores e estressores presentes no lúmen intestinal.

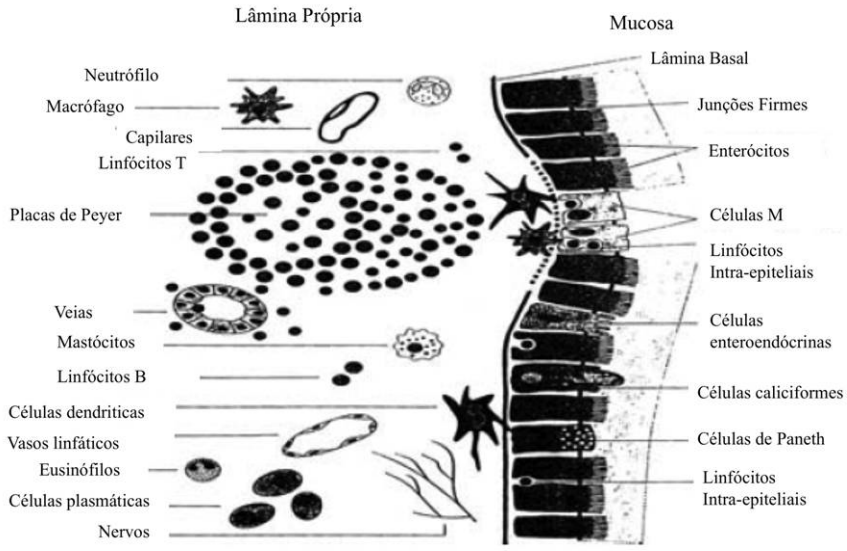

Figura 1. Representação esquemática dos tipos celulares na mucosa intestinal (Pabst & Rothkötter, 1998 citados por Bannink et al., 2006).

Os vilos apresentam formatos distintos entre os segmentos do intestino delgado e grosso. No duodeno são arredondados no ápice, mais altos e mais estreitos em relação aos do jejuno. No íleo são mais curtos e mais largos do que os do jejuno, enquanto os do intestino grosso são os mais densos e curtos comparados aos demais (Turk, 1982). Ferrer et al. (1991) investigaram a estrutura do epitélio dos cecos em comparação ao epitélio presente no jejuno de aves, verificarando que as vilosidades cecais são irregulares em altura, mais curtas, menos numerosas em relação às presentes no jejuno. Porém, segundo os autores a região proximal dos cecos e jejuno apresentam algumas funcionalidades em comum como a capacidade de transportar monossacarídeos e aminoácidos contra um gradiente de concentração.

Na base das vilosidades estão localizadas estruturas denominadas criptas de Lieberkühn, onde estão presentes células indiferenciadas que participam do processo de renovação celular. O processo de renovação das células da mucosa intestinal é contínuo e a medida em que essas células migram em direção ao ápice dos vilos se diferenciam predominantemente em enterócitos (Uni, 2006). Ao alcançar o topo dos vilos, aproximadamente de ≈48-72 horas, as células sofrem apoptose e são lançadas no lúmen intestinal (Jeurissen et al., 2002). Fatores nutricionais, fisiológicos e imunológicos podem afetar a taxa de renovação da mucosa. Alguns nutrientes específicos podem estimular a

taxa de proliferação celular, bem como alguns hormônios, mediadores de processos inflamatórios e outros fatores que podem exercer o mesmo efeito (Bannink et al., 2006).

Em seguida, e apenas subjacente à camada mucosa, dentro de cada vilosidade está localizada a lâmina própria, uma rede estrutural que além de firmar o epitélio, contém fibras nervosas, assim como uma gama de células imunológicas (imunoglobulinas, linfócitos B e T, macrófagos, eosinófilos, mastócitos e células dendriticas) importantes na defesa do hospedeiro contra agentes estranhos (Koutsos & Arias, 2006).

Diante de tamanha e complexa estrutura, os tecidos do TGI apresentam alta atividade metabólica comparados a outros tecidos do corpo. Além do processo de perda e renovação celular, denominado como “turnover”, ser responsável pelo consumo de grande parte da energia e nutrientes, o TGI também gasta energia e nutrientes para funções como síntese de enzimas e mucina, processo de quebra e transporte de nutrientes, defesa contra organismos patogênicos mediadas pelo sistema imunológico, defesa contra fatores antinutricionais da dieta, entre outros. Segundo Nieto & Lobley (1999) a taxa de síntese e degradação protéica no TGI é muito mais alta quando comparadas ao do tecido muscular esquelético. Nas aves, em particular nos frangos de corte, o TGI é o órgão que necessita de maior aporte de nutrientes e recebe entre 23% e 36% do total de energia e entre 23% e 38% de toda a proteína absorvida pelo organismo (Goddeeris et al., 2002). A alta atividade metabólica é acompanhada pela alta demanda por nutrientes, as quais podem variar de acordo com o estado de saúde e nutricional do animal e com a microbiota presente no TGI (Bannink et al., 2006).

A microbiota patogênica e probiótica pode estar presente tanto no lúmen quanto ligada à mucosa do hospedeiro. Segundo Jeurissen et al. (2002), a composição da microbiota luminal pode ser principalmente determinada pela quantidade de nutrientes disponíveis, taxa de passagem e efeito de substâncias antimicrobianas, enquanto a microbiota da mucosa é determinada principalmente pelos sítios de adesão nos enterócitos, taxa de produção de mucina, secreção de imunoglobulinas e taxa de extrusão celular. Ambas interagem entre si e juntas auxiliam na determinação do estado de saúde e integridade intestinal.

O intestino íntegro implica em um animal saudável, o qual por sua vez, digere e utiliza nutrientes mais eficientemente (Choct, 2009). No entanto, a manutenção da saúde do TGI é altamente complexa e depende do equilíbrio entre macro e micro-estruturas do intestino, tecido linfóide associado ao intestino e da camada mucosa, da microbiota intestinal e da dieta (Adams, 2007; Choct, 2009). Desta maneira, qualquer fator que altere

a saúde intestinal influenciará o organismo animal como um todo, alterando a absorção e necessidades de nutrientes e, consequentemente a produtividade (Dibner & Richards, 2004).

2.2. Mucina e ácido siálico

A superfície absortiva do TGI é coberta por uma camada de muco composta predominantemente por glicoproteínas sintetizadas e secretadas pelas células caliciformes (Ito et al., 2009). A camada de mucina que recobre todo epitélio do TGI é a primeira barreira seletiva essencial que auxilia na manutenção da saúde e integridade intestinal, lubrificando as superfícies do epitélio, protegendo a mucosa das agressões das secreções digestivas, dos microrganismos patogênicos e das agressões físico-químicas da digesta. Associada à sua função de proteção, a mucina também está envolvida na "filtragem" de compostos no TGI, pois atua como uma barreira de difusão entre o lúmen e a mucosa para nutrientes, drogas, toxinas e macromoléculas (Jeurissen et al., 2002; Horn et al., 2009).

No lúmen, a mucina está parcialmente protegida das enzimas proteolíticas pelos oligossacarídeos presentes em sua estrutura, deste modo, é pouco digerida no intestino delgado (Adams, 2007). No entanto, grande parte dessa mucina é catabolizada pelas bactérias ou excretada por meio da descamação intestinal, sendo de qualquer maneira não aproveitada pelo animal (Koutsos & Arias, 2006). Não está claro na literatura como o balanço ideal entre síntese e degradação de mucina afeta a nutrição animal, mas sabe-se que a secreção excessiva aumenta a perda endógena de nutrientes e também prejudica a absorção destes pela barreira formada entre a digesta e as enzimas. Porém sabe-se que uma camada muito fina de muco pode favorecer o potencial de invasão de organismos patogênicos (Smits and Annison, 1996; Jeurissen et al., 2002).

As mucinas intestinais são compostas por uma fração protéica (~1.500 to 4.500 aminoácidos), particularmente rica em aminoácidos como a treonina, a serina e a prolina, ligada a centenas de oligossacarídeos. A fração de carboidratos da camada de muco é composta basicamente por galactose, fucose, N-acetilglucosamina, N-acetilgalactosamina e ácido siálico (Jeurissen et al., 2002; Koutsos & Arias, 2006). As mucoproteínas apresentam de 10-15% de ácido siálico em sua composição total (Feeney et al., 1960), sendo que a secreção de proteína endógena para o lúmen do TGI é realizada de maneira contínua.

Qualquer componente, dietético ou ambiental, pode induzir alterações na dinâmica de produção de mucinas, afetando a viscosidade, integridade da camada de muco e a absorção de nutrientes (Horn et al., 2009). Qumicamente as mucinas podem ser divididas em neutras e ácidas, sendo a última subdividida em sulfatada ou sialiladas. A alteração na composição da mucina pode reduzir a absorção de nutrientes e/ou aumentar a necessidade de energia para manutenção do epitélio intestinal. O tipo de mucina produzida pode também ser reflexo da maturidade/comprimento dos vilos/criptas, indicando que o perfil de mucina encontrada no intestino é indicativo de morfologia intestinal alterada (Jeurissen et al., 2002). Sharma et al. (1997) verificaram que a composição da mucina é alterada pelo perfil de ingredientes da dieta (trigo x milho). Embora o milho e o trigo apresentem propriedades físico-químicas parecidas, os autores postulam que o mecanismo de ação destes ingredientes estimula as células caliciformes de maneira diferente.

O ácido siálico é um termo genérico utilizado para definir uma família de monossacarídeos encontrados nas extremidades terminais de cadeias de açúcares, os quais estão ligados a superfície das células e às glicoproteínas solúveis (Angata & Varki 2002). Segundo Varki (1992), os ácidos siálicos são uma família de açúcares carboxilados de nove carbonos usualmente encontrados como monossacarídeos nas posições terminais de oligossacarídeos (Figura 2). Existem inúmeros tipos de ácido siálico distribuídos entre os vertebrados, sendo o ácido N-acetilneuramínico o mais encontrado, acreditando-se ser o precursor biosintético de todas as demais moléculas de ácido siálico (Nakano et al., 1994; Pirgozliev et al., 2005; Pirgozliev et al., 2007).

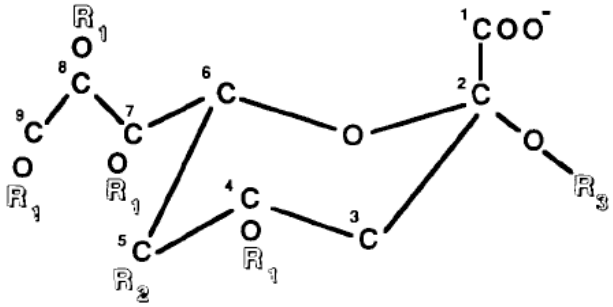

Figura 2. Estrutura do ácido siálico. A diversidade deste composto é gerada a partir das inúmeras formas entre as ligações glicosídicas (Adaptado Varki, 1992).

Cowieson et al. (2004a), demonstraram que a redução na excreção de ácido siálico esta correlacionada com a redução na excreção de aminoácidos endógenos. Ainda, os autores demonstraram que a ingestão de fitato aumenta a excreção de aminoácidos endógenos, nitrogênio, minerais e ácido siálico e, que a suplementação de fitase reduz estas perdas endógenas. Da mesma forma Pirgozliev et al. (2005) verificaram redução na secreção de ácido siálico no TGI de frangos alimentados com dietas contendo fitase. Além das perdas endógenas citadas acima, Pirgozliev et al. (2007) observaram correlação negativa significativa entre a energia metabolizável da dieta e a concentração de ácido siálico excretado em dietas suplementadas com fitase, sugerindo que a suplementação da enzima influencia positivamente a saúde intestinal de frangos.

Os ácidos siálicos estão envolvidos em muitas funções fisiológicas e contribuem para adesão celular, inibição enzimática, ação hormonal, entre outros, sendo o aumento na sua excreção associado frequentemente a problemas decorrentes da senescência celular, infecções bacterianas, certas condições patológicas e fragilidade celular (Pirgozliev et al., 2005). Segundo Rutherfurd et al. (2002) e Pirgozliev et al. (2005), a análise de AS pode ser utilizada como indicador de perdas endógenas do TGI em animais e sua determinação em amostras biológicas (ex: excretas) pode ser utilizada como uma ferramenta científica que fornece informações sobre o metabolismo e saúde intestinal em animais de produção.

2.3 Ingredientes e limitações para sua utilização na alimentação animal

O aumento constante na produção e consumo de carnes no mundo reflete na necessidade do crescimento acentuado na produção de rações. Segundo o boletim informativo do setor de alimentação animal de dezembro de 2013, a estimativa de ração produzida de janeiro a setembro de 2013 foi de 46,5 milhões de toneladas, destas 22,1 milhões de toneladas foram destinadas a avicultura de corte. A previsão para o ano de 2014 é que haja aumento em 3% na produção de rações. O aumento no consumo de carnes pela população mundial, o uso de cereais como o milho para produção de biocombustíveis e os princípios de formulação de custo mínimo são considerados pontos cruciais para a busca por ingredientes alternativos do milho e farelo de soja, que possam reduzir os custos na produção animal.

Vários fatores devem ser avaliados na oportunidade da utilização de ingredientes “alternativos” ao milho e farelo de soja, dentre eles: viabilidade econômica, potencial

nutritivo, disponibilidade comercial, características físico-químicas do ingrediente e implicações ambientais (Bellaver & Ludke, 2004; Divakala, 2008). Na alimentação de aves as principais fontes de energia são o milho e o sorgo e as de proteína são principalmente a soja, seus co-produtos e farinhas de origem animal. A utilização de co-produtos da indústria do abate animal na fabricação de rações para animais é uma alternativa importante na cadeia produtiva, pois os resíduos gerados no abatedouro se transformam em matéria-prima para o elo da indústria de alimentação animal. Deve-se salientar também a importância no controle microbiológico nos ingredientes de origem animal, pois a fabricação de rações com qualidade não pode ser realizada a partir de ingredientes de má qualidade (Bellaver, 2002).

Co-produtos provenientes do processamento de cereais são atrativos por frequentemente possuir concentrações consideráveis de proteínas, carboidratos e gordura (Annison, 1995). Assim como são considerados fonte de nutrientes e energia para os animais, em sua composição estão presentes substâncias capazes de exercerem efeitos indesejáveis sobre a saúde do TGI, tais compostos são considerados como fatores antinutricionais. Dentre estas substâncias estão os fitatos, polissacarídeos não-amiláceos (PNA), tanino, hemaglutininas, inibidores de enzimas digestivas, peróxidos, entre outros. A concentração dos fatores antinutricionais e antiqualitativos nos ingredientes e na ração acabada é variável e dependente do processamento, nível de inclusão dessas matérias-primas e da utilização de aditivos que minimizem os prejuízos causados por eles.

Pelo fato dos fatores antinutricionais não serem tóxicos aos animais, em sua grande maioria, muitas vezes os nutricionistas negligenciam a presença desses compostos na ração e seus efeitos negativos sobre a saúde intestinal das aves. Efeitos como, lesões no TGI e órgãos acessórios, alterações do equilíbrio da microbiota intestinal, redução na digestibilidade da dieta e queda no desempenho podem ser observados em animais recebendo dietas contendo estes fatores antiqualitativos.

2.3.1 Soja integral

A utilização de soja integral tem despertado grande interesse na alimentação de aves de corte, pois além de ser uma fonte com alto teor de proteína (38-42%) também é rica em lipídeos (18-22%) (Waldroup, 1982; Anderson & Wolf, 1995). Outro aspecto interessante na utilização da soja na forma integral é quando há limitações na utilização de fontes lipídicas devido ao seu custo elevado, condições de armazenamento e

conservação, problemas com dosagem e mistura de óleo a e/ou gorduras na ração (Navarro, 1992). Ainda com relação ao conteúdo lipídico, segundo Waldroup (1982) a adição de soja integral apresenta a vantagem de que a porção lipídica está dentro da matriz da partícula de soja, não necessitando ser pulverizada na mistura, sendo a qualidade desta porção melhor do que quando adicionada de outras fontes.

A soja integral crua apresenta alguns fatores antinutricionais que afetam o seu valor nutritivo e a digestibilidade dos nutrientes da dieta prejudicando a saúde dos animais. Estes fatores podem ser classificados como termolábeis ou termoestáveis. As lectinas (hemaglutininas), os inibidores de proteases e as lipoxigenases são considerados como fatores termolábeis. Já, dentre os principais fatores termorestáveis estão os oligossacarídeos, polissacarídeos não-amiláceos (PNA), fatores alergênicos (glicinina e β-conglicinina) e fitato (Liener, 1981; Anderson & Wolf, 1995; Clarke & Wiseman, 2000; Oke, 2007).

O processamento do grão se faz necessário para inativar alguns dos fatores antinutricionais das leguminosas e disponibilizar o máximo de nutrientes (Anderson & Wolf, 1995; Bampidis et al., 2009). Os fatores antinutricionais de leguminosas podem ser reduzidos ou destruídos por técnicas de processamentos como autoclavagem, extrusão, peletização, micronização, tostagem seca e úmida, retirada da casca, fermentação, germinação e imersão (Nyachoty et al., 1997; Anjos et al., 2012), tornando a soja integral um excelente ingrediente para a alimentação animal.

A efetividade do processo de inativação dependerá dos níveis iniciais dos fatores antinutricionais, temperatura, tempo de aquecimento, umidade e provavelmente espécie e variedade da leguminosa (Bampidis et al., 2009). Anjos et al. (2012), demonstraram que o tratamento de imersão com bisulfito de sódio seguido de tostagem a 120°C por 60 minutos foram suficientes para reduzir os níveis dos inibidores de tripsina e também do ácido fítico em grãos de feijão de 3.000-10.400 para <2000 (UI/g) e 1,2 para 0,86%, respectivamente.

Os inibidores de tripsina são proteínas de alto ou médio peso molecular sujeitos a desnaturação e inativação pelo aquecimento. O fator Kunitz apresenta uma cadeia polipeptídica simples composta por aproximadamente 181 resíduos de aminoácidos e desprovida de metionina, característica que confere a essa molécula poucas pontes dissulfeto em sua estrutura (Silva & Silva, 2000; Oke, 2007). Na sua forma ativa o fator Kunitz se complexa com a tripsina. Já, o fator Bowman-Birk apresenta alta proporção de ligações dissulfeto e é composto por 71 resíduos de aminoácidos em sua estrutura

(Liener, 1994), sendo capaz de se complexar a tripsina e quimiotripsina, prejudicando a digestão das proteínas. A estabilidade frente ao tratamento térmico é menor para o fator Kunitz em relação ao Bowman-Birk, pois o primeiro apresenta somente duas ligações dissulfeto, enquanto o segundo possui sete pontes dissulfeto em sua estrutura, conferindo-o maior resistência ao calor (Clarke & Wiseman, 2000). Ao avaliar 108 variedades e cultivares de soja, Kakade et al. (1973) relataram que o grão pode conter de 35 à 123 mg de inibidores de tripsina por grama de proteína.

A ação dos inibidores de proteases no organismo ocorrem por meio da ligação e bloqueio na atividade de enzimas proteolíticas secretadas pelo pâncreas (ex:.tripsina e quimiotripsina). Nesse caso há um *feedback* negativo no controle da secreção pancreática de tripsina, ou seja, quando o nível de tripsina no intestino delgado está baixo, como ocorre quando há complexação entre a enzima e seu inibidor, o pâncreas, ativado pela presença do hormônio colecistoquinina (CCK), responde de maneira compensatória produzindo mais enzima e sobrecarregando o órgão, podendo acarretar em hipertrofia e/ou hiperplasia das células pancreáticas. Como as enzimas pancreáticas (tripsina e quimiotripsina) são particularmente ricas em aminoácidos sulfurados, a hipertrofia pancreática aumenta a utilização desses aminoácidos para a síntese das referidas enzimas, podendo causar problemas nutricionais (Sgarbieri, 1996; Clarke & Wiseman, 2000; Borges et al., 2003; Oke, 2007).

Em seu estudo, Bielorai et al. (1973) observaram que em aves alimentadas com soja crua a digestão líquida do quimo no duodeno foi de 70%, sem nenhuma digestão adicional nos demais segmentos intestinais. Já, os animais alimentados com dietas contendo soja termicamente processada apresentaram digestão 20% maior em relação a soja crua. Segundo os autores, foi demonstrado que o aumento na digestão foi resultado do incremento da digestão nos segmentos posteriores ao duodeno. A hipertrofia pancreática em animais alimentados com soja crua e, consequentemente maior secreção de enzimas proteolíticas no duodeno foram responsáveis pela capacidade na digestão protéica neste segmento, entretanto, ainda assim não foi capaz de superar os efeitos dos inibidores de tripsina da dieta. Possivelmente as enzimas secretadas foram inativadas dentro do duodeno pelos inibidores de proteases e não puderam atuar sobre seu substrato no jejuno.

A redução significativa no crescimento, consumo de ração e na eficiência alimentar foram resultados verificados por Mogridge et al. (1996) em aves recebendo dietas contendo soja integral crua comparada à frangos alimentados com proteína isolada de

soja. Estes efeitos foram acompanhados pelo aumento significativo no tamanho do duodeno e pâncreas em relação ao peso corporal. Perez-Maldonado et al. (2003) e Brito et al. (2006), verificaram que aves alimentadas com soja integral crua ou subprocessada apresentaram pâncreas mais pesados comparadas às alimentadas com soja integral ou farelo de soja processados adequadamente.

As lectinas são um grupo de substâncias compostas basicamente por glicoproteinas, sendo encontradas na maioria das plantas. É denominada também como hemaglutinina por possuir a capacidade de provocar a aglutinação das hemácias de várias espécies animais. As lectinas são compostos termolábeis, portanto a soja integral crua ou processada de maneira ineficiente é rica em lectinas. Barca et al. (1991) analisaram o teor de lectina de soja *in natura* e processada, sendo os níveis de lectina mais altos encontrados na soja crua (3 600 µg/g) e os mais baixos (3,75 a 12,92 µg/g) em produtos de proteína de soja texturizada. Como era esperado, os níveis de atividade de lectina de soja dependeram do processamento térmico.

O principal modo de ação das lectinas sobre a saúde intestinal se deve ao fato destas se ligarem aos carboidratos presentes na mucosa, resultando na ruptura do epitélio intestinal, com diminuição da altura das vilosidades, alteração na atividade das enzimas da borda em escova e hipersecreção de proteína endógena, induzindo a hiperplasia do intestino delgado com o aumento do número de células caliciformes produtoras de muco, causando decréscimo na absorção (Borges et al., 2003; Oke, 2007). Além disso, segundo Clarke & Wiseman (2000), as lectinas presentes na soja podem influenciar os níveis de insulina no sangue, inibir a ação de dissacaridases e proteases intestinais, causar modificações degenerativas no fígado e interferir na absorção de ferro e lipídios.

Em seu estudo Maenz et al. (1999), demonstraram que 60% das lectinas da soja chegam ao intestino intactas e se ligam aos carboidratos de membrana provocando desorganização e destruição dos microvilos, aumentando o *turnover* das células intestinais. Com isso a secreção de enzimas pelas células intestinais é reduzida, os processos de digestão e absorção dos nutrientes ficam comprometidos, podendo haver hipersecreção de proteína endógena com maior produção de muco e perdas de proteínas plasmáticas para o lúmen intestinal. Todos esses fatores associados aumentam a demanda energética do animal e consequentemente os níveis de proteína e energia destinados ao crescimento são reduzidos. Segundo Douglas et al. (1999), em frangos jovens os inibidores de tripsina são os fatores antinutricionais mais importantes quando

comparados às lectinas. Entretanto, tanto o inibidor de tripsina quanto lectinas exercem efeitos complementares sobre a redução no crescimento (Palacios et al., 2004).

Embora atuem de maneiras distintas, pesquisas tem relatado que o superprocessamento do grão de soja e seus co-produtos é tão prejudicial quanto o subprocessamento. Segundo Savage et al. (1995) e Van der Poel et al. (1990), o processamento térmico pode resultar em redução do valor nutricional e na biodisponibilidade de aminoácidos importantes como cisteína, arginina e lisina. Além disso, o superaquecimento pode diminuir o valor nutricional da proteína, afetar a funcionalidade desta no alimento por diminuir sua solubilidade (Monteiro et al., 2003). O efeito do superprocessamento sobre a disponibilidade dos aminoácidos do farelo de soja para aves foi avaliado por Parsons et al. (1992), no qual os autores verificaram que a digestibilidade verdadeira de vários aminoácidos diminuiu à medida que se aumentou o tempo de autoclavagem deste ingrediente (de 0 para 40 minutos). Já o processamento realizado de forma adequada aumenta a disponibilidade das proteínas, tornando-as mais suscetíveis à ação de enzimas digestivas (Marsman et al., 1995).

Outra maneira de amenizar o problema dos fatores antinutricionais e a consequência do tratamento térmico inadequado sobre a qualidade da proteína seria a eliminação genética destes fatores na soja. Monteiro et al. (2003), relata que o programa de melhoramento genético da qualidade da soja da Universidade Federal de Goias já obteve diversas linhagens de soja que além de apresentarem ausência completa das enzimas lipoxigenases, ainda podem apresentar ausência do inibidor de tripsina Kunitz. Estes mesmos autores demonstraram que a eliminação genética do inibidor de tripsina Kunitz promoveu melhora acentuada na digestibilidade da proteína de soja em ratos, indicando que este inibidor pode ser o principal fator responsável pela diminuição na digestibilidade protéica.

A comparação de dietas com substituição parcial e total de soja integral crua por soja integral livre de inibidor de tripsina ou farelo de soja foi realizada por Zhang et al. (1991). Os autores verificaram que aves alimentadas com dietas contendo 30% de soja integral crua apresentaram pâncreas mais pesados, quando comparados aos tratamentos que continham soja integral livre de inibidor de tripsina ou com farelo de soja. No entanto, foi verificado também que os tratamentos contendo soja integral livre de inibidor de tripsina foram inferiores à dieta com inclusão de farelo de soja, concluindo que o inibidor de tripsina Kunitiz não é o único inibidor de protease presente no grão da soja responsável pela piora nos resultados.

O desenvolvimento de aves e suínos alimentados com dietas à base de farelo de soja convencional e soja integral livre de inibidor de tripsina Kunitiz foi comparado por Palacios et al. (2004). A eliminação genética de inibidor de tripsina Kunitz e lectina proporcionou uma melhora significativa no desenvolvimento desses animais. No entanto, segundo os autores, mesmo com a ausência dos principais fatores antinutricionais, a soja livre de inibidor de tripsina Kunitiz deve ser somente fornecida aos animais após ser submetida ao tratamento térmico. Tal afirmação pode ser confirmada no trabalho realizado por Brune et al. (2010), no qual os autores relataram que ratos alimentados com dieta à base de soja integral crua livre de inibidor de tripsina Kunitiz apresentaram lesões, de leves a severas, sobre a integridade da camada de células epiteliais e a região apical das microvilosidades. Resultado esse explicado pela presença de lectinas e seus efeitos sobre as alterações na morfologia e função fisiológica do intestino.

Os PNA também são considerados fatores antinutricionais importantes dentro da dieta de monogástricos, estando presentes no grão da soja em torno de 20-30%. Os principais PNA presentes na soja são as arabinoxilanas, arabinogalactanas e compostos pécticos (Bach-Knudsen, 1997). Ao contrário das lectinas e inibidores de proteases, os PNA são termoestáveis e capazes de serem degradados somente pela adição de enzimas exógenas à dieta (Choct et al., 2010). Os PNA e seus efeitos sobre o organismo animal serão abordados com maiores detalhes no tópico sobre utilização de farelo de trigo e seus fatores antinutricionais.

O ácido fítico não é destruído pelo tratamento térmico e seu teor na soja varia entre 1,0 à 2,3%, com maior concentração nos cotilédones (1,6%), seguido pela casca (0,1 à 0,5%) (Anderson & Wolf, 1995). O fósforo dos ingredientes de origem vegetal são frequentemente encontrados na forma de ácido fítico (ou de seu sal, fitato) (Clarke & Wiseman, 2000). O ácido fítico atua formando complexos com minerais, como o fósforo, ferro, zinco, manganês, dentre outros, além de aminoácidos, tornando-os indisponíveis para o metabolismo animal. Pode também liga-se a proteínas, reagindo positivamente com os íons e grupos funcionais. Estes complexos são extremamente estáveis em pH baixo (3-4) e quando formados não são digeridos no intestino de animais monogástricos. Fato esse que resulta em maior excreção dos minerais na cama, a qual se utilizada como fertilizante contribuindo para a poluição ambiental em áreas com criação intensiva de animais (Clarke & Wiseman, 2000).

As lipoxigenases são enzimas que oxidam rapidamente ácidos graxos poliinsaturados presentes na soja, formando peróxidos que se degradam em compostos carbonílicos (ex:.aldeídos e cetonas). Estes produtos ao se ligarem às proteínas resultam em sabor desagradável (Monteiro et al., 2003), fato esse que pode limitar o consumo em algumas espécies com o paladar mais aguçado. No entanto, temperaturas acima de 85°C inativam eficientemente estas enzimas (Borges et al., 2003).

2.3.2 Óleo ácido de soja

A estrutura química dos lipídios apresenta grande influencia sobre seu valor energético quando adicionados a dietas para frangos (Wiseman & Salvador, 1991). Características como grau de saturação dos ácidos graxos, tamanho da cadeia carbônica, concentração de ácidos graxos livres, posição dos ácidos graxos saturados e ácidos graxos insaturados na molécula de glicerol, idade da ave e interação entre ácidos graxos insaturados e saturados influenciam de maneira significativa o processo de digestão e absorção dos lipídios, afetando valor nutricional e digestibilidade dos óleos e gorduras (Renner e Hill, 1961; Ketels & Groote, 1989; Wiseman & Salvador, 1991; Leeson e Summers, 2001) .

O óleo ácido de soja (OAS), também chamado de ácido graxo de soja, é um co-produto do refino do óleo de soja da indústria alimentícia. Os sais orgânicos de sódio (saponificação dos ácidos graxos livres) são compostos formados a partir da reação entre os AGL e o hidróxido de sódio, adicionado no processo de neutralização do óleo degomado. O produto formado nesta etapa é denominado como “soapstock” ou ainda “borra”, que representa cerca de 2 a 3% do óleo degomado de soja (Raber et al., 2008). Na etapa seguinte, o “soapstock” passa por um processo de acidificação por meio da adição de ácidos (ex: sulfúrico, fosfórico) revertendo o processo de saponificação dos AGL e formando então o óleo ácido de soja (Gaiotto, 2004). Segundo Gaiotto (2004), a quantidade de AGL presentes no OAS é dependente do processo de extração, condições de estocagem e conservação do grão e processo de degomagem.

No processamento do óleo de soja, a ligação estér entre a molécula de glicerol e as moléculas de ácidos graxos são rompidas, resultando na liberação de glicerol e alta concentração de ácidos graxos livres (AGL) (Gaiotto et al., 2000; Pardio et al., 2001; Freitas et al., 2005). A concentração de AGL em óleos ácidos pode variar de 60% a 95%, enquanto óleos refinados apresentam quantidades não superiores a 1% (Lipstein &

Bornstein, 1968; Vila & Esteve-Garcia, 1996; Raber et al. 2008). O perfil de ácidos graxos do óleo de soja é similar ao do perfil do óleo ácido de soja (Tabela 1), sendo a principal diferença entre estes ingredientes a concentração de AGL. Raber et al. (2009) verificaram que 30% da gordura total do OAS se apresentava na forma de mono, di e triglicerídeos. De acordo com Vila & Esteve-Garcia (1996) a composição remanescente dos óleos ácidos não é bem definida, mas é provável que seja composto por ácidos graxos oxidados, fosfolipídios, esteróis, tocoferóis, carotenóides, pigmentos e outros componentes lipossolúveis.

Tabela 1. Perfil de ácidos graxos (%) do óleo de soja e do óleo ácido de soja

Ácidos Graxos	Óleo de Soja[1]	Óleo ácido de Soja[1]	Óleo ácido de Soja[2]
Palmítico (16:0)	12,6	13,0	10,31
Esteárico (18:0)	4,4	3,6	3,84
Oléico (18:1)	22,7	25,6	23,02
Linoléico (18:2)	52,8	48,1	53,81
Linolênico (18:3)	6,8	0,2	5,10
AGL	NA	NA	33,20
Saturados	17,4	20,6	NA
Insaturados	23,0	26,1	NA
Polinsaturados	59,6	53,1	NA

[1]Vieira et al. (2002); [2]Vila & Esteve-Garcia (1996); NA – não avaliado

A alta concentração de AGL deste ingrediente prejudica sua digestibilidade, pois de acordo com Garrett & Young (1975) e Sklan (1979), a presença de ácidos graxos ligados a molécula de glicerol é de extrema importância para a formação de micelas no processo de emulsificação das gorduras, fato esse que tem influencia direta sobre a absorção dos lipídios. Em seu trabalho, Sklan (1979) observou redução na formação de micelas no intestino delgado de frangos alimentados com óleos ácidos, demonstrando a importância da presença dos monoglicerídeos no processo de emulsificação e absorção dos lipídios. No entanto, Raber et al. (2008) ao observar maior coeficiente da MS em aves recebendo dietas contendo OAS em relação ao óleo degomado de soja relataram que seus resultados contrapõe a hipótese de que a menor proporção de triglicerídeos presente no OAS reduz a ativação da secreção de bile e a formação de micelas em aves proposta por Wiseman & Salvador (1991).

A capacidade de reabsorção de sais biliares é outro fator que contribui para melhorar a digestibilidade de compostos graxos. Em aves jovens, a capacidade de reabsorção dos sais e ácidos biliares, devido a imaturidade na circulação entero-hepática, não é tão eficiente quanto em aves adultas (Nir et al., 1993). Freitas et al. (2005) verificaram que pintainhos alimentados com dietas contendo OAS apresentaram digestibilidade do coeficiente de metabolizabilidade do extrato etéreo e de energia metabolizável aparente inferiores à galos, resultados estes associados com a melhora na digestibilidade dos lipídios conforme os animais se desenvolvem. Wiseman & Blanch (1994), adicionaram níveis crescentes de AGL na dieta de pintainhos (12 dias) e frangos (52 dias) e verificaram em seu estudo que a EMA da dieta diminui conforme se aumenta a concentração de AGL, sendo mais pronunciado em pintainhos do que em galos. No entanto Raber et al. (2008), relatam que as linhagens atuais têm grande capacidade de aproveitar lipídios da dieta, inclusive óleos ácidos.

Mesmo sendo uma fonte de energia mais barata em relação ao óleo de soja, a menor proporção de gordura total na forma de triglicerídeos, a maior proporção de AGL e falta de padronização no processamento tornam o OAS menos atrativo na formulação de dietas para aves. Segundo Vieira et al. (2002), a variabilidade nos valores de energia metabolizável do OAS é o maior desafio que os nutricionistas enfrentam na formulação de dietas com maior precisão. A tabela 2 apresenta valores de EMAn encontrados em pesquisas utilizando o OAS em dietas de aves.

Tabela 2. Valores de energia metabolizável aparente corrigida para nitrogênio (EMAn) do óleo ácido de soja (OAS) segundo a literatura.

Ingrediente	EMAn (kcal/kg^{-1})	Autores
Óleo ácido de soja	8.114	Vieira et al. (2002)[3]
Óleo ácido de soja[1]	8.438	Freitas et al. (2005)
Óleo ácido de soja[2]	7.338	
Óleo ácido de soja	8.478	Raber et al. (2008)

[1]Galos; [2]Pintos; [3]Matéria seca.

De acordo com Blanch et al. (1996), os valores nutritivos das fontes lipídicas são mais influenciados pela quantidade de AGL do que pelo grau de saturação da gordura. Os

autores verificaram que o valor de EMA, digestibilidade da gordura bruta e dos ácidos graxos livres foram inferiores em aves alimentadas com dietas contendo somente OAS como fonte lipídica e, quando misturado ao sebo bovino (50:50) os valores de digestibilidade e EMA foram superiores aos do uso de OAS isoladamente.

A redução nos índices de desempenho das aves que receberam dietas com óleo ácido de soja em relação às que receberam dietas com óleo degomado foi observada por Gaiotto et al. (2000). Os resultados obtidos por esses autores evidenciaram a necessidade de determinar os valores energéticos dos óleos e das gorduras para se obter maior precisão na formulação de rações. Segundo os autores, tais diferenças foram verificadas pois no estudo foi realizada apenas a substituição do óleo degomado pelo óleo ácido, sem correções para os níveis de energia das dietas em função da energia das fontes de gorduras utilizadas.

Um ponto importante a ser destacado na utilização de óleos, gorduras ou qualquer ingrediente que apresente quantidades consideráveis de matéria graxa é a formação de peróxidos pelo processo de peroxidação lipídica durante a estocagem e/ou processamento da gordura ou dieta. Tal processo é responsável pela formação de radicais livres, peróxidos e compostos secundários como aldeídos, cetonas e hidrocarbonetos (Rocha et al., 2012). Os lipídios ricos em ácidos graxos insaturados são mais susceptíveis ao desenvolvimento de oxidação quando comparados aos compostos por ácidos graxos saturados. Além disso, as reações oxidativas podem destruir componentes importantes dos alimentos como vitaminas lipossolúveis e ácidos graxos essenciais (Adams, 1999).

A formação de radicais livres no ingrediente ou dentro do organismo, quando não neutralizada pelos agente antioxidantes, podem causar a degradação oxidativa dos ácidos graxos insaturados da membrana fosfolipídica, levando ao desequilíbrio físico-químico e disfunções da membrana celular (Combs, 1998). Dibner et al. (1996), demonstraram o efeito tóxico da gordura oxidada e dos produtos secundários da oxidação nas células por meio da observação da proliferação celular no epitélio intestinal e hepático. Nos animais alimentados com gordura oxidada houve uma acentuada redução no tempo de vida das células dos epitélios estudados, levando ao menor aproveitamento dos alimentos e aumento na demanda energética e, consequentemente, a um aumento na exigência de mantença destes animais.

As modificações na função intestinal, ou seja, na absorção dos nutrientes, de aves alimentadas com gordura oxidada influenciam a capacidade de absorção de glicose,

aumentada em resposta ao déficit de energia gerado pela baixa energia metabolizável da gordura oxidada, ou talvez esse aumento na absorção indique que as aves necessitam de mais energia quando estão sob estresse oxidativo. Rocha et al. (2012), avaliaram o efeito da adição de óleo de soja oxidado sobre a altura dos vilos e profundidade das criptas do jejuno em perus com 19 dias de idade. Os autores verificaram que a altura dos vilos do intestino de animais alimentados com óleo de soja contendo alto nível de peróxidos foi menor em relação aos animais alimentados com óleo de soja sem formação de peróxidos.

A utilização do OAS em rações de aves se apresenta como uma fonte lipídica interessante e uma alternativa de menor custo para a indústria, porém, é dependente de garantias mínimas de qualidade por parte dos fornecedores. Estabelecer padrões para os óleos ácidos quanto ao valor de energia, umidade, impurezas, saponificação e acidez são informações essenciais para formulações de dietas com maior precisão.

2.3.3 Farelo de trigo

O trigo é o cereal que ocupa o primeiro lugar em volume de produção mundial, gerando como produto principal a farinha de trigo, amplamente utilizada na indústria alimentícia. Após limpar, peneirar e classificar, os grãos passam por moinhos os quais quebram, esmagam e separam o gérmen e o farelo do endosperma. O endosperma é peneirado e moído até atingir a granulometria de farinha e direcionado ao consumo humano. O farelo e o gérmen podem ser utilizados na indústria alimentícia para humanos ou então destinados à alimentação animal.

De modo geral, a estrutura do grão do trigo pode ser dividida em gérmen (2-3%), endosperma (80-85%), testa (película que recobre a semente) e pericarpo (película que recobre o grão) (Evers et al., 1999; Šramková et al., 2009). O endosperma pode ser dividido em dois tecidos distintos, o endosperma amídico e o aleurona (parte externa do endosperma). As camadas do aleurona (7% do peso do grão) são relativamente ricas em proteínas, lipídios, cinzas, vitaminas e fósforo, sendo removidas durante o processo de moagem e utilizadas como parte da composição do farelo (13-17% do grão) (Evers & Millar, 2002). A estrutura geral do grão e microscópica do farelo de trigo podem ser visualizadas na figura 3 e 4.

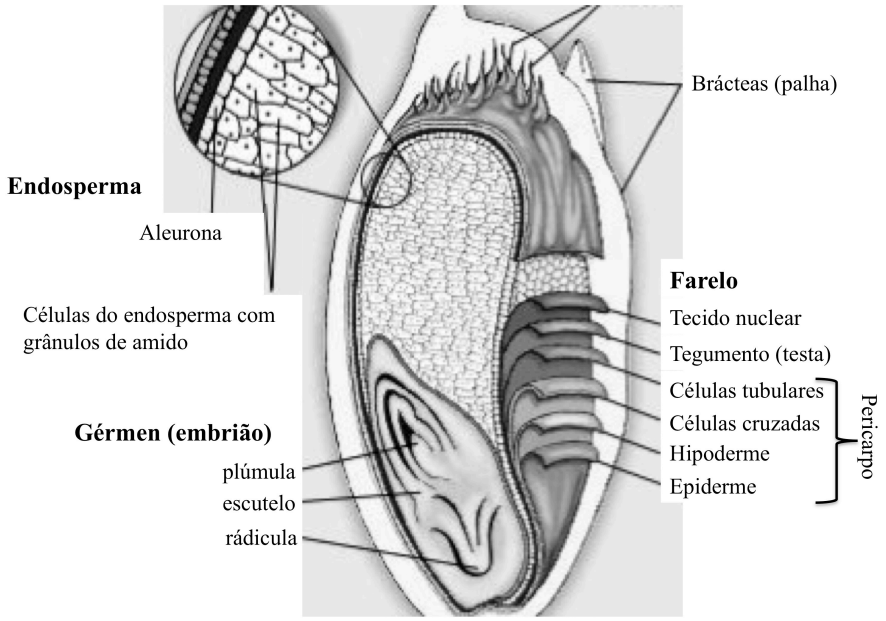

Figura 3. Estrutura do grão do trigo (Encyclopaedia Britannica, http://www.britannica.com)

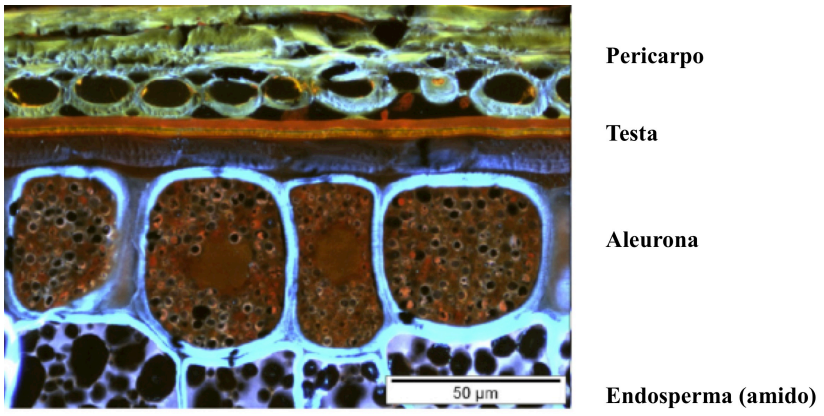

Figura 4. Estrutura microscópica do farelo de trigo (Poutanen, 2012)

O farelo de trigo é o principal e mais abundante co-produto da moenda de grãos. No Brasil, a maioria dos moinhos produz apenas um co-produto na industrialização do trigo, o qual seria uma mistura do farelo com o farelinho de trigo identificado por Rostagno et al. (2011) como farelo de trigo. De acordo com a AAFCO (2005) e Rostagno et al. (2011), o farelo de trigo apresenta boa concentração de proteína (14-17%) e é considerado como ingrediente de baixa energia metabolizável (abaixo de 2500 kcal/kg), sendo adicionado em grande parte na alimentação de animais adultos para controlar o

consumo de ração, não sendo comumente adicionado em dietas para frangos (AAFCO, 2005). As duas camadas exteriores do grão (pericarpo e o tegumento) são compostas por células mortas vazias e as células da camada aleurona-farelo são ricas em protoplastos vivos, o que explica a alta concentração de proteínas e carboidratos do farelo (Šramková et al., 2009).

O farelo de trigo é rico em vitaminas do complexo B e minerais. Sua inlcusão na dieta para frangos é limitada pela alta concentração de fibra (9,5-12%) (Tabela 3), fato este correlacionado a maior concentração de polissacarídeos não-amiláceos (Nunes et al., 2001). Aproximadamente 53% do farelo de trigo é composto por celulose, pentosanas e polissacarídeos baseados em xilose e arabinose. A parede celular da fração da casca, presente nos farelos é rica em xilanas e celulose (Meng & Slominski, 2005).

Tabela 3. Composição nutricional do farelo de trigo[1].

	Nunes et al. (2001)	Mello et al. (2009)	Rostagno et al. (2011)
Matéria Seca	88,57	89,19	88,38
Proteína Bruta	16,02	15,28	15,62
Extrato Etéreo	2,45	2,32	3,50
Fibra Bruta	9,83	8,80	9,50
Matéria Mineral	4,81	4,67	4,70
EM aves (kcal/kg)	1892	1739	1795

[1]Na matéria natural

A porção de fibra das plantas e vegetais engloba uma diversidade de polímeros com grandes diferenças nas propriedades físico-químicas, as quais influenciam de maneiras distintas a viscosidade e o pH da digesta, capacidade de troca de íons, taxa de passagem, capacidade de fermentação e aumento do volume do conteúdo dentro do TGI (Davidson & McDonald, 1998; Mateos et al., 2012). De acordo com Šramková et al. (2009), Căpriţă et al. (2011) e Slominski, (2011) a fibra presente nos cereais pode ser classificada como lignina, celulose e polissacarídeos não-celulolíticos, sendo os dois últimos generalizados como polissacarídeos não-amiláceos (PNA).

Os PNA são polímeros de açúcares simples, normalmente pentoses e hexoses, unidos por ligações resistentes a hidrólise no TGI de animais monogástricos (Brito et al., 2008; Căpriţă et al., 2011). Segundo Choct & Kocher (2000), a nomenclatura dos PNA é confusa na literatura, mas estas estruturas podem ser divididas em celulose, polímeros não-

celulosídicos e polissacarídeos pécticos (Figura 5). Os PNA ainda podem ser subdivididos em solúveis (PNAs) e insolúveis (PNAi), tal subdivisão é baseada se há solubilização quando misturados à água (Choct & Annison, 1990; Annison, 1993; Căpriţă et al., 2011; Elleuch et al., 2011). A solubilidade em água é uma propriedade importante, pois determina sua atividade anti-nutricional e a maneira como o PNA influencia a digestão e absorção quando ingerido (Annison, 1993; Elleuch et al., 2011).

Os PNA solúveis incluem substâncias pécticas, gomas, mucilagens e algumas hemiceluloses (arabinoxilanos, β-glucanos, D-xilanos, D-mananos e xiloglucanos, entre outros). Já nos PNA insolúveis são englobadas a celulose e algumas hemiceluloses (Davidson & McDonald, 1998; Šramková et al., 2009; Căpriţă et al., 2011). A capacidade dos cereais em formar ambientes viscosos é dependente da concentração de PNA solúveis na dieta. Choct (2010) classifica o trigo, a cevada, o triticale, o centeio e a aveia como ingredientes viscosos e o milho e o sorgo como ingredientes não viscosos.

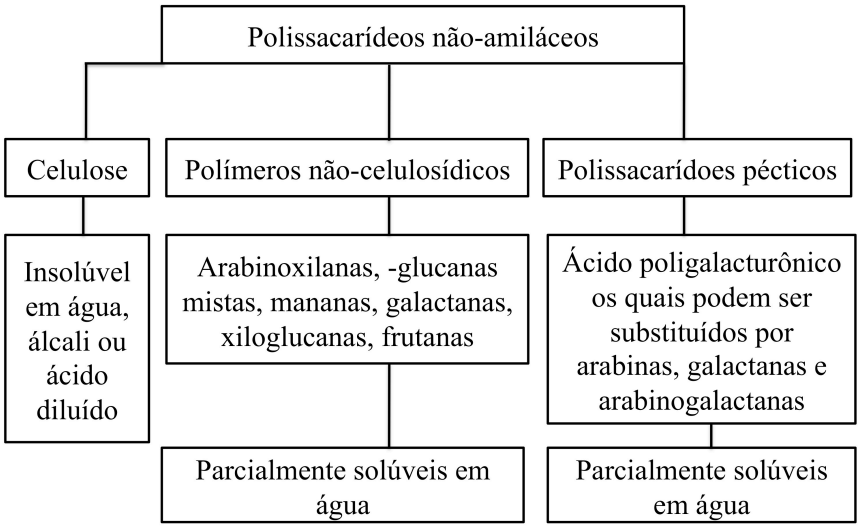

Figura 5. Classificação dos polissacarídeos não-amiláceos (Adaptado Choct & Kocher, 2000).

Os cereais contém entre 10-30% de PNA, dos quais em sua grande maioria são compostos predominantemente por arabinoxilanas (pentosanas), β-glucanas e celulose (Choct, 1997; Choct, 2010). Cada tipo de PNA é caracterizado pelo tipo de resíduo de açúcar e natureza das ligações entre eles (Davidson & McDonald, 1998). As arabinoxilanas são compostas basicamente por dois monossacarídeos, arabinose e xilose, distribuídos dentro de uma cadeia ramificada, sendo os principais PNAs presentes na parede celular do grão do trigo (61 g/kg), triticale e do centeio. Já as β-glucanas

apresentam uma estrutura relativamente simples com moléculas de glicose unidas por ligações glicosídicas β-(1-3)(1-4) e estão presentes em maior quantidade na cevada e aveia (Choct & Annison, 1990; Choct, 1997; Iji et al., 2001b; Căpriţă et al., 2011). A diferença estrutural entre as arabinoxilanas e β-glucanas podem ser visualizadas na figura 6.

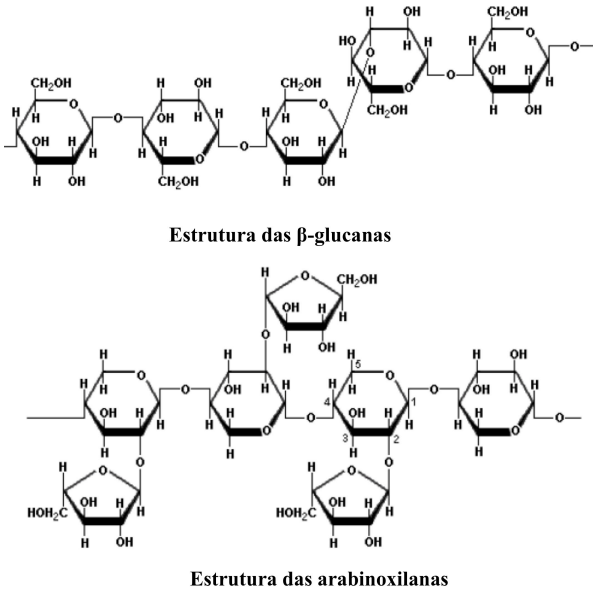

Figura 6. Estrutura das β-glucanas e arabinoxilanas (Zamora, 2014).

Nos últimos anos, a literatura tem demonstrado evidências consideráveis de que os PNA, principalmente os solúveis, exercem atividades antinutritivas mesmo em níveis baixos (<50 g/kg) nas dietas para frangos (Choct & Annison, 1992b; Annison, 1993). A composição química das frações de fibra de alguns ingredientes podem ser visualizados na figura 7. De acordo com Maes et al. (2004), os principais PNAi presentes no farelo de trigo são as arabinoxilanas (36,5%), seguidas pela celulose (11%), lignina (3 a 10%) e ácidos urônicos (3 a 6%).

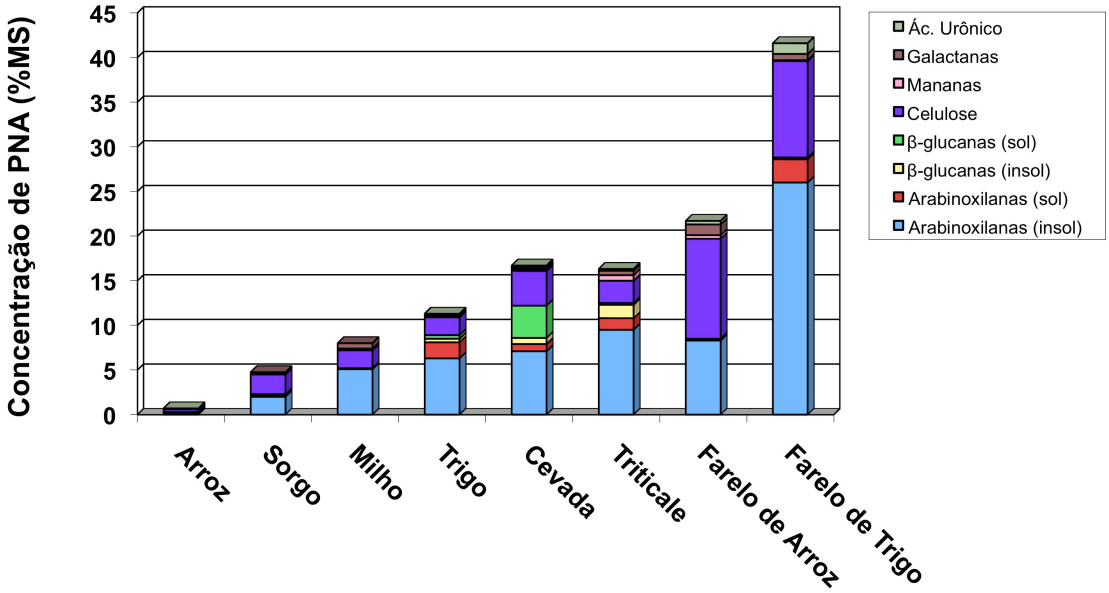

Figura 7. Concentração de polissacarídeos não-amiláceos (PNA) em cereais (Adaptado Englyst, 1989; Choct, 2010).

Como demonstrado na figura 7, os cereais e seus co-produtos contém concentrações consideráveis de PNA insolúveis. O farelo de trigo apresenta cerca de 40% de PNA insolúveis, com celulose e arabinoxilanas como principal componente insolúvel e apenas 3% de PNA solúveis. Porém, de acordo com Annison et al. (1996), parece que os PNA dos co-produtos de cereais possuem baixo peso molecular e mesmo quando solubilizados não formam camadas de gel altamente viscosas.

A celulose é um polímero composto por moléculas de glicose unidas por ligações glicosídicas do tipo β-(1→4), sendo o composto orgânico encontrado em maior concentração na natureza e representa cerca de 50% do carbono nos vegetais (Choct, 1997; Davidson & McDonald, 1998; Fireman & Fireman, 1998). A celulose presente nos farelos encontra-se complexada com ligninas e hemiceluloses (principalmente arabinoxilanas) (Biely et al., 1986). A celulose e a maioria das arabinoxilanas dos cereais são insolúveis em água. No entanto, as arabinoxilanas que não estão ligadas à parede celular podem formar soluções altamente viscosas e absorver água cerca de 10 vezes o seu peso (Choct, 1997).

Normalmente a fibra insolúvel é considerada como diluente de nutrientes na dieta e não é fermentada pela micorbiota do TGI em frangos, portanto, não altera a composição e quantidade da microbiota de maneira significativa (Choct et al., 1996; Hetland et al., 2004). Embora seja considerada como diluente, não deve ser considerada como

substância inerte pois apresentam propiedades funcionais que não podem ser negligenciadas na nutrição de animais monogástricos (Choct, 1997; Davidson & McDonald, 1998). Foi relatado por Hetland & Svihus, (2001) que sua inclusão na dieta de frangos geralmente aumenta a capacidade de ingestão do TGI e/ou promove redução no tempo de trânsito ao longo do TGI, resultando normalmente em aumento na ingestão de ração.

A redução no tempo de retenção da dieta no TGI geralmente está associado com digestibilidade dos nutrientes mais baixas, pois sugere-se que a exposição dos nutrientes às enzimas digestivas é menor. Entretanto, segundo Choct (1997) tal teoria não é válida sob determinadas circunstâncias. Quando os PNAi são adicionados a dieta acredita-se que não há alteração na viscosidade da digesta e consequentemente a digestibilidade dos nutrientes é aumentada, o material não digerido passa pelo intestino rapidamente não havendo tempo suficiente para a microbiota anaeróbica se estabelecer na porção distal do intestino delgado (Choct, 1997).

Amerah et al. (2009) avaliaram a adição de trigo em grão moído, celulose e serragem como fontes de fibra insolúvel sobre o desempenho, desenvolvimento do TGI e perfil da microbiota em frangos. As dietas contendo celulose e serragem apresentaram maior quantidade de PNAi (17,7 e 18,7%, respectivamente) em relação a dieta controle ou com trigo moído (12 e 12,1%, respectivamente). A concentração de PNAs foi similar em todas as dietas (2,62-2,73%). A inclusão de celulose elevou o consumo de ração e melhorou a conversão alimentar quando comparada aos demais tratamentos. No entanto, quando a conversão alimentar foi corrigida (adição de celulose e serragem foi subtraída do consumo total de ração), as aves alimentadas com dietas contendo serragem apresentaram pior conversão alimentar comparada as demais dietas.

O consumo de dietas contendo serragem promoveu aumento significativo no peso relativo do proventrículo e moela, bem como quantidade 3x maior deste material na moela. O CDAi do amido foi 9% maior em frangos recebendo dietas diluídas com serragem. Hetland et al. (2003), verificaram aumento significativo na secreção de amilase e bile quando houve adição de casca de aveia na dieta de frangos. O aumento no tamanho da moela nesse caso pode estar atribuído à estimulação mecânica deste órgão com consequente efeito sobre a digestibilidade do amido. Os maiores estimuladores do aumento na secreção exógena pancreática são via nervo vago e pela liberação de colicistoquinina (Svihus et al., 2004). Uma moela bem desenvolvida e em atividade estimula a secreção de colicistoquinina, que por sua vez estimula a secreção de enzimas

pancreáticas e o refluxo gastro-duodenal (Duke, 1992; Svihus et al., 2004). O aumento significativo de sais biliares na moela de frangos alimentados com partículas de trigo apontam o aumento no refluxo gastro-duodenal, o qual não reduz o CR (Svihus et al., 2004).

Ainda, Amerah et al. (2009) verificaram peso e comprimento relativo intestinal menores nos tratamentos com maior inclusão de PNAi, atribuindo seus resultados à diluição da densidade nutricional da dieta a qual pode ter reduzido à área superficial de absorção. Quando em excesso na dieta podem apresentar ação agressiva sobre a mucosa intestinal, diminuindo a altura de vilosidade, podendo levar ao decréscimo significativo na absorção de nutrientes.

Dietas com alta inclusão de fibra e altos níveis de PNA provenientes de ingredientes como fibra de ervilha, farelo de trigo ou farelo de aveia, reduziram o conteúdo de energia metabolizável independente da fonte de fibra adicionada (Jørgensen et al., 1996). Mello et al. (2009), verificaram que coeficientes de metabolizabilidade da energia bruta para o farelo de trigo são menores quando comparado com milho, farelo de soja, sorgo e farelo de arroz integral, atribuindo estes resultados ao teor de FB, FDN e FDA presentes no FT. Choct & Annison (1990) verificaram que frangos recebendo a taxa mais alta de inclusão de pentosanas insolúveis em água (PIA) extraídas do trigo, reduziram o ganho de peso e a eficiência na conversão alimentar, mas que esses efeitos não podem ser atribuídos a diluição dos nutrientes. Segundo os autores, frangos alimentados com valores superiores de PIA aumentaram a ingestão de ração como forma de compensar a redução na densidade nutricional da dieta, atribuindo os efeitos antinutritivos da alta ingestão de PIA à inibição na digestão dos nutrientes.

As fibras insolúveis geralmente são pouco fermentáveis, não viscosas e excretadas de forma intacta. Uma das carcterísticas mais importante dos PNAi está atribuída a capacidade destes absorver grandes quantidades de água e manter a motilidade normal do TGI (Stephen & Cummings 1979). Característica essa essencial para a consistência das excretas em animais monogástricos (Choct, 1997). Amerah et al. (2009) observaram que o escore da excreta foi significativamente reduzido nas dietas contendo serragem.

Acredita-se que a grande maioria, senão todos, os PNA que apresentam atividade anti-nutritiva são solúveis em água (Căpriţă et al., 2011), embora o inverso não seja necessariamente verdadeiro (Annison, 1993). As ramificações presentes nos PNAs conferem irregularidade à estrutura dos polissacarídeos, impedindo interação entre as cadeias e permitindo que a água penetre facilmente e, desse modo torna os PNA

solúveis. No geral, quanto maior o número de ramificações, maior é a solubilidade da molécula (Annison, 1993). No entanto, a solubilidade não é determinada apenas pela sua estrutura primária, mas também pelas ligações entre os PNA e outros componentes, presença de grupos carregados e pelo tipo de ligação (pontes de hidrogênio, ligações iônicas ou covalentes) entre as moléculas da parede celular (Smits & Annison, 1996).

Na parede celular do endosperma (aleurona) do grão do trigo, as arabinoxilanas estão presentes na concentração de 880 g/kg do total de PNA, sendo um terço destas solúveis em água (Mares & Stone, 1973). As arabinoxilanas do farelo de trigo apresentam conhecida propriedade de reter água e promover viscosidade em soluções (Schooneveld-Bergmans et al., 1999), causando prejuízo sobre o desempenho dos animais. Hartini & Choct (2010) verificaram aumento na viscosidade do conteúdo ileal de aves alimentadas com dietas a base de trigo.

O aumento na viscosidade do conteúdo intestinal está associado principalmente à capacidade dos PNAs absorver água. A formação de um ambiente gelatinoso, causado pelo aumento na viscosidade retém os nutrientes, dificultando o contato das enzimas de mucosa e pancreáticas com seu substrato, condição denominada como “efeito jaula”, a viscosidade ainda reduz a taxa de esvaziamento gástrico e aumenta o tempo de trânsito (Annison, 1993; Classen, 1996; Iji, 1999; Bedford, 2000; Mello et al., 2009; Hartini & Choct, 2010; Aftab, 2012). A viscosidade da dieta aumenta do duodeno para o íleo, assim como a estrutura e a função intestinal no íleo é mais afetada em relação aos demais segmentos intestinais (Iji et al., 2001a,b).

Os efeitos da suplementação de pentosanas (30g/kg), pentoses (30g/kg) ou pentosanas despolimerizadas (35g/kg) foram avaliados por Choct & Annison (1992a). Os autores verificaram que a viscosidade da digesta foi significativamente maior em aves alimentadas com dietas contendo pentosanas em relação às alimentadas sem adição de pentosanas ou com adição de pentoses. A viscosidade da dieta de aves recebendo pentosanas despolimerizadas foi maior ($P<0,05$) em relação as dietas controle, porém menor que nas dietas contendo pentosanas. Tais resultados indicam que as aves toleram certo aumento na viscosidade sem afetar o desempenho, pois a presença de pentosanas do trigo reduziu significativamente o ganho de peso e piorou o índice de conversão alimentar, efeito esse minimizado pelo fornecimento de pentoses (xilose e arabinose) ou pentosanas parcialmente despolimerizadas.

Além disso, a concentração de PNA na dieta também pode alterar a morfologia, fisiologia e motilidade entérica, modificando a taxa de trânsito, desregulando a função

hormonal e imunológica em virtude de uma taxa variada de absorção de nutrientes (Annison, 1993; Choct & Kocher, 2000; Araújo et al., 2008; García et al., 2008). Ambientes com maior viscosidade demonstram redução na velocidade de passagem da digesta, fato esse que influencia o consumo de ração e afeta de maneira negativa o desempenho das aves (Classen, 1996). Araújo et al. (2008) verificaram que o peso vivo final de poedeiras foi 1,04 g menor paca cada 1% de aumento no nível de farelo de trigo na ração. Já o ganho de peso foi reduzido em aproximadamente 0,03 g a para a mesma proporção no aumento de FT.

Em seu estudo, van der Klis et al. (1993) suplementaram dietas de frangos com níveis crescentes de carboximetilcelulose (CMC-PNAs) e verificaram que a adição de 10g/kg (MS) desse composto reduziu o ganho de peso e aumentou a conversão alimentar e consumo de água significativamente. Os autores ainda observaram aumento linear significativo da viscosidade da digesta a medida que se aumentava a inclusão de CMC, bem como aumento no tempo de retenção da digesta no duodeno e jejuno, redução no pH da digesta a medida que esta se deslocava do duodeno para o íleo, concluindo que a adição de PNAs prejudica a eficiência de digestão e absorção da digesta. A viscosidade também prejudica a secreção de enzimas pancreáticas, pois conforme a viscosidade aumenta a secreção de enzimas como a amilase diminui, efeito esse que prejudica a digestibilidade do amido e proporciona maior quantidade deste substrato na porção distal do intestino (Classen, 1996).

A presença de materiais não digeridos na parte inferior do intestino delgado e grosso, causada pelo aumento na viscosidade do conteúdo luminal, pode modificar a atividade e a diversidade da microbiota intestinal em animais monogástricos (Choct et al., 1992; Choct et al., 1996; Smits & Annison, 1996; Aftab, 2012). Jørgensen et al. (1996), obseravaram alta correlação positiva entre produção de hidrogênio no intestino e fermentação dos PNA, indicando que o aumento no nível de hidrogênio produzido está correlacionado com aumento na atividade microbiana. O aumento na atividade e alteração da microbiota do TGI pode reduzir a utilização de nutrientes resultando em redução no desempenho (Hartini & Choct, 2010). De acordo com Choct & Annison (1992a) aves jovens são mais sensíveis aos efeitos dos PNA em relação a galos adultos devido a diferença na microbiota. Segundo García et al. (2008), o crescimento excessivo de bactérias no TGI demanda energia e proteína para manutenção da microbiota, o que reduz a disponibilidade de nutrientes para o crescimento das aves.

De acordo com Aftab (2012), a presença de bactérias na parte terminal do intestino delgado e intestino grosso pode afetar a digestão dos nutrientes por meio de mecasnismos distintos: (1) competição por nutrientes com o hospedeiro; (2) redução da assimilação dos nutrientes/energia pelo desencadeamento de respostas imunológicas e; (3) pela produção de metabólitos que alteram o pH intestinal.

Algumas frações dos PNA dos cereais podem ser degradadas por meio das enzimas produzidas pela microbiota presente no TGI (Jørgensen et al., 1996). Em suínos, grande parte da porção de PNA é digerida pela microbiota presente no intestino grosso, contribuindo com mais de 24% da energia da dieta, mas a digestibilidade desses compostos em aves é extremamente baixa, 2-3% da energia da dieta (Choct & Kocher, 2000). Segundo Choct & Kocher (2000), essa diferença na digestibilidade entre suínos e aves podem ser atribuídas a maior capacidade fermentativa do intestino grosso e ao tempo de trânsito mais longo em suínos. Annison et al. (1996), demonstraram que o processo de fermentação no intestino de frangos foi elevado pelo aumento do nível de PNA na dieta, entretanto, houve aumento na produção de ácido graxos de cadeia curta e com isso uma drástica alteração da microbiota intestinal. A fermentação anaeróbica dos PNA do farelo de trigo resulta na formação de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), em particular o butirato (Araújo et al., 2008; Šramková et al., 2009). Jørgensen et al. (1996), verificaram aumento na produção de AGCC conforme o nível de fibra da dieta aumentou, com quantidades significativas de ácido acético e butírico.

Não existem evidências claras de que o aumento na viscosidade *per se* seja responsável pela inibição da digestão associado ao menor desempenho em aves. Annison (1993) afirma que atribuir os efeitos anti-nutritivos dos PNA somente ao aumento da viscosidade da digesta é uma visão muito simplista. É possível que uma ou mais propriedades dos PNA estejam envolvidas na atividade anti-nutritiva da molécula. Por exemplo, alguns polissacarídeos exibem maior potencial de adsorver partículas e interagir com outras moléculas. As interações entre proteína e polissacarídeos são comuns por ambos apresentarem superfícies hidrofóbicas e hidrofílicas, assim, as enzimas podem ser inativadas pela formação destes complexos.

O metabolismo lipídico no intestino pode ser alterado pela presença de PNA, pois pode reduzir a capacidade de emulsificação da gordura ou a formação das micelas (Smits & Annison, 1996). Muitos polissacarídeos têm a capacidade de estabilizar emulsões óleo/água pela interação entre estes compostos, sendo possível que a presença de PNA interfira na interface entre as lipases pancreáticas com o substrato, inibindo o mecanismo

de digestão e absorção de lipídios (Annison, 1993) (Figura 8). Ainda, os PNA podem estar envolvidos com o aumento na excreção de ácidos biliares e o aumento da atividade bacteriana no intestino grosso, causando aumento na desconjugação de ácidos biliares, prejudicando o retorno desses compostos ao fígado (Smits & Annison, 1996). Para restabelecer o conteúdo destes componentes e compensar sua redução na circulação entero-hepática, o fígado aumenta a síntese hepática de ácidos biliares (Choct, 1997; Choct & Kocher, 2000). Se essa afirmação for assumida como verdade, presumidamente a absorção de vitaminas lipossolúveis também são prejudicadas na presença de PNA. O aumento na quantidade de excretas úmidas e/ou pegajosas também pode ser atribuído a elevada concentração de PNA nas dietas, especialmente arabinoxilanas e β-glucanas, resultado da menor absorção de água, minerais e elementos traços (Choct & Annison, 1992a; Annison, 1993; Classen, 1996; Brito et al., 2008; Slominski, 2011).

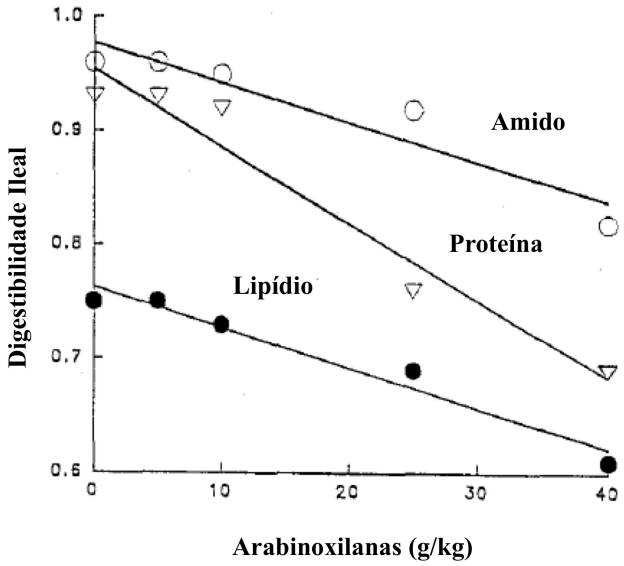

Figura 8. Efeito da adição de arabinoxilanas do trigo em dietas baseadas em sorgo sobre a digestibilidade ileal do amido, proteína e lipídio (Annison, 1993).

Choct & Annison (1992b), verificaram a concentração de 515 g/kg e 665 g/kg de arabinoxilanas em pentosanas extraídas do trigo (em água e álcali, respectivamente, que adicionadas à dieta resultaram na concentração de 40g de arabinoxilanas/kg. Tal concentração resultou na redução significativa da energia metabolizável aparente (EMA) (17% em relação ao controle), retenção de nitrogênio, índice de conversão alimentar, ganho de peso e consumo de ração, resultados esses correlacionados ($P<0,001$) ao nível

de pentosanas da dieta. Ainda em outro estudo, Choct & Annison (1992a) verificaram que a adição de pentosanas do trigo reduziu significativamente a EMA da dieta em 12% quando comparadas as dietas contendo pentoses ou pentosanas despolimerizadas, demonstrando os efeitos anti-nutritivos das pentosanas do trigo. De acordo com Choct & Annison (1990), os efeitos anti-nutritivos dos PNA podem ser mensurados por meio de análises de EMA. A relação entre energia metabolizável dos cereais e a composição proporcional de PNA de diferentes ingredientes pode ser visualizada na figura 9.

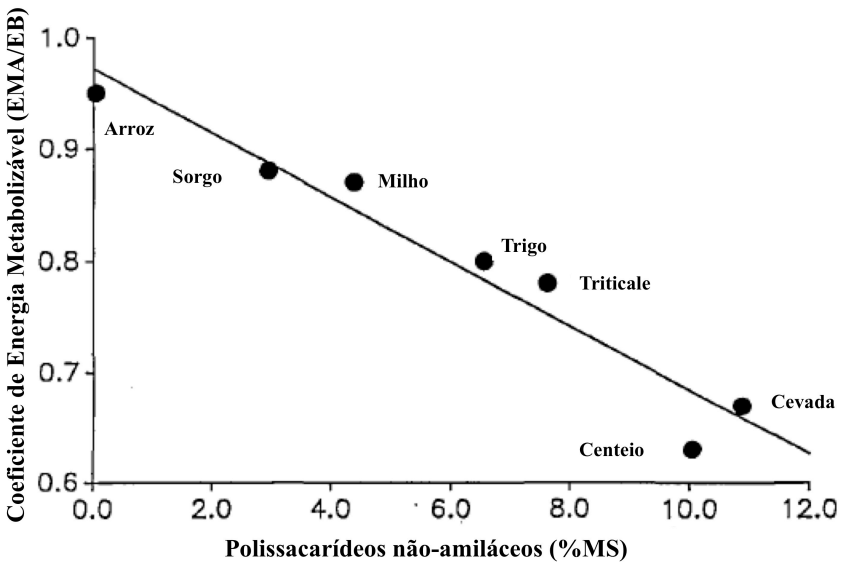

Figura 9. Coeficiente de metabolizabilidade da energia de cereais de acordo com a composição de PNA (pentosanas+ β-glucanas) em frangos (r =-0,97, P<0,001) (Choct & Annison, 1990).

Com relação a valores de EMA do farelo de trigo, Nunes et al. (2001) encontraram valores de energia metabolizável aparente variando de 1807 a 1972 kcal/kg. A variabilidade nos valores de EMA e digestibilidade do amido do trigo em aves jovens é maior do que em aves mais velhas ou até mesmo adultas, sendo a deficiência em microrganismos que degradam as arabinoxilanas e a variedade do grão utilizado prováveis reponsáveis por tal variabilidade (Annison, 1993; Classen, 1996) .

De acordo com Mateos et al. (2012), o consumo de PNA nas dietas pode afetar o desempenho, tamanho e fisiologia dos órgãos do TGI, motilidade intestinal, produção e secreção enzimática, crescimento da microbiota e comportamento das aves (figura10). No

entanto, fica evidente que os efeitos da fonte de fibra sobre a produtividade em frangos podem variar conforme o tipo da fibra consumida, características da dieta, estado de saúde e idade da ave, entre outros. Lembrando que a diversidade das espécies de bactérias intestinais também é considerada fator essencial no estabelecimento do ecossistema estável do TGI, pois uma microflora estável é essencial para manutenção de um animal resistente a doenças, particularmente as intestinais (Choct, 2009).

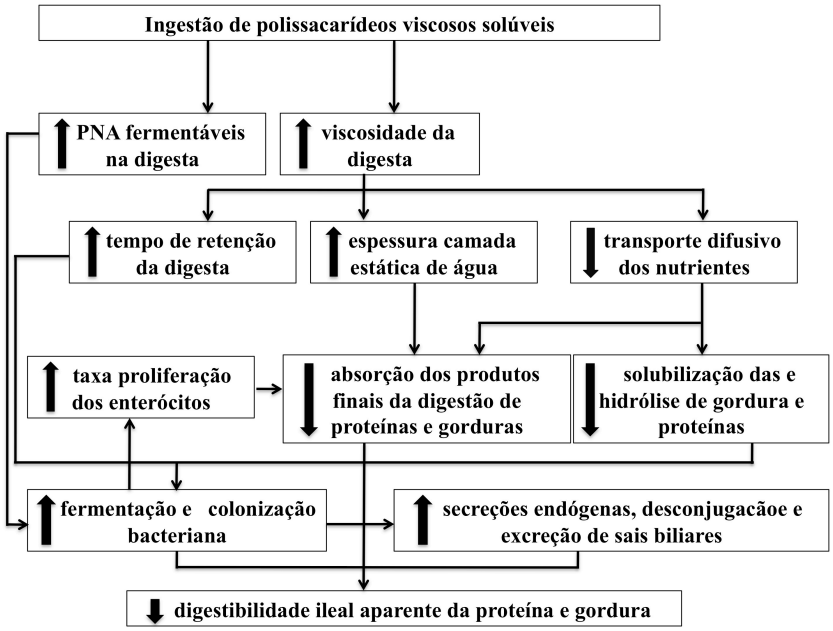

Figura 10. Efeitos dos polissacarídeos não amiláceos solúveis sobre a digestão e absorção de nutrientes no trato gastrointestinal de frangos (Adaptado Smits & Annison, 1996).

A identificação das características estruturais e propriedades químicas das fibras tem contribuído para a melhor compreensão da complexidade destas estruturas na dieta e seus efeitos fisiológicos sobre o organismo (Davidson & McDonald, 1998). Talvez uma relação adequada entre as frações solúveis e insolúveis dos PNA possam minimizar os efeitos antinutritivos dos PNAs (Choct, 1997).

2.3.4 Farinha de penas

A utilização de farinhas de origem animal, têm se mostrado uma alternativa bastante eficiente na formulação de dietas para aves tanto do ponto de vista nutricional como econômico, desde que assegurada a qualidade das mesmas (Bellaver, 2002). A

reciclagem das penas é um processo interessante, pois além de produzir um ingrediente protéico de baixo custo (Onifade et al., 1998; Bertsch & Coello, 2005), ainda reduz a preocupação ambiental com os resíduos gerados no abatedouro. Segundo dados do IBGE, no primeiro trimestre de 2013 foram produzidas 2.884.070 toneladas de carne de frango no Brasil. Todo este desenvolvimento do setor avícola gera um considerável aumento da quantidade de resíduos oriundos do abate e industrialização das aves, representados por: penas, vísceras, sangue e carcaças condenadas. Segundo Divakala (2008), aproximadamente 5-7% do peso corporal das aves é composto por penas, o que representa aproximadamente 144.205 toneladas de penas geradas somente no primeiro trimestre de 2013.

A farinha de penas hidrolisadas (FP) é o produto obtido a partir da cocção sob pressão de penas limpas e não decompostas, obtidas no abate de aves, sendo permitida a presença de sangue desde que não altere significativamente a sua composição (Butolo, 2002). Outra maneira para processamento das penas é a utilização de microrganismos produtores de enzimas que fermentam e degradam queratina.

O conteúdo de proteína bruta na farinha de penas é alto (85%), sendo o material mais queratinoso presente na natureza composto por uma proteína fibrosa insolúvel e indigestível (Macalpine & Payne, 1977; Han & Parsons, 1990; Bertsch & Coello, 2005). Apresenta elevada concentração de aminoácidos como cistina, treonina, arginina e fenilalanina, porém é nutricionalmente deficiente em metionina, lisina, triptofano e histidina (Moran Jr et al., 1966; Macalpine & Payne, 1977). Os valores de umidade, proteína bruta e alguns aminoácidos da farinha de penas podem ser visualizadas na tabela 4. Segundo Onifade et al. (1998), a inferioridade nutricional da FP se deve ao fato de que a configuração dos aminoácidos asseguram a estrutura rígida para que as penas sejam funcionais, fato esse que explica também sua insolubilidade e indigestibilidade pela maioria das enzimas proteolíticas. A variabilidade na qualidade da proteína e energia metabolizável da farinha de penas são as preocupações mais importantes sobre sua inclusão nas rações de animais de produção (Han & Parsons, 1990).

A pré-digestão das penas com enzimas sintéticas é uma maneira de aumentar a digestibilidade de proteínas e aminoácidos e melhorar seu valor nutricional, possibilitando a redução na inclusão de farelo de soja na dieta (Barbour et al., 2002; Bertsch & Coello, 2005). A substituição parcial do farelo de soja pela farinha de penas na formulação de rações para aves pode ser realizada desde que haja a correção e a suplementação adequada de aminoácidos que não são supridos em quantidades suficientes pela FP.

Moran Jr et al. (1966) substituíram 5% de farelo de soja por 5% de FP e verificaram que na ausência da suplementação de aminoácidos sintéticos houve redução significativa no crescimentos de frangos, fato esse contornado quando lisina, metionina e triptofano foram adicionados a dieta.

Tabela 4. Conteúdo de aminoácidos totais (%) da farinha de penas.

Item	Macalpine & Payne (1977)	Wang & Parsons (1997)	Scapim et al. (2003)[1]	Rostagno et al. (2011)	Carvalho et al. (2012)
MS	-	92,00	87,57	91,06	92,23
PB	85,42	90,00	80,72	83,63	79,95
Lisina	2,00	2,36	2,41	2,41	2,13
Metionina	0,88	1,12	0,67	0,68	0,58
Cistina	4,09	4,57	3,68	-	3,76
Treonina	4,62	4,46	3,80	3,84	3,68
Triptofano	-	-	-	0,60	0,67
Arginina	6,72	6,52	5,38	5,58	5,41
Valina	7,17	5,53	5,97	5,97	5,84
Isoleucina	5,25	3,75	3,77	3,85	3,84
Leucina	8,29	7,39	7,05	6,96	6,71
Histidina	3,89	0,83	1,06	1,14	1,03
Fenilalanina	4,80	4,20	3,96	4,04	3,98

[1]Valores médios obtidos de quatro amostras de farinhas de penas

A qualidade deste ingrediente é altamente influenciada pelo processamento. Em baixa pressão de vapor, maior tempo de exposição se faz necessário para que a queratina seja hidrolisada de maneira eficiente e haja aumento na digestibilidade da FP (Moritz & Latshaw, 2001). Já o excesso de pressão ou temperatura podem reduzir a concentração e disponibilidade de aminoácidos (Papadopoulos et al., 1985). A estabilidade mecânica e resistência à digestão proteolítica são consequências do empacotamento de cadeias polipeptídicas em α-hélice (α-queratina), cadeias essas formadas por inúmeras ligações dissulfeto (Onifade et al., 1998). As pontes dissulfeto formadas entre cistinas são responsáveis por manter parte da estrutura da queratina (Moritz & Latshaw, 2001). As pontes de hidrogênio entre os polipeptídeos, a interação

hidrofóbica e estabilização em espiral conferem mais força e resistência proteolítica à molécula de queratina. A estrutura química da queratina explica por si só porque o método convencional de tornar a farinha de penas mais digestível é pela utilização de pressão, temperatura e vapor de água (Onifade et al., 1998). Segundo Moran Jr et al. (1966), o processamento por meio do aquecimento ou tratamento em pH alcalinos clivam as pontes dissulfeto presentes na estrutura da queratina e aumentam o valor nutricional da FP, bem com a biodisponibilidade de aminoácidos sufurados.

Wang & Parsons (1997) e Scapim et al. (2003) avaliando farinhas de penas processadas de maneiras diferentes encontraram diferenças substanciais na digestibilidade verdadeira dos aminoácidos e na qualidade da proteína entre as farinhas de penas testadas. Segundo Papadopoulos et al. (1985), o tratamento térmico altera a estrutura das proteínas e favorece diferentes tipos de ligações entre proteínas e substâncias como gorduras e carboidratos presentes nas farinhas. Além disso, Wang & Parsons (1997) relatam que o tipo de processamento muitas vezes pode formar aminoácidos antinutritivos como a lisinoalanina, lantionina, entre outros. Segundo Latshaw (1990), quando a cistina é convertida em lantionina, o resultado é a redução no conteúdo de aminoácidos sulfurados. Han & Parsons (1990) e Barbour et al. (2002), relataram que a presença de lantionina foi correlacionada negativamente com a taxa de eficiência protéica e biodisponibilidade verdadeira de aminoácidos.

A aplicação de biotecnologia para o processamento de farinha de penas também vem sendo eestudada nos últimos anos. De acordo com Onifade et al. (1998), a inclusão de microrganismos degradadores de queratina além de resultar na modificação estrutural da queratina, ainda podem enriquecer nutricionalmente a FP com biomassa proteica microbiana que podem ser complementares ou aditivas. A composição proteica da farinha de penas fermentada (FPF) com uma cultura de *K. rosea*, farinha de penas sem tratamento (FPST) e farinha de penas comercial (FPC) foi avaliada por Bertsch & Coello (2005). Os pesquisadores verificaram que houve redução no conteúdo de proteína bruta da FPF em relação à FPST e FPC, as quais apresentaram níveis de proteina bruta de 71,4%, 88,2% e 81,3%, respectivamente. Os autores atribuiram o teor menor de proteína na FPF à presença de penas não degradadas, ou até mesmo a presença de queratinas compactas as quais as bactérias utilizadas para o processo de fermentação não foram capazes de hidrolisar. No entanto, a digestibilidade da FPF foi maior (88%) em relação a FPST (26%) e igual a da FPC (87%). Além disso, os níveis de aminoácidos como lisina, histidina, metionina, alanina, tirosina, treonina e glutamina foram 50% maiores na FPF em

relação a FPC. Os autores atribuíram tais resultados não somente aos aminoácidos provenientes da queratina da FP, mas também a contribuição da biomassa microbiana que pode ser utilizada como fonte de proteína.

As implicações fisiológicas da farinha de penas sobre a função intestinal ainda não estão totalmente elucidadas, mas postula-se que este ingrediente seja fonte de nitrogênio para a microbiota intestinal e, dessa forma o balanço entre os microrganismos intestinais responderia a ingestão de farinha de penas da dieta (Meyer et al., 2012). Em seu trabalho Meyer et al. (2012), verificaram mudanças no perfil da microbiota intestinal de acordo com a concentração de FP da dieta. Aves alimentadas com 5% de farinha de penas na dieta apresentaram maior crescimento de bactérias queratinolíticas no íleo e cecos em comparação com o grupo controle. Também foram verificadas mudanças nos substratos produzidos pelas bactérias nos cecos de aves. A produção de amônia, propionato, butirato e valeriato foram maiores nas aves recebendo dietas contendo FP.

Han & Parsons (1990) avaliaram a digestibilidade de aminoácidos e o conteúdo de energia metabolizável verdadeira em galos cecectomizados e convencionais. Os autores verificaram grandes diferenças na digestibilidade de treonina, ácido aspártico, serina, glutamina, prolina, cistina e lisina, sugerindo que a excreção menor destes aminoácidos nas aves convencionais foi substancialmente influenciada pelo metabolismo da microbiota presente nos cecos. A EMV também foi maior nos galos convencionais, segundo os autores provavelmente devido a maior produção de ácidos graxos de cadeia curta nos cecos. Em seu estudo Macalpine & Payne (1977), demonstraram que a inclusão de até 2,5% de farinha de penas na fase de 0-35 dias melhorou significativamente o ganho de peso de frangos, já níveis de 5,0 e 7,5% deprimiram o ganho de peso na fase final de criação (35-63dias).

Outro ponto crítico que deve ser avaliado na utilização de farinhas de penas na dieta de animais de produção é sua qualidade microbiológica. Geralmente o processamento elimina grande parte, senão toda a contaminação microbiológica dos co-produtos. Entretanto, sua recontaminação é algo que tem grande chance de acontecer devido ao manuseio, transporte e outros fatores do ambiente. Para reduzir o risco de bactérias em farinhas, têm sido adotada a prática de adicionar substâncias a base de formaldeído no processo de fabricação. Embora seja um procedimento que visa reduzir o crescimento bacteriano, tal prática pode piorar a digestibilidade dos aminoácidos e da energia das farinhas, havendo que se testar o efeito dessas substâncias sobre ao metabolismo digestivo dos animais (Bellaver, 2002).

Em casos onde o processamento é ineficiente ou há recontaminação do ingrediente e/ou ração pós-processamento, haverá o desenvolvimento e crescimento de microrganismos, principalmente patogênicos, que serão responsáveis pela deterioração do produto e formação de compostos prejudiciais à saúde animal, basicamente aminas biogênicas e peróxidos. As aminas biogênicas podem ser facilmente encontradas em co-produtos de origem animal como farinha de carne e ossos, farinha de sangue, farinha de penas, farinha de peixe e farinha de vísceras de aves (Smith et al., 2000). No entanto, segundo Bardócz et al. (1995) é evidente que todos os tipos de alimentos contenham aminas biogênicas, ainda que baseados em ingredientes de origem vegetal.

As aminas biogênicas são compostos nitrogenados de baixo peso molecular formadas pelo processo de descarboxilação de aminoácidos ou pela aminação ou transaminação de aldeídos e cetonas a partir do metabolismo normal de animais, plantas e microrganismos (Arena & Manca de Nadra, 2001; Kalac̆ & Krausová, 2005). Embora as poliaminas sejam naturalmente produzidas pelo organismo, Bardócz et al. (1995) afirmam que a quantidade de poliaminas provenientes da dieta são mais elevadas que as produzidas endogenamente e podem afetar o crescimento celular e a manutenção da saúde do organismo. Segundo Milovic (2001), logo após a refeição as concentrações de poliaminas no lúmen do duodeno e jejuno alcançam níveis milimolares e desaparecem conforme são utilizadas *in situ*, absorvidas ou degradadas no intestino. No entanto, em seres humanos o consumo de alimentos é feito em determinados horários do dia, o que permite que os níveis de aminas biogênicas cheguem a valores mínimos ou nulos no lúmen intestinal. Já em frangos de corte, o consumo de ração é feito de modo quase que contínuo, o que pode ser determinante para saúde e o desempenho de aves consumindo rações com níveis elevados de aminas biogênicas.

As aminas biogênicas normalmente encontradas nas matérias-primas ou rações acabadas são a histamina, cadaverina, putrescina, triptamina, tiramina e feniletilamina (Mazzuco, 1997; Bellaver & Lima, 2004). A estrutura química destes compostos pode ser classificada em alifática (putrescina, cadaverina, espermina e espermidina), aromática (tiramina e feniletilamina) ou heterocíclica (histamina e triptamina) (Karovičová & Kohajdová, 2005). A putrescina, espermina e espermidina são também classificadas como poliaminas devido a sua estrutura e importância fisiológica no processo de crescimento e proliferação celular (Kalac̆ & Krausová, 2005). De acordo com Karovičová & Kohajdová (2005), a formação de aminas biogênicas dependem da disponibilidade de aminoácidos livres, do ambiente com condições que proporcionem o crescimento

bacteriano (temperatura, pH e atividade de água) e da presença de microrganismos que sintetizem descarboxilases.

Os níveis de putrescina, cadaverina, histamina, espermidina e espermina em farinha de carne e ossos, farinha de peixe e farinha de vísceras de aves foram avaliados por Barnes et al. (2001). Os autores verificaram que a carga de aminas biogênicas (histamina+cadaverina) para a farinha de peixe e farinha de vísceras de aves foram de 0,028 e 0,049%, respectivamente. A inclusão de 10% desses ingredientes resultaria em dietas contendo aproximadamente 0,003 e 0,005% de AB, níveis estes muito abaixo das doses que causam efeitos deletérios sobre o desempenho de frangos (Barnes et al., 2001). Já Bermudez & Firman (1998), relataram que a inclusão de 10% de co-produtos de origem animal resultou no nível de histamina de 0,013%, sem efeitos sobre o desempenho ou saúde das aves. No entanto, ambos os trabalhos não relatam em nenhum momento se as condições de armazenamento e/ou processamento foram realizados de maneira adequada, fato esse que tem grande influência sobre a produção de aminas biogênicas.

A putrescina, espermidina e espermina são considerados compostos importantes no processo de renovação e diferenciação celular (Bardócz et al., 1995), sendo consideradas como agentes tróficos da mucosa do TGI quando presentes em baixas concentrações. Entretanto, em quantidades elevadas na dieta de aves pode gerar toxidez causando destruição da mucosa intestinal, rins e fígado e afetar negativamente o desempenho do lote (Mazzuco, 1997). A putrescina é formada a partir da arginina e da orinitina, a espermina e a espermidina também podem dar origem a putrescina na presença de S-adenosilmetionina descarboxilase, a qual por sua vez pode derivar da metionina (Kalacˇ & Krausová, 2005; Gonzalez-Esquerra & Leeson, 2006). Smith (1990), observaram que frangos de corte recebendo dietas suplementadas com 0,4% de putrescina cresceram mais rápido que o tratamento sem putrescina, mas níveis a partir de 0,8% foram considerados tóxicos, influenciando de maneira negativa a taxa de crescimento. Já Friday et al. (1999), adicionado 9,6 (mg/kg), 98 (mg/kg), 214 (mg/kg) e 262mg/kg de feniletilamina, putrescina, cadaverina e histamina, respectivamente, não observaram qualquer alteração histopatológica nos segmentos do TGI ou sobre o desempenho de frangos. De acordo com Bardócz et al. (1995), as necessidades de poliaminas são maiores quando o organismo se encontra em fase de crescimento e pode variar conforme o estado fisiológico e patológico do indivíduo.

A histamina, formada a partir da histidina, é a maior causa das síndromes tóxicas em animais de produção (Smith et al., 2000). As histaminas são compostos presentes nos mastócitos e basófilos e seus efeitos biológicos geralmente estão envolvidos em condições de reações alérgicas em todo organismo. Vários receptores, distribuídos pelo corpo, estão envolvidos no desencadeamento das respostas à histamina no organismo. Por exemplo, a secreção gástrica de ácido pode ser regulada pela histamina por meio de receptores presentes nas células parietais estomacais. Barnes et al. (2001) relatam que a inclusão de histamina e cadaverina possuem efeito aditivo ou sinérgico sobre a saúde de frangos. Os autores verificaram aumento na incidência e a severidade de erosão na moela e úlceras proventriculares quando 0,1% de histamina + 0,1% de cadaverina foram adicionadas às dietas.

No intestino, a presença de histamina induz a contração da musculatura lisa resultando em cólicas, diarréia e vômito (Karovičová & Kohajdová, 2005). A ação da histamina sobre o alargamento do proventrículo e fragilidade intestinal são possivelmente consequências dos seus efeitos sobre a secreção gástrica e motilidade intestinal (Barnes et al., 2001). Keirs & Bennet (1993), verificaram que frangos alimentados com dietas contendo aminas biogênicas apresentaram síndrome da má-absorção, epitélio duodenal necrosado e redução na eficiência produtiva. Em contraste, Miles et al. (2000), avaliaram o efeito de oito aminas biogênicas usadas em várias concentrações (0 a 1500 ppm) em dietas de frangos, não encontrando efeitos prejudiciais sobre o desempenho dos animais. Provavelmente tal resultado deveu-se ao uso de concentrações mais baixas nas dietas.

Em ingredientes ou na dieta acabada o nível de aminas biogênicas pode ser utilizado como indicador de qualidade (Friday et al., 1999), bem como a realização de análises do nível de oxidação e degradação das amostras podem ser utilizadas como padrão seletivo no momento da aquisição do material (Mazzuco, 1997). Já no organismo, o aumento na concentração da enzima ornitina descarboxilase (OD) é indicativo do aumento da biosíntese de poliaminas e proliferação celular, entretanto, a quantificação da absorção de poliaminas pelas células do epitélio intestinal também tem se mostrado um marcador tão confiável para mensurar proliferação celular como a atividade da OD (Milovic, 2001). Fischer da Silva et al. (2007), observaram que aves mantidas sob restrição alimentar recebendo dietas suplementadas com glutamina aumentaram a expressão da enzima ornitina descarboxilase na mucosa intestinal e apresentaram redução na atrofia da mucosa jejunal. Acredita-se que estes efeitos tenham sido resultado do estímulo da OD sobre a síntese protéica, pois segundo Luck et al. (1980) o aumento

da atividade desta enzima pode aumentar a biosíntese de poliaminas, as quais são estimuladoras de maturação e regeneração da mucosa intestinal.

Estabelecer níveis máximos na concentração de aminas biogênicas nas matérias-primas ou rações acabadas é uma tarefa árdua, visto que a toxidade de cada composto formado é dependente de sua estrutura química. Smith et al. (2000), concluíram que a toxidade aumenta com o aumento do peso molecular e carga das aminas biogênicas. A putrescina: é menor e menos carregada das poliaminas. A espermidina é sintetizada pela condensação da putrescina com um grupamento aminopropil, doado pela metionina, apresenta alto peso molecular e mais cargas positivas do que a putrescina. Segundo Smith et al. (2000), a espermidina quando fornecida na dieta de frangos resulta em maior crescimento do TGI, mas seu potencial para acelerar a taxa de crescimento é menor que da putrescina. A espermina é a poliamina mais tóxica e com potencial mais limitado para promover o crescimento animal (Sousadias & Smith, 1995). A estrutura química simplificada desses compostos pode ser visualizada na figura 11. Sousadias & Smith (1995) verificaram que a inclusão de níveis de acima de 0,4% de espermina reduziram o desempenho nos frangos e, a atividade da ornitina descarboxilase foi menor em aves recebendo doses abaixo de 0,2% de espermina. Os autores relatam que os resultados de desempenho encontrados por eles foram influenciados por doses muito menores quando comparado a outro trabalho da literatura que adicionou putrescina a dieta, atribuindo a redução no crescimento à maior toxicidade da espermina em relação a putrescina.

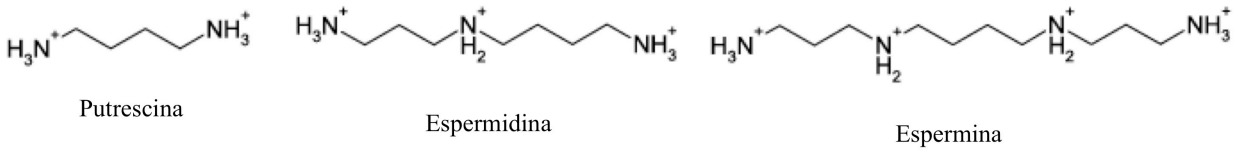

Figura 11. Estrutura química simplificada da putrescina, espermidina e espermina (Kalač & Krausová, 2005).

Com o objetivo de minimizar a formação de aminas biogênicas nos ingredientes ou ração acabada algumas estratégias devem ser adotadas no recebimento, armazenamento e processamento de matérias-primas. O processamento do ingrediente dentro do menor tempo, armazenamento da farinha processada em locais com temperatura mais baixas possíveis, evitar a redução do tamanho da partícula até pouco antes do processamento e

submeter o ingrediente a temperaturas acima de 80°C durante o processamento são medidas que podem reduzir a proliferação dos microrganismos e, consequentemente, reduzir a formação de aminas biogênicas.

2.3.5 Farelo de arroz integral

Os co-produtos provenientes do processamento do arroz podem ser fracionados em casca, farelo e quirera de arroz. Após o processo de secagem, a primeira etapa da moagem é a remoção da casca, resultando no arroz integral. Em seguida, as camadas externas do arroz integral são removidas, dando origem ao arroz branco e ao farelo de arroz (Ryan, 2011). O farelo de arroz é composto pelo pericarpo com a presença de parte do gérmen, fragmentos de arroz e pequenas quantidade de casca com a granulometria similar a do farelo (Regina, 2010). O potencial do farelo de arroz como ingrediente têm sido reconhecido ao longo dos anos na dieta de matrizes e poedeiras, no entanto, não é um ingrediente comumente adicionado a dieta de frangos (Gallinger et al., 2004).

O farelo de arroz também contém nutrientes como tocoferóis, tocotrienóis, polifenóis, fitoesteróis, carotenos, aminoácidos essenciais (triptofano, histidina, metionina) e não essenciais (cisteína e arginina) e micronutientes (Mg, Ca, P, Mn e vitaminas do complexo B) (Schramm et al., 2007; Ryan, 2011). Contém cerca de 220 g/kg de extrato etéreo com altas concentrações de ácido oléico (420 g/kg) e linoléico (390 g/kg) (Warren & Farrell, 1990a; Farrell, 1994), características estas que o tornam um co-produto atrativo para alimentação de monogástricos. O valor de energia metabolizável do farelo de arroz integral é mais elevado quando comparado ao farelo de trigo, mas seus níveis nutricionais podem variar de acordo com variedade, origem, condições de estocagem, processamento, entre outros fatores (Tabela 5). A diferença macroscópica entre as variedades de arroz podem ser observadas na figura 12.

Tabela 5. Composição nutricional (%) do farelo de arroz integral[1].

	Warren & Farrell (1990a)[2]	Gallinger et al. (2004)[3]	Rostagno et al. (2011)[1]
Matéria Seca	91,80	88,70	89,34
Proteína Bruta	15,40	15,40	13,13
Extrato Etéreo	22,00	14,30	14,49
Fibra Bruta	NA	8,30	8,07
Matéria Mineral	10,50	8,50	8,98
P total	1,71	NA	1,67
P disponível	NA	NA	0,24
EM aves (kcal/kg)	NA	NA	2521

[1]Matéria natural; [2]Média de três cultivares em três anos consecutivos de colheita; [3]Matéria seca; NA – nao avaliado

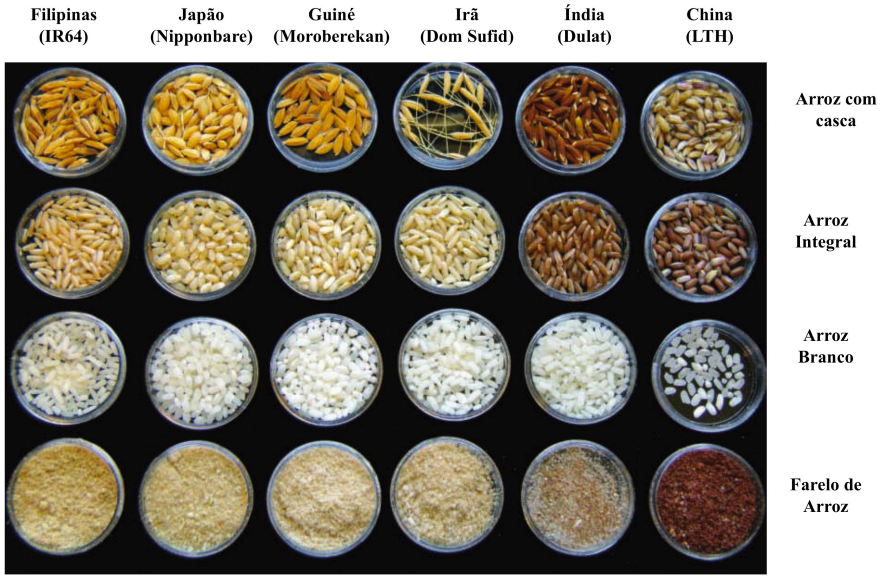

Figura 12. Diferenças visuais, na granulometria e coloração em cada etapa do processamento do arroz (Adaptado Ryan, 2011).

Alguns problemas da utilização do farelo de arroz estão associados aos seus componentes endógenos ou características físicas (Warren & Farrell, 1990b). Devido a alta quantidade de extrato etéreo do farelo de arroz integral, as reações de peroxidação lipídica podem ser desencadeadas com maior facilidade, resultando na formação de peróxidos os quais são prejudiciais a saúde intestinal e produtividade dos frangos. Warren & Farrell (1990a), observaram níveis de peróxidos acima de 20 meq/kg no farelo de arroz

após 5 semanas de armazenamento. Além dos peróxidos, a formação de produtos secundários são responsáveis pelo odor de rancificação, pela destruição de vitaminas e redução na palatabilidade do alimento.

Ao analisar a concentração de AGL e peróxidos em dietas contendo 20% de farelo de arroz, Gallinger et al. (2004) observaram que a porcentagem de AGL foi de 11,5% e 25,8% no primeiro e 21° dia experimental, respectivamente. Já a valor inicial de peróxidos não aumentou de maneira significativa, apresentando 0,49 e 1,82 (mEq/kg dieta) de peróxidos no primeiro e 21° dia experimental, respectivamente. Os autores atribuiram tal comportamento a presença de tocoferóis e ao ácido ferrúlico presente no farelo. Sayre et al. (1987) avaliaram o conteúdo de AGL no FA estocado a -23°C (logo após processo de moagem) e 32°C em quatro experimentos realizados com seis semanas de intervalo entre eles. Os autores verificaram que o conteúdo de AGL foram similares (4,9% e 9,2% aos -23°C e 32°C, respectivamente) nas duas temperaturas de estocagem no início do experimento A. Ao iniciar o experimento B, seis semana mais tarde, os autores verificaram aumento expressivos para 62,9% de AGL no farelo de arroz estocado à 32°C, com aumento para 77,8% e 80,9% dos farelo de arroz estocados a 32°C nos experimentos C e D, sem alteração significativa daqueles estocados a -23°C.

Além da peroxidação, a indisponibilidade do P também é outro fator limitante na utilização do FA em dietas para frangos. Dentre os ingredientes de origem vegetal, o FA é o que apresenta maior porcentagem de P total com 1,67%, enquanto o milho e o farelo de soja apresentam 0,25% e 0,63%, respectivamente (Rostagno et al., 2011). Estima-se que cerca de 2/3 do fósforo total esteja indisponível ao metabolismo animal (Cowieson et al., 2004a). Entretanto, o farelo de arroz apresenta somente 14,37% do P disponível. A concentração de Pd varia de acordo com a porção do cereal ou leguminosa utilizada. Geralmente os co-produtos dos cereais e leguminosas apresentam maiores proporções de fitato comparado aos seus grãos (Ravindran, 1995). Isso ocorre devido a maior parte do fitina estar depositado nas camadas do aleurona em cereais, sendo o milho uma exceção com 90% da fitina depositada no núcleo do gérmen (Singh, 2008).

A literatura apresenta três nomenclaturas distintas para definir o P complexado ao anel de *myo*-inositol: fitato, fitina e ácido fítico. O ácido fítico é a forma livre do anel de *myo*-inositol hexafosfato (IP6), ou seja, é um éster de álcool cíclico de inositol com seis grupamentos fosfato (Onyango et al., 2005). O fitato, termo mais difundido na literatura, refere-se ao ácido fítico na forma de sal e a fitina é a forma comumente encontrada nas

plantas que remete ao complexo formado entre o *myo*-inositol hexafosfato com o potássio, magnésio e cálcio (Angel et al., 2002; Selle & Ravindran, 2007). A fitina está presente em todos os ingredientes de origem vegetal como forma de reserva do P, necessário ao processo de germinação dos vegetais (Lima et al., 2007). Conte et al. (2002), verificaram que a excreção de P em dietas à base de milho e farelo de soja foram significativamente menores em relação as dietas contendo 15% de FA, atribuindo tal resultado a alta porcentagem de P total do FA, aliada à sua baixa disponibilidade.

Os fitatos além de tornar o fósforo indisponível, tem a capacidade de formar quelatos com cátions bivalentes (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Zn^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Cu^{2+}), reduzir a disponibilidade de alguns carboidratos e aminoácidos da dieta e ainda interagir com enzimas digestivas (Angel et al., 2002; Pirgozliev et al., 2007; Singh, 2008). Onyango et al. (2005) demonstraram a partir de eletromicrografias feitas da digesta que as moléculas de fitato estavam presentes no papo (pH 4-5), não sendo visualizadas sua presença no estômago (pH 2,5), reaparecendo no jejuno e íleo (pH 6-7). O fitato se torna solúvel em ambientes de pH ácido e o aumento no pH da digesta, conforme esta se move distalmente no TGI, aumenta a formação de complexos entre cátions e o fitato com consequente redução na sua solubilidade (Angel et al., 2002; Onyango et al., 2005). De acordo com Cowieson et al. (2011), se a única consequência da presença de fitato na dieta fosse a diluição do Pd seria uma questão relativamente simples para se resolver por meio da formulação.

A concentração de Ca na dieta, bem como a relação com o P, tem sido apontado como responsável pela redução na hidrólise da molécula de fitato no TGI (Nelson, 1967; Cowieson et al., 2009). Shafey et al. (1991), observaram que o incremento no nível de Ca da dieta de 1,07% para 2,53% resultou em aumento no pH da moela de 4,89 para 5,32 e no íleo de 6,62 para 7,39. A solubilidade do Ca foi de 16,9% em dietas contendo relação de Ca:Pd de 3,56 (1,53:0,43), entretanto quando esta relação foi alterada para 2,72 (2,26:0,83) a solubilidade do Ca caiu para 8,3%. A maioria dos complexos formados entre o ácido fítico e os minerais são precipitados no pH encontrado no ambiente intestinal, aumentando a proporção destes complexos conforme a relação Ca:P aumenta (Angel et al., 2002).

O impacto do Ca quando comparado a outros cátions se deve ao fato deste estar presente em níveis de 8-40 vezes mais elevados que os níveis de Zn por exemplo, considerando sua elevada concentração na dieta muito mais expressiva que sua afinidade com a molécula de ácido fítico. Tamim & Angel (2003) e Tamim et al. (2004), verificaram

que a redução de 5 g/kg nas concentrações de Ca pode resultar em aumento de >70% na digestibilidade no íleo terminal de frangos. A formação de sabões insolúveis no lúmen intestinal é outro ponto negativo da presença de fitato na dieta. Segundo Nunes (2001) o complexo cálcio-fitato pode interagir com ácidos graxo e formar sabões, reduzindo a metabolizabilidade da energia e a digestibilidade de aminoácidos. Além do nível de Ca, variáveis como vitamina D_3 e seus metabólicos, tamanho de partícula do ingrediente e processamento da ração também podem influenciar a quebra do fitato no TGI do animal (Angel et al., 2002).

Os fitatos são conhecidos também por formarem complexos com as proteínas sob condições de pH ácido ou alcalino (Yao et al., 2011). Segundo Cowieson et al. (2009), a formação de complexos fitato:proteína está relacionado a natureza do fitato e a agregação elestrostática da proteína na fase gástrica de digestão. Em ambientes de pH ácido, várias proteínas estão abaixo do seu ponto isoelétrico e se tornam positivamente carregadas, desta maneira interagem com as cargas negativas dos grupamentos fosfatos formando ligações eletrostáticas com a molécula de fitato. Estes complexos são precipitados quando presentes em pH alcalino, reduzindo a solubilidade da proteína.

A redução na solubilidade da proteína pode ser responsável por inúmeros efeitos do fitato sobre o metabolismo. Dentre estes, o fluxo de Ca, Na, redução da digestibilidade dos aminoácidos e energia, bem como resultar em hipersecreção de HCl, mucina, pesina, bile, bicarbonato de sódio e aumentar o fluxo de Na para o lúmen intestinal. Além de reduzirem a solubilidade das proteínas, o fitato ainda pode interagir com as enzimas digestivas e afetar de maneira negativa a ação destas sobre seu substrato (Cowieson et al., 2009; Cowieson et al., 2011). Todos esses fatores atuando de maneira conjunta desencadeam uma cascata de reações que alteram completamente a dinâmica de digestão e absorção dos nutrientes e o custo de manutenção do TGI.

O ácido fítico foi considerado por Cowieson et al. (2004b) como fator antinutritivo mais irritante para mucosa. Sua presença na dieta de frangos resultou em perdas significativas de nutrientes endógenos e energia na forma de mucina, células intestinais, ácido siálico e enzimas pancreáticas (Cowieson et al., 2004b). No entanto, de acordo com Cowieson et al. (2004a) e Cowieson & Ravindran (2008), a maior consequência fisiológica da ingestão de fitato é a hiper-secreção de mucina gástrica e intestinal. A maneira como o fitato irrita a parede intestinal, segundo McKay & Baird (1999) pode estar associada à microbiota intestinal, por esta causar inflamação e desencadear respostas imunológicas com aumento da produção de citocininas. Outro mecanismo de ação dos fitatos com

relação microbiota é a alta concentração de peptídeos na parte distal do intestino, resultando em um ambiente favorável ao crescimento e proliferação de certas bactérias patogênicas (ex:. *Clostridium perfringens*) com alteração no estado imunológico das aves e possível desenvolvimento de casos de enterite necrótica (Cowieson et al., 2009).

Estas perdas têm implicações significativas em termo de custo energético associados com a síntese proteica e de mucina e com a renovação da mucosa. Os mecanismos pelos quais o fitato altera a fisiologia do TGI pode ser visualizados na figura 13. Resumidamente, o esvaziamento gástrico resulta na presença de excesso de íons H^+ no intestino, o qual é desafiado a manter as condições luminais favoráveis para que as enzimas do pâncreas e da borda em escova possam atuar. A hiper-secreção de mucina e de bicarbonato de sódio, proporcional à variação na presença de proteína e íons H^+, se torna responsável pelo aumento na presença de aminoácidos endógenos e sódio (Na) no lúmen e, presumivelmente, alterando as necessidades de manutenção e a capacidade do intestino para o transporte de nutrientes Na-dependente, incluindo glicose e peptídeos (Cowieson et al., 2009).

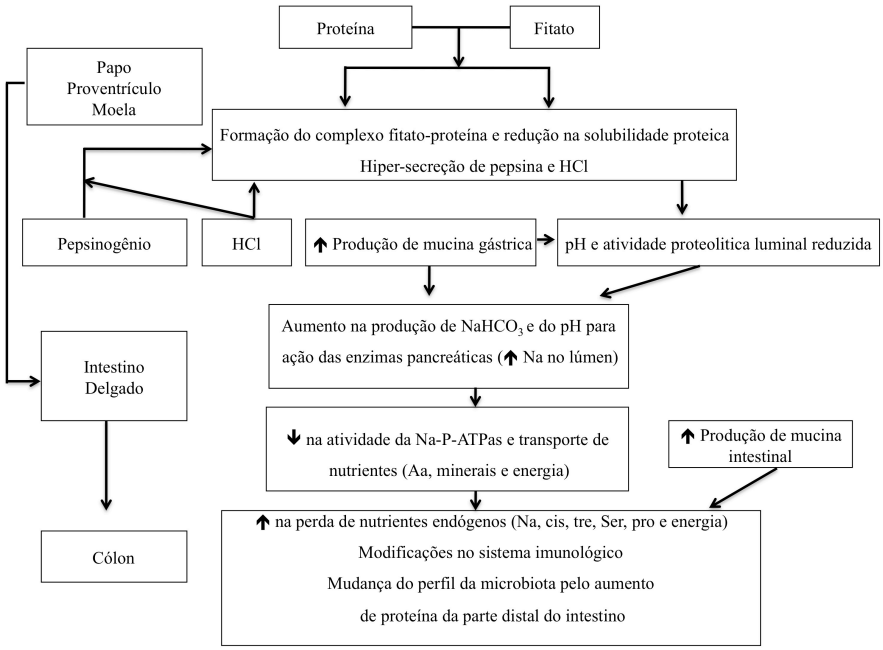

Figura 13. Representação esquemática dos efeitos bioquímicos e fisiológicos do fitato sobre o trato gastrointestinal de frangos (Adaptado Cowieson et al., 2009).

Os PNA também são outros fatores antinutricionais encontrados no farelo de arroz, mas como os efeitos dos PNA sobre a saúde e produtividade de frangos já foram abordados anteriormente, será feita apenas uma breve descrição da composição com

relação aos PNA presentes no FA. A natureza dos PNA do farelo de arroz é desconhecida, mas sabe-se que as pectinas, β-(1-3 ou 1-4)-D-glucanas, glucomanana e celulose estão presentes em baixas quantidades (<100g/kg) e as arabinoxilanas são seu maior componente (>600g/kg) (Fincher and Stone, 1986 citados por Annison, 1995). Ao extrair os PNA do farelo de arroz (PNA-FA), Annison (1995) demonstrou que sua composição é principalmente de PNA solúveis (635g/kg MS), tendo baixa concentração de proteína (166 g/kg MS) e amido (141 g/kg MS). Foram detectadas quantidades baixas de ácido urônico (50g/kg MS) e concentrações muito baixas de PNA insolúveis (18g/kg MS).

A porção de carboidratos solúveis do PNA-FA é composta basicamente por moléculas de xilose e arabinose (tabela 6), indicando que a cadeia principal de polissacarídeos seja constituída por arabinoxilanas. Já a maior relação entre arabinose e xilose no FA (tabela 6) indica que a cadeia principal das β-xilanas destes polissacarídeos carream mais moléculas de arabinose em suas cadeias laterais do que as β-xilanas do trigo, característica física-química importante na formação de ambientes viscosos (Annison, 1995).

Tabela 6. Propriedades químicas dos polissacaríedos não-amiláceos isolados do trigo ou farelo de arroz (FA) de acordo com Annison (1995).

Fonte Isolada	CHO[1]	Ara[2]	Xil[2]	Man[2]	Ara:Xil	Gal[2]	Gli[2]
Trigo	0,72	0,35	0,60	-	0,58	-	0,05
FA	0,63	0,40	0,32	0,03	1,23	0,17	0,08

[1]CHO=porção de carboidrato isolado; [2]ara= mol% de arabinose; xil=mol% de xilose; man=mol% de manose; gal=mol% de galactose; gli= mol% de glicose;

2.4 Enzimas exógenas na nutrição animal

A energia e o fósforo são considerados como os dois componentes mais onerosos na formulação de dietas para aves. O problema em relação ao fósforo é sua indisponibilidade em ingredientes de origem vegetal, a limitação da utilização de ingredientes de origem animal estabelecida por alguns mercados e o alto preço das fontes de fósforo inorgânico. Já para atender a demanda energética dos animais, geralmente a entrada de cereais como o milho e o trigo ocupa de mais de 50% das fórmulas.

Entretanto, a utilização dos cereais na produção de biocombustíveis tem elevado os preços destes ingredientes, encarecendo os custos de formulação.

A saída encontrada pela indústria da alimentação animal foi lançar mão de tecnologias que otimizem a utilização dos nutrientes como o P e da energia. Segundo Bedford (2003), na década de 90 menos de 5% da ração produzida continha adição de enzimas. Para tanto, a solução mais estudada nos últimos anos tem sido a adição de enzimas exógenas na dieta. A utilização de enzimas exógenas na nutrição de monogástricos tem como objetivo complementar a ação de enzimas endógenas (amilases, proteases e lipases) ou suplementar enzimas que não são sintetizadas pelos animais (ex:.celulase, glucanases, xilanases), sendo utilizadas com o objetivo de reduzir custos de formulação, reduzir os impactos negativos dos fatores antinutricionais (PNA e fitato) e/ou maximizar a eficiência da utilização do alimento e até como maneira de se conseguir mais flexibilidade na formulação. Nos últimos anos, o número e a variedade de enzimas lançadas no mercado da alimentação animal tem aumentado significativamente. A tabela 7 apresenta uma lista das enzimas exógenas utilizadas na dieta para animais monogástricos, bem como seus substratos e principais funções. As enzimas exógenas, especialmente as fitases e carboidrases (ex:.xilanases, celulases, mananases e β-glucanases), são as classes de enzimas exógenas mais utilizadas pela indústria avícola (Bedford & Cowieson, 2012).

As enzimas são proteínas globulares de que atuam como catalizadores biológicos sobre substratos específicos, acelerando reações químicas (Fireman & Fireman, 1998). A atividade das enzimas pode ser realizada a partir de um substrato altamente específico ou, podem atuar de maneira aleatória por hidrolizarem ligações químicas em diferentes tipos de moléculas com características químicas similares. Como exemplo pode-se citar as peptidases, as quais catalisam a hidrólise de ligações peptídicas das proteínas. Algumas peptidases reagem com proteínas de diferentes fontes, ao passo que outras são altamente específicas (Ferket, 1993).

Tabela 7. Enzimas, substratos e suas principais funções.

Enzima	Substrato	Função
Proteases e peptidases	Proteína	Complementação das enzimas endógenas
Amilase	Amido	
Lipase	Lipídeos	
Fitase	Fitato	Disponibilização do P
Hemicelulase	Hemicelulose	Redução na viscosidade intestinal e aumento da digestibilidade dos nutrientes
Pentosanase	Pentosonas	
β-glucanase	β-glucanas	
Pectinase	Pectina	
β-mananase	Mananas e galactanas	
α-galactosidase	Oligossacarídeos	
Celulase	Celulose	Digestão de carboidratos estruturais da parede celular

(Adaptado Ferket, 1993)

A maioria das enzimas comerciais disponíveis no mercado são produzidas a partir de sistemas de fermentação de bactérias e/ou fungos. Após o processo de fermentação, uma série de purificações são realizadas para assegurar que produtos indesejáveis resultantes do processo de fermentação sejam removidos (Adeola & Cowieson, 2011). Para que as enzimas exógenas sejam efetivas, estas devem ser termoresistentes ao processamento e resitir a variações no pH ácido do estômago e básico no intestino.

As enzimas podem ser suplementadas de maneira isolada ou em conjunto (*blends*), sendo suas respostas dependentes de fatores como o conjunto de enzimas utilizado, a qualidade e tipo dos ingredientes, da termotolerância das enzimas, forma (líquida, pó, granulada), modo de aplicação, entre outros. Segundo Cowieson (2010), dentre todos aditivos presentes no mercado, as enzimas têm custo de $1-3 USD/tonelada de dieta, sendo este considerado em alguns casos como investimento devido ao retorno financeiro alcançado. Uma vez que as enzimas são substrato específicas, o ponto fundamental a se considerar na escolha deste aditivo é a composição da dieta e considerar que os efeitos das enzimas são reduzidos a medida que a qualidade nutricional da dieta aumenta.

Embora os efeitos do uso isolado de algumas enzimas sejam bem pesquisados, a interação e os efeitos resultantes do uso combinado entre fitases, proteases e

carboidrases têm sido alvo de pesquisas nos últimos anos, pois existem evidências na atuação complementar e não na aditiva. Por exemplo, a suplementação de carboidrases disponibilizariam os componentes intra-celulares após o rompimento da parece celular, fato esse que permite a fitase atuar sobre seu substrato, antes inacessível. Outro resultado da aditividade é a disponibilização dos compostos intra-celulares vegetais às enzimas endógenas, as quais não teriam acesso ao substrato sem que a parede celular fosse rompida pelas enzimas exógenas.

O aumento no valor nutritivo das dietas com suplementação de enzimas pode ser alcançado pela: (1) liberação do P a partir da hidrólise do fitato; (2) redução do encapsulamento dos nutrientes no ambiente luminal; (3) solubilização das paredes celulares dos vegetais com disponibilização dos nutrientes; (4) menor quantidade de substrato na parte distal do intestino delgado e grosso para fermentação; (5) minimização das propriedades antinutricionais dos PNA solúveis e insolúveis com “produção” de certos compostos prebióticos que melhoram o desenvolvimento intestinal e saúde das aves, especialmente as mais jovens (Slominski, 2011).

A utilização de enzimas pode reduzir as necessidades de manutenção do animal, reduz os efeitos dos fatores antinutricionais dos alimentos e ainda aumenta em 30% a digestibilidade do amido, gordura, aminoácidos e Ca e 60% do P na fração não digerida (Cowieson, 2010). Os benefícios da utilização de enzimas são amplamente descritos na literatura. Entretanto, deve-se salientar que os produtos disponíveis no mercado apresentam características distintas, ou seja, são produzidas e atuam de acordo sua origem, processo de fabricação, termoresistência, forma de aplicação, pH de atuação, entre outros.

De acordo Ferket (1993) e Bedford (2000), algumas considerações práticas devem ser levadas em consideração na esolha da enzima ou do *blend* enzimático: (1) identificação do substrato com potencial prejudicial; (2) conhecimento dos produtos finais formados a partir da hidrólise realizadas por enzimas exógenas; (3) características da enzima: concentração (unidade da enzima), custo e fonte do *blend* ou da enzima em questão; (4) identificar a maneira de aplicação (líquida, pó, encapsulada) e segurança de manipulação (algumas enzimas podem ser nocivas à saúde); (5) determinar a estabilidade de estocagem e processamento (calor, umidade, pressão e expansão) e ao processo de digestão (pH ácido e alcalino ao longo do TGI e resistência às enzimas proteolíticas).

O uso estratégico de *blends* enzimáticos na dieta pode resultar em grande vantagem econômica, mas deve ser ajustado principalmente com relação a escolha dos ingredientes e a matriz nutricional das enzimas ou então esta vantagem pode ser atenuada ou perdida (Adeola & Cowieson, 2011). Outro fator que deve ser levado em consideração é que mesmo em formulações idênticas, as respostas das enzimas podem ser diferentes dependendo da origem e das condições de armazenamento dos ingredientes, resistência das enzimas ao processamento, tipo de enzima suplementada, entre outros.

2.4.1 Fitases

As fitases (*myo*-inositol hexaquifosfato fosfohidrolases) englobam uma ampla família de fosfatases capazes de catalisar a hidrólise total ou parcial das ligações ester entre os grupamentos fosfatos e o anel de inositol das moléculas de fitatos, aumentando a biodisponibilidade do P e outros nutrientes que podem ser complexados a molécula de fitatos (figura 14) (Angel et al., 2002; Cowieson et al., 2004a,b; Yao et al., 2011). Podem ser divididas em duas sub-classes: 3 ou 6-fitases, sendo produzidas a partir de fungos, bactérias e leveduras. As 3-fitases iniciam a desfosforilação do IP6 na posição 3 do anel de inositol e as 6-fitases na posição 6. As sub-classes das 3-fitases não são capazes de completar o processo de desfosforilação do anel inteiro, enquanto as 6-fitases completam (Angel et al., 2002; Onyango et al., 2005; Singh, 2008;Yao et al., 2011).

A ação da fitase na parte proximal do TGI tem sido considerada a melhor solução para amenizar os impactos negativos causados pelo fitato. Os ésteres de inositol com menor número de grupamentos fosfato (IP5, IP4, IP3, IP2, IP1 ou IP) apresentam menor capacidade de quelatar cátions divalentes e a solubilidade destas molécula é maior quando comparadas ao IP6 (Cowieson et al., 2011). Outra vantagem da presença de ésteres menores é que estes compostos podem ser desfosforilados pelas fitases presentes na mucosa, sangue ou fígado se tornando disponíveis para os processos metabólicos (Verbsky et al., 2002).

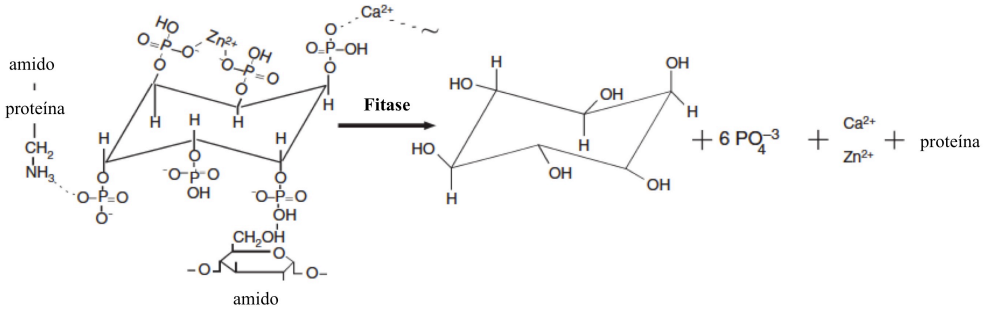

Figura 14. Hidrólise do fitato pela fitase em inotisol livre, fosfato, metais, minerais e proteínas (Adaptado Yao et al., 2011).

Fitases produzidas a partir de fontes distintas diferem em características como o pH ótimo de atuação, resistência a hidrólise no TGI e termoestabilidade. A capacidade das fitases suportarem os processos de hidrólise ao longo do TGI afetam a quantidade de fitato que será hidrolisado pela enzima, definindo a eficácia da fitase frente aos efeitos antinutritivos do fitato (Onyango et al., 2005).

As fitases podem ser encontradas a partir de quatro possíveis fontes no TGI: (1) fitase dos ingredientes; (2) fitases exógenas produzidas a partir de microrganimos; (3) fitase endógena produzida pela microbiota presente no TGI e; (4) presentes na borda em escova intestinal. A magnitude do impacto das fitases endógenas na hidrólise da molécula de IP6 permanece desconhecida. Maenz & Classen (1998) reportaram que a borda em escova intestinal apresenta atividade de fitase, mas geralmente se assume que a atividade da fitase de mucosa é pouco significativa. Já a instabilidade e vulnerabilidade a desnaturação às temperaturas de peletização inviabilizam a utilização das fitases presentes nas plantas como fonte desta enzima nas rações para frangos (Angel et al., 2002; Singh, 2008).

Durante muitos anos, as fitases foram utilizadas de maneira “grosseira” como substitutas de baixo custo para fontes de P inorgânico por resultar na liberação do fósforo complexado. Atualmente, existem evidências indicando que a liberação do ortofosfato a partir de fosfato de inositol (IP) pode ser de importância secundária para a remoção de fitato da dieta (Selle & Ravindran, 2007; Adeola & Cowieson, 2011), pois as novas gerações de fitase, além de resultar no aumento na liberação do fósforo, tem demonstrado melhorias na retenção total de cátions como Ca, Zn e Mg, energia e aminoácidos. Além disso, Cowieson et al. (2004a) demonstraram que a retenção de P e o

desempenho de frangos pode ser melhorada pela adição de fitase, mesmo em formulações contendo concentrações de Pd mais baixas.

Além de formar complexos com minerais, o fitato tem se demonstrado como potente antinutriente estimulante do aumento na excreção de aminoácidos endógenos (Cowieson et al., 2004a). Tem sido sugerido por Selle et al. (2006), que em dietas suplementadas com fitase a digestibilidade é maior nos aminoácidos associados ao *turnover* e a manutenção da integridade intestinal (cisteína, treonina, prolina e glicina), sugerindo que grande proporção dos benefícios da fitase seja devido a redução na perda endógena destes aminoácidos do que ao aumento na digestibilidade *per si*. A redução na secreção de mucina no TGI também está associada à melhora na saúde intestinal em dietas suplementadas com fitase (Cowieson te al., 2004ab; Pirgozliev et al., 2005).

Quando as fitases comerciais são suplementadas na dieta é importante saber qual o seu pH ótimo de atuação, pois isso vai ditar como a fitase se comportará ao longo do TGI (Angel et al., 2002). Foi demonstrado claramente que o fitato se torna solúvel em ambientes de pH ácido (2,5-4,5), ou seja, logo no proventrículo de aves (Angel et al., 2002; Tamim et al., 2004). A concentração de Ca da dieta, particularmente a relação Ca:P, é determinante na eficiência da fitase, pois os efeitos da fitase sobre a disponibilização de P são menores na presença de dietas ricas em Ca. Segundo Angel et al. (2002), o desenvolvimento de produtos que minimizem a formação de complexos fitato-Ca resultará na melhoria da eficiência da fitase e, consequentemente disponibilidade de P.

Diante de todos os benefícios que a inclusão de fitase resulta sobre a produtividade animal, ainda podemos enfatizar seus efeitos positivos sobre o meio-ambiente. Maior parte do fósforo fítico é indisponível ao animal e acaba sendo excretado no ambiente. Para tornar a situação mais crítica, na tentativa de atender a demanda nutricional de P em dietas de frangos, nutricionistas e formuladores adicionam fontes inorgânicas de P às rações, resultando em conteúdo de P total maior que o necessário e maior excreção.

Os microrganismos presentes no solo são capazes de reter somente parte do fósforo, nitrogênio e outros nutrientes, liberados geralmente a partir da aplicação da cama de frango no campo. Durante época de chuvas os nutrientes que não foram fixados ou utilizados por microrganismos e/ou plantas são lixiviados ou escoados, contaminando as águas subterrâneas ou de superfície. O enriquecimento com fósforo e nitrogênio acima do necessário provoca eutrofização nos ecossistemas aquáticos (Singh, 2008).

Com o intuito de reduzir a excreção de P para o ambiente a legislação do estado de Maryland (EUA) exige que todas as dietas de frangos contenham fitase ou outro aditivo que reduza a excreção deste mineral (Angel et al., 2002). Portanto, a suplementação de fitase além de diminuir os custos de formulação, a partir da redução de fontes inorgânicas de P não renováveis, reduz a excreção de P e outros nutrientes para o meio protegendo o ambiente da poluição (Cowieson et al., 2009; Yao et al., 2011).

2.4.2 Carboidrases

As carboidrases são enzimas capazes de catalisar a hidrólise de carboidratos poliméricos em compostos com pesos moleculares menores, geralmente oligo ou polissacarídeos, mas não em açúcares livres. De acordo com Classen (1996), a fração de carboidratos dos cereais é composto por microfibilas de celulose associadas a polissacarídeos não-celulolíticos, os quais estão ligados de maneira organizada por pontes de hidrogênio inter e intra-molecular. Os PNA englobam uma gama de compostos com estruturas distintas, os quais podem ser degradados por uma ampla variedade de carboidrases (Coppedge et al., 2012). Ao lado do fitato, os PNA (principalmente β–glucanas, arabinoxilanas e pectinas) são os principais alvos das enzimas exógenas. Existem inúmeras carboidrases no mercado, cada qual atuando sobre seu fator antinutricional específico. Segundo Aftab (2012), as carboidrases podem ser incluídas em duas classificações básicas de acordo com o substrato em que atuam: amilases ou PNAses. As carboidrases com endo-atividade são consideradas como principais, sendo os demais tipos, com menor atividade, importantes na complementação dos resultados das endo-carboidrases (Classen, 1996).

Apesar de mais de 80% da fatia de mercado das carboidrases ser dominada por xilanases e glucanases (Adeola & Cowieson, 2011), há espaço também para enzimas exógenas que complementem a ação das enzimas endógenas, como é o caso da amilase. O conteúdo lipídico da gema é a principal fonte energética para embriões e pintainhos recém-eclodidos. No entanto, ao eclodirem os pintainhos passam a receber dietas ricas em carboidratos, tendo que gerar sua energia a partir de compostos com características físico-químicas completamente diferentes dos lipídios. Embora Moran (1985) e Sklan (2001) relatem que a atividade de α-amilase já seja observada aos 18 dias de incubação, Nir et al. (1993) afirma que sua atividade é relativamente baixa. A elevação da síntese e secreção de amilase está associada ao aumento na ingestão de seu

substrato (Moran, 1985). Embora a elevação na produção de enzimas seja substrato dependente, de acordo com Penz Jr. (1998) o código genético das aves não permite que enzimas como xilanases, pentosanases, glucanases sejam sintetizadas pelo TGI.

As carboidrases exógenas atuam principalmente rompendo a parede celular de ingredientes de origem vegetal, reduzindo a viscosidade da dieta e aumentando a digestão e absorção de determinados carboidratos da dieta. Por sua vez, o rompimento da parede celular, composta na sua grande maioria por PNA insolúveis, aumenta o acesso e facilita a ação das demais enzimas exógenas e endógenas sobre seu substrato (Ferket, 1993; Choct & Kocher, 2000; Cowieson & Adeola, 2005; Aftab, 2012). Muitas vezes mais de um tipo de cereal, ou seu co-produto, é utilizado na formulação de dietas para aves, sendo que cada qual possui seu perfil de fatores antinutricionais. Segundo Ferket (1993), para dietas a base de cevada/soja devem ser utilizadas enzimas compostas por β–glucanase e pectinase. Já em dietas baseadas em milho/trigo/centeio/soja a suplementação enzimática deve apresentar em sua composição pentosanase, pectinase e α-galactosidase.

A complexidade estrutural das fibras e o rompimento da parede celular dos vegetais resulta na exposição de diferentes substratos e abre oportunidade para suplementação de mais de uma enzima exógena para que haja o máximo de despolimerização (Meng & Slominski, 2005; Slominski, 2011). Diante deste contexto, o uso de coquetéis de carboidrases (*blends*) vêm sendo a prática mais efetiva na degradação de PNA quando comparada a adição da enzima isolada (Coppedge et al., 2012; Aftab, 2012). É imporante ressaltar que muitas vezes tais *blends* apresentam em sua composição concentrações de protease. Quando enzimas são adicionadas de maneira conjuntas é importante estar ciente que tais misturas podem proporcionar efeitos complementares, aditivos, subaditivos ou sinérgicos (Cowieson & Adeola, 2005), normalmente justificando o aumento na digestibilidade dos nutrientes e no conteúdo de EM em dietas para frangos. No entanto, devido a diversidade de substratos liberados pela mistura de enzimas, fica difícil atribuir conclusões precisas à uma enzima específica.

A vasta maioria das dietas para frangos são compostas praticamente por milho/farelo de soja, os quais são considerados como ingredientes que não causam distúrbios digestivos em frangos (Zou et al., 2013). A percepção geral é que tais dietas têm digestibilidade dos nutrientes e energia natualmente alta, com pouco espaço para melhoria pelo emprego de carboidrases (Aftab, 2012). Na década de 90 a utilização de carboidrases em dietas à base de cereais de baixa viscosidade (milho ou sorgo/soja) era

questionada, por serem considerados ingredientes altamente digestíveis (Kidd et al., 2001). Inicialmente a inclusão de carboidrases estava focada em rações contendo ingredientes viscosos (trigo, centeio, triticale, cevada e aveia). Entretanto, a identificação de oligossacarídeos (principalmente estaquiose e rafinose da soja) e outros PNA não digestíveis pelas enzimas produzidas no TGI de frangos despertou o interesse de pesquisadores na utilização de complexos enzimáticos compostos por carboidrases também em rações à base milho/farelo de soja (Kidd et al., 2001; Kocher et al., 2003; Cowieson, 2010; Olukosi et al., 2010; Ávila et al., 2012; Coppedge et al., 2012; Zou et al., 2013; Yegani & Korver, 2013).

É bem difundido na literatura que a adição de carboidrases reduz a viscosidade e aumenta a digestibilidade da dieta. Os resultados de estudos utilizando carboidrases variam amplamente na literatura mesmo quando os fatores experimentais que não são o foco do estudo são altamente controlados. De acordo com Aftab (2012), a efetividade das carboidrases pode ser alterada por fatores como composição da dieta, qualidade da matéria-prima (valor nutritivo), processamento (termoestabilidade), forma da dieta (peletizada x farelada), idade das aves, presença de acidificantes, nível de energia da dieta, inclusão da enzima isolada ou como *blend*, dose da enzima (unidade) e presença de fitase.

Além de toda a interação com outros fatores da dieta e do ambiente, a utilização de uma mesma enzima ou *blend* pode variar de maneira significativa dependendo das condições de estocagem, modo de aplicação, atividade e termoestabilidadede. Kidd et al. (2001), demonstraram que dietas a base de milho e farelo de soja suplementadas com um *blend* enzimático (α-galactosidase, α-amilase, β-glucanase, xilanase, celulase e protease) não influenciaram o desempenho de frangos de corte.

A maioria dos delineamentos testanto enzimas consiste na inclusão de controles negativos (dietas formuladas geralmente com níveis submarginais de energia, aminoácidos e P, no caso da inclusão de fitase) com o objetivo de testar até que ponto as enzimas suplementadas são capazes de manter os resultados similares aos do controle positivo (níveis nutricionais recomendados pela indústria e manuais de linhagens). Cowieson & Adeola (2005) investigaram os efeitos de xilanase, amilase, protease e fitases adicionadas em conjunto ou separadas em dietas à base de milho e soja com níveis nutricionais reduzidos. Os autores verificaram que a adição de fitase e xilanase melhorou em 6%, 7% e 14% o ganho de peso quando adicionada fitase, xilanase ou a sua mistura, respectivamente. A digestibilidade dos nutrientes também foi melhorada pela presença de xilanase e fitase na dieta. De acordo

com Cowieson & Adeola (2005) e Aftab (2012) pode existir efeito aditivo entre fitase e xilanase, permitindo que a suplementação de enzimas em dietas com níveis nutricionais reduzidos seja uma estratégia nutricional na redução dos custos de formulação sem afetar o desempenho produtivo de frangos.

A digestibilidade da matéria seca, matéria orgânica e da proteína bruta em frangos recebendo dietas à base de milho e farelo de soja foram signicativamente aumentadas pela presença de α-galactosidase no estudo desenvolvido por Wang et al. (2005). Além disso, segundo Sharma et al. (1997) a suplementação de xilanases proporcionou redução na quantidade de mucina secretada e resultou na redução da viscosidade intestinal da digesta no jejuno de frangos alimentados com dietas a base de trigo ou milho. Tais resultados podem estar associados ao aumento no conteúdo de energia digestível ileal ou energia metabolizável encontrados por Wang et al. (2005) e Leslie et al. (2007).

É importante ressaltar que a melhoria significativa da EMA das dietas contendo cereais e adição de enzimas não é resultado da utilização da estrutura dos PNA despolimerizados, mas sim devido a disponibilização de compostos da dieta (amido, proteína, gordura). Ainda que ocorra a completa despolimerização estrutural dos PNA a arabinose e a xilose são os principais açúcares resultantes da hidrólise (Williams et al., 1997). De acordo com Schutte (1991), a utilização de pentoses é consideravelmente menor em relação as hexoses, sendo a maior parte destes monossacarídeos metabolizados pela microbiota presente nos cecos.

A capacidade das enzimas em catalisar a hidrólise de PNA é fundamental para melhorar o valor nutritivo dos grãos de cereais e de seus co-produtos e por vezes em oligossacarídoes da soja. Tal melhoria é considerada essencial na manutenção de animais saudáveis, pois a chegada de nutrientes, como amido ou oligossacarídeos, provenientes da digestão parcial de carboidratos à parte distal do intestino é reduzida pela adição de carboidrases. Menos nutrientes no intestino delgado e intestino grosso significa disponibilização de menor quantidade de substrato para fermentação bacteriana, resultando diminuição na produção de AGCC e na alteração do perfil da microbiota intestinal. Ainda, o aumento na demanda por energia e proteína para manter o crescimento da microbiota exerce efeitos negativos sobre a saúde e produtividade de frangos. Trabalhos têm demonstrado que a utilização de enzimas altera de maneira significativa a produção de AGCC e o perfil da microbiota no íleo e cecos (Apajalahti & Bedford 1999; Choct et al., 1999). O uso de carboidrases também permite a inclusão de

co-produtos de cereais mais baratos em relação ao milho e que contenham níveis elevados de PNA, resultando em maior flexibilidade no momento de formular dietas.

3. Refêrencias Bibliogáficas

Association of American Feed Control Officials - AAFCO. (2005). Official Publication. Oxford, In, USA.

Adams, C. A. (2007). Nutrition-Based Health (p. 179). Nottingham, UK: Nottingham University Press.

Adams, C.A. (1999). Nutricines: food components in health and nutrition. Nottingham: Nottingham University Press, 11-32.

Adeola, O., Cowieson, A. J. (2011). Opportunities and challenges in using exogenous enzymes to improve nonruminant animal production. Journal of Animal Science, 89 (10), 3189–218.

Aftab, U. (2012). Exogenous carbohydrase in corn-soy diets for broilers. World's Poultry Science Journal, 68(03), 447–464.

Amerah, A. M., Ravindran, V., Lentle, R. G. (2009). Influence of insoluble fibre and whole wheat inclusion on the performance, digestive tract development and ileal microbiota profile of broiler chickens. British Poultry Science, 50(3), 366–75.

Anderson, R. L., Wolf, W. J. (1995). Compositional changes in trypsin inhibitors, phytic acid, saponins and isoflavones related to soybean processing. The Journal of Nutrition, 125(3), 581S–588S.

Angata, T., Varki, A. (2002). Chemical diversity in the sialic acids and related α-keto acids: An evolutionary perspective.Chemical Review, 102, 439-469.

Angel, R., Tamim, N. M., Applegate, T. J., Dhandu, A. S., Ellestad, L. E. (2002). Phytic acid chemistry: Influence on phytin-phosphorus availability and phytase efficacy. Journal Applied of Poultry Research, 11, 471–480.

Anjos, F., Vazquez-Anon, M., Yan, F., Dibner, J., Dierendeld, E. (2012). Influence of diets containing raw or heat processed cowpea on the performance and gut health of broiler chickens. Uganda Journal of Agricultural Sciences, 13(2), 83–93.

Annison, G. (1993). The role of wheat non-starch polysaccharides in broiler nutrition. Australian Journal of Agricultural Research, 44, 405–422.

Annison, G. (1995). Nutritive activity of soluble rice bran arabinoxylans in broiler diets. British Poultry Science, 36(3), 479–488.

Annison, G., Hughes, R. J., Choct, M. (1996). Effects of enzyme supplementation on the nutritive value of dehulled lupins Effects of enzyme supplementation on the nutritive value of dehulled lupins. British Poultry Science, 37, 157–172.

Apajalahtu, J., Bedford, M. R. (1999). Improve bird performance by feeding its microflora. Worlds Poultry Science, 15, 20-23.

Araujo, D. M., Silva, J. H. V, Teixeira, E. N. M., Filho, J. J., Ribeiro, M. L. G. (2008). Farelo de trigo na alimentação de poedeiras semipesadas na fase de recria Wheat bran in growing phase laying hens feeding. Revista Brasileira de Zootecnia, 37(1), 67–72.

Arena, M. E., & Manca de Nadra, M. C. (2001). Biogenic amine production by Lactobacillus. Journal of Applied Microbiology, 90(2), 158–62.

Avila, E., Arce, J., Soto, C., Rosas, F., Ceccantini, M., McIntyre, D. R. (2012). Evaluation of an enzyme complex containing nonstarch polysaccharide enzymes and phytase on the performance of broilers fed a sorghum and soybean meal diet. The Journal of Applied Poultry Research, 21(2), 279–286.

Bach-Knudsen, K E. (1997). Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. Animal Feed Science and Technology, 7(4), 319–338.

Bampidis, V., Christodoulou, V., Nistor, E., Skapetas, B., Nistor, G. H. (2009). The use of chickpeas (cicer arietinum) in poultry diets: A review. Scientific Papers Animal Sciences and Biothecnologies, 42(1), 323–330.

Bannink, A., Dijkstra, J., Koopmans, S., Mroz, Z. (2006). Physiology, regulation and multifunctional activity of the gut wall: a rationale for multicompartmental modelling. Nutrition Research Reviews, 19, 227–253.

Barbour, G. W., Werling, M., Yersin, a G., Lilburn, M. S. (2002). The effect of enzyme predigestion on the nutritional quality of prepressed turkey feather meal. Poultry Science, 81(7), 1032–1037.

Barca, A. de la, Vázquez-Moreno, L., Robles-Burgeno, M. R. (1991). Active Soybean Lectin in Food: Isolation and Quanfitation. Food Chemistry, 39, 321–327.

Bardócz, S., Duguid, T. J., Brown, D. S., Grant, G., Pusztai, A., White, A., Ralph, A. (1995). The importance of dietary polyamines in cell regeneration and growth. The British Journal of Nutrition, 73(6), 819–28.

Barnes, D. M., Kirby, Y. K., Oliver, K. G. (2001). Effects of biogenic amines on growth and the incidence of proventricular lesions in broiler chickens. Poultry Science, 80(7), 906–11.

Bedford, M. R. (2000). Exogenous enzymes in monogsatric nutrition - their current value and future beneftis. Animal Feed Science and Technology, 86, 1-13.

Bedford, M. R. (2003). New enzyme technologies for poultry feeds. British Poultry Science, 44(S1), 14–16.

Bedford, M. R., Cowieson, A. J. (2012). Exogenous enzymes and their effects on intestinal microbiology. Animal Feed Science and Technology, 173(1-2), 76–85.

Bellaver, C. (2002). Resíduos industriais (Farinhas, óleose sebos), onde colocá-losfrente as restrições de mercado? In: IV Seminário Internacional da Industrialização da Carne (p. 1–12).

Bellaver, C., Lima, G. J. M. (2004). Pontos críticos para a utilização de proteínas e de gorduras de origem animal. In: I Simpósio sobre Manejo e Nutrição Animal (p. 1–17). Campinas - SP.

Bellaver, C., Ludke, J. (2004). Considerações sobre os alimentos alternativos para dietas de suínos. In: Palestras ENIPEC, Cuiabá, MT. CD Rom.

Bellaver, C., Costa, C. A. F., Ávila, V.S., Fraha, M., Lima, G. J. M. M., Hakenhar, L.; Baldi, P. (2005). Substituição de farinhas de origem animal por ingredientes de origem vegetal em dietas para frangos de corte. Ciência Rural, Santa Maria, 35(3), 671-677.

Bermudez, A.J., Firman, J.D. (1998). Effects of biogenic amines on broiler chickens, Avian Diseases, 42, 199-203.

Bertsch, A., Coello, N. (2005). A biotechnological process for treatment and recycling poultry feathers as a feed ingredient. Bioresource Technology, 96(15), 1703–8.

Bielorai, R., Tamir, M., Alumot, E., Bar, A., Hurwitz, S. (1973). Digestion and absorption of protein along the intestinal tract of chicks fed raw and heated soybean meal. The Journal of Nutrition, 103(9), 1291–8.

Biely, P., MacKenzie, C. R., Puls, J. Schneider, H. (1986). Co-operativity of esterases and xylanases in the enzymatic degradation of acetyl xylan. Biotechnology, 4, 731-743.

Blanch, a., Barroeta, a. C., Baucells, M. D., Serrano, X., Puchal, F. (1996). Utilization of different fats and oils by adult chickens as a source of energy, lipid and fatty acids. Animal Feed Science and Technology, 61(1-4), 335–342.

Borges, F. M. O., Rostagno, H. S., Saad, C. E. P., Rodriguez, N. M., Teixeira, E. A., Lara, L. B., Araújo, V. L. (2003). Comparação de métodos de avaliação dos valores energéticos do grão de trigo e seus subprodutos para frangos de corte. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 55(6), 710–721.

Brito, C. O., Albino, L. F. T., Rostagno, H. S., Gomes, P. C., Carvalho, D. C. O., Corassa, A. (2006). Adição de complexo multienzimático em dietas à base de soja extrusada. Valores energéticos e digestibilidade de nutrientes em pintos de corte. Revista Brasileira de Zootecnia, 35 (3), 1047-1055.

Brito, M. S., Franklin, C., Oliveira, S., Rocha, T. (2008). Polissacarídeos não-amiláceos na nutrição de monogástricos - Revisão. Acta Veterinária Brasilica, 2(4), 111–117.

Brune, M., Pinto, M., Peluzio, M. C. G., Moreira, M. A., Barros, E. G. (2010). Avaliação bioquímico-nutricional de uma linhagem de soja livre do inibidor de tripsina Kunitz e de lectinas B. Ciência da Tecnologia de Alimentos, 30(3), 657–663.

Butolo, J. E. (2002). Qualidade de ingredientes na alimentação animal. In: Butolo, J. E. Ingredientes de origem vegetal. (1 ed. p.238). Campinas, SP: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal.

Căpriţă, A., Căpriţă, R., Simulescu, V. O., Drehe, R. M. (2011). Water Extract Viscosities Correlated with Soluble Dietary Fiber Molecular Weight in Cereals. Journal of Agroalimentary Processes and Technologies, 17(3), 242–245.

Carvalho, C. M. C., Fernandes, E. A., Carvalho, A. P., Caires, R. M., Fagundes, N. S. (2012). Uso de farinhas de origem animal na alimentação de frangos de corte Use of animal meal in broilers feed. 111, 69–73.

Choct, M., Annison, G. (1990). Anti-nutritive activity of wheat pentosans in broiler diets. British Poultry Science, 31(4), 811–821.

Choct, M., Annison, G., Trimble, R. (1992). Soluble Wheat Pentosans Exhibit Different Anti-Nutritive Activities in Intact and Cecectomized Broiler Chickens. The Journal of Nutrition, 122, 2457–2465.

Choct, M., Annison, G. (1992a). Anti-nutritive effect of wheat pentosans in broiler chickens: roles of viscosity and gut microflora. British Poultry Science, 33(4), 821–834.

Choct, M., Annison, G. (1992b). The inhibition of nutrient digestion by wheat pentosans. The British Journal of Nutrition, 67(1), 123–132.

Choct, M., Hughes, R. J., Wang, J., Bedford, M. R., Morgan, A. J., Annison, G. (1996). Increased small intestinal fermentation is partly responsible for the anti-nutritive activity of non-starch polysaccharides in chickens. British Poultry Science, 37(3), 609–621.

Choct, M. (1997). Feed Non-Starch Polysaccharides: Chemical Structures and Nutritional Significance. Feed Milling International, 13, 1–10.

Choct, M., Hughes, R. J., Bedford, M. R. (1999). Effects of a xylanase on individual bird variation , starch digestion throughout the intestine , and ileal and caecal volatile fatty acid production in chickens fed wheat. British Poultry Science, 40(3), 419–422.

Choct, M., Kocher, A. (2000). Non-starch carbohydrates: Digestion and its secondary effects in monogastrics. In Proceedings of the Nutrition Society of Australia (pp. 31–38).

Choct, M. (2009). Managing gut health through nutrition. British Poultry Science, 50(1), 9–15.

Choct, M., Dersjant-Li, Y., McLeish, J., Peisker, M. (2010). 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, 23(10), 1386–1398.

Choct, M. (2010). Feed polysaccharides: nutritional roles and effect of enzymes. In: IV Congresso Latino Americano de Nutrição Animal - IV CLANA. Estância de São Pedro, SP, 65-78.

Clarke, E. J., Wiseman, J. (2000). Developments in plant breeding for improved nutritional quality of soya beans II . Anti-nutritional. The Journal of Agricultural Science, 134, 125–136.

Classen, H. L. (1996). Cereal grain starch and exogenous enzymes in poultry diets. Animal Feed Science and Technology, 62(1), 21–27.

Combs, G. F. (1998). Vitamin E. In: The vitamins. (p.189-222). London: Academic Press.

Conte, A. J., Teixeira, A. S., Figuerêdo, A. V, Vitti, D. M. S. S., Silva Filho, J. C. (2002). Efeito da fitase na biodisponibilidade do fósforo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 37(4), 547–552.

Coppedge, J. R., Oden, L. a., Ratliff, B., Brown, B., Ruch, F., Lee, J. T. (2012). Evaluation of nonstarch polysaccharide-degrading enzymes in broiler diets varying in nutrient and energy levels as measured by broiler performance and processing parameters. The Journal of Applied Poultry Research, 21(2), 226–234.

Cowieson, A. J., Acamovic, T., Bedford, M. R. (2004a). The effects of phytase and phytic acid on the loss of endogenous amino acids and minerals from broiler chickens. British Poultry Science, 45(1), 101–108.

Cowieson, A. J., Acamovic, T., Bedford, M. R. (2004b). The effect of phytic acid and phytase on the digestibility of maize starch for growing broiler chickens. Poultry Science, 45(1), 101–108.

Cowieson, A. J., Adeola, O. (2005). Carbohydrases, protease, and phytase have an additive beneficial effect in nutritionally marginal diets for broiler chicks. Poultry Science, 84(12), 1860–1867.

Cowieson, A. J., Ravindran, V. (2008). Effect of exogenous enzymes in maize-based diets varying in nutrient density for young broilers: growth performance and digestibility of energy, minerals and amino acids. British Poultry Science, 49(1), 37–44.

Cowieson, A. J., Bedford, M. R., Selle, P. H., Ravindran, V. (2009). Phytate and microbial phytase: implications for endogenous nitrogen losses and nutrient availability. World's Poultry Science Journal, 65(03), 401-418.

Cowieson, A. J. (2010). Strategic selection od exogenous enzymes for corn/soy-based poultry diets. Journal of Poultry Science, 47, 1–7.

Cowieson, A. J., Wilcock, P., Bedford, M. R. (2011). Super-dosing effects of phytase in poultry and other monogastrics. World's Poultry Science Journal, 67(02), 225–236.

Davidson, M. H., McDonald, A. (1998). Fibers: Forms and functions. Nutrition Research, 18(4), 617–624.

Dibner, J. J., Kitchell, M. L., Atwell, C. A., Ivey, F. J. (1996). The effect of dietary ingredients and age on the microscopic structure of the gastrointestinal tract in poultry. The Journal of Applied Poultry Research, 5, 70–77.

Dibner, J. J., Richards, J. D. (2004). The Digestive System : Challenges and Opportunities.

Divakala, K. C. (2008). Amino acid supplementation of hydrolyzed feather meal diets for finisher pigs. Graduate Faculty of Auburn University, Auburn, Alabama.105 p.

Douglas, M. W., Parsons, C. M., Hymowitz, T. (1999). Nutritional evaluation of lectin-free soybeans for poultry. Poultry Science, 78(1), 91–5.

Duke, G. E. (1992). Recent studies on regulation of gastric motility in turkeys. Poultry Science, 71,1-8.

Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. Food Chemistry, 124(2), 411–421.

Englyst, H. (1989). Classification and Measurement of plant polysaccharides. Animal Feed Science and Technology, 23(1-3), 27–42.

Evers, A. D., Blakeney, A. B., O'Brien, L. O. (1999). Cereal structure and composition. Australian Journal of Agricultural Research, 50, 629–650.

Evers, T., Millar, S. (2002). Cereal Grain Structure and Development: Some Implications for Quality. Journal of Cereal Science, 36(3), 261–284.

Farrel, D. J. (1994). Utilization of rice bran in diets for domestic fowl and ducklings. World's Poultry Science Journal, 50(2), 115-131.

Feeney, R. E., Rhodes, M. B., & Anderson, J. S. (1960). The distribution and role of sialic acid in chicken egg white. The Journal of Biological Chemistry, 235, 2633–2637.

Ferket, P. R. (1993). Pratical use of feed enzymes for turkeys and broilers. Journal Applied of Poultry Research, 2, 75–81.

Ferrer, R., Planas, J. M., Durfort, M., Moretó, M. (1991). Morphological study of the caecal epithelium of the chicken (Gallus gallus domesticus L.). British Poultry Science, 32(4), 679–91.

Fireman, F. A. T., Fireman, A. K. B. A. T. (1998). Enzimas na alimentação de suínos. Ciência Rural, 28(1), 173–178.

Fischer da Silva, A., Borges, S., Maiorka, A., Givisiez, P. E. N., Rocha, C., Macari, M. (2007). Ornithine decarboxylase expression in the small intestine of broilers submitted to feed restriction and glutamine supplementation. Revista Brasileira de Ciência Avícola, 9(2), 111–115.

Freitas, E. R., Sakomura, N. K., Neme, R., Santos, A. L. (2005). Valor energético do óleo ácido de soja para aves. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 40(3), 241–246.

Friday, M., Firman, J., Bermudez, A. (1999). Effects of biogenic amines on broiler performance. The Journal of Applied Poultry Sceince, 8, 408–413.

Gaiotto, J. B., Menten, J. F. M., Racanicci, A. M.C., Iafigliola, M. C. (2000). Óleo de soja, óleo ácido de soja e sebo bovino como fontes de gordura em rações de frangos de corte. Revista Brasileira de Ciência Avícola, 2(3), 219-227.

Gaiotto, J. B. (2004). Determinação da energia metabolizável de gorduras e sua aplicação na formulação de dietas para frangos de corte. Universidade de São Paulo. 94p.

Gallinger, C. I., Suárez, D. M., Irazusta, A. (2004). Effects of rice bran inclusion on performance and bone mineralization in broiler chicks. The Journal of Applied Poultry Research, 13, 183–190.

García, V., Catalá, P., Madrid, J., Orengo, J., Hernández, F. (2008). Polysaccharidase preparations added to a wheat-based diet: effects on performance and digestive parameters of broiler chickens held at three different locations. British Poultry Science, 49(2), 164–75.

Garrett, R. L., Young, J. (1975). Effect of micelle formation on the absorption of neutral fat and fatty acids by the chicken. The Journal of Nutrition, 105(7), 827–838.

Goddeeris, B. M., Boersma, W. J. A., Cox, E., van der Stedo, Koenen, M. E., Vancaeneghem, S., Mast, J., Van, D. (2002). Nutrition and health of the gastroitestinal tract in poultry. Wageningen Academic Publishers, 97-134.

Gonzalez-Esquerra, R., Leeson, S. (2006). Concentrations of putrescine, spermidine, and spermine in duodenum and pancreas as affected by the ratio of arginine to lysine and source of methionine in broilers under heat stress. Poultry Science, 85(8), 1398–408.

Han, Y., Parsons, C. M. (1990). Protein and Amino Acid Quality of Feather Meals. Poultry Science, 70, 812–822.

Hartini, S., Choct, M. (2010). The effect of non-starch polysaccharides derived from different grains on performance and digestive activity in laying hens. Journal of Indonesian Tropical Agriculture, 35(2), 95-100.

Hetland, H., Svihus, B. (2001). Effect of oat hulls on performance, gut capacity and feed passage time in broiler chickens. British Poultry Science, 42, 354-361.

Hetland, H., Svihus, B., Krogdahl, A. (2003). Effects of oat hulls and wood shavings on digestion in broilers and layers fed diets based on whole or ground wheat. British Poultry Science, 44, 275-282.

Hetland, H., Choct, M., Svihus, B. (2004). Role of insoluble non-starch polysaccharides in poultry nutrition. World's Poultry Science Journal, 60(4), 415–422.

Horn, N. L., Donkin, S. S., Applegate, T. J., Adeola, O. (2009). Intestinal mucin dynamics: response of broiler chicks and White Pekin ducklings to dietary threonine. Poultry Science, 88(9), 1906–1914.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores IBGE – Estatística da produção pecuária. São Paulo. Rio de Janeiro, 2013.

Iji, P. A. (1999). The impact of cereal non-starch polysaccharides on intestinal development and function in broiler chickens. World's Poultry Science Journal, 55, 375-387.

Iji, P. A., Hughes, R. J., Choct, M., Tivey, D. (2001a). Intestinal Structure and Function of broiler feed whest-based diets supplemented with a microbial enzyme.pdf. Asian Australasian Journal of Animal Sciences, 14(1), 54–60.

Iji, P. A, Saki, a, Tivey, D. R. (2001b). Body and intestinal growth of broiler chicks on a commercial starter diet. 1. Intestinal weight and mucosal development. British Poultry Science, 42(4), 505–13.

Ito, H., Satsukawa, M., Arai, E., Sugiyama, K., Sonoyama, K., Kiriyama, S., Morita, T. (2009). Soluble fiber viscosity affects both goblet cell number and small intestine mucin secretion in rats. Journal of Nutrition, 139(9), 1640-1647.

Jeurissen, S. H. M., Lewis, F., Klis, J. D. Van der, Mroz, Z., Rebel, J. M. J., Ter Huurne, A. A. H. M. (2002). Parameters and techniques to determine intestinal health of poultry as constituted by immunity, integrity, and functionality. Intestinal Microbiology, 3, 1–14.

Jørgensen, H., Zhao, X. Q., Knudsen, K. E., Eggum, B. O. (1996). The influence of dietary fibre source and level on the development of the gastrointestinal tract, digestibility and energy metabolism in broiler chickens. The British Journal of Nutrition, 75(3), 379–95.

Kakade, M. L., Hoffa, D. E., Liener, I. E. (1973). Contribution of trypsin inhibitors to the deleterious effects of unheated soybeans fed to rats. Journal of Nutrition, 103(12), 1772-1778.

Kalač, P., Krausová, P. (2005). A review of dietary polyamines: Formation, implications for growth and health and occurrence in foods. Food Chemistry, 90(1-2), 219–230.

Karovičová, J., Kohajdová, Z. (2005). Biogenic amines in food. Chemical Papers, 59(1), 70–79.

Keirs, R. W., Bennet, L. (1993). Broiler performance loss associated with biogenic amines. In: Proceedings of Maryland Nutrition Conference, Baltimore, MD. 31-34

Ketels, E., Groote, G. D. E. (1989). Effect of ratio of unsaturated to saturated fatty acids of the dietary lipid fraction on utilization and metabolizable energy of added fats digestibility and AME of fats in broiler diets depend on the fatty acid composition. Poultry Science, 68, 1506–1512.

Kidd, M. T., Morgan, G. W., Price, C. J. (2001). Enzyme supplementation to corn and soybean meal diets fo rbroilers. Journal Applied of Poultry Research, 10, 65–70.

Kocher, A., Choct, M., Ross, G., Broz, J., Chung, T. K. (2003). Effects of enzyme combinations on apparent metabolizable energy of corn-soybean meal-based diets in broilers. Journal of Applied Poultry Research, 12, 275-283.

Koutsos, E., Arias, V. (2006). Intestinal ecology: interactions among the gastrointestinal tract, nutrition, and the microflora. The Journal of Applied Poultry Research, 15, 161–173.

Larsen, F. M., Moughah, P. J., Wilson, M. N. (1993). Nutrient requirements and interactions dietary fiber viscosity and endogenous protein excretion at the terminal ileum of growing rats. The Journal of Nutrition, 123, 1898–1904.

Latshaw, J. D. (1990). Quality of Feather Meal as Affected by Feather Processing Conditions. Poultry Science, 69, 953–958.

Leeson, S., Summers, J. D. (2001). Naturally occurring toxins relevant to poultry nutrition, In: Scott's Nutrition of the Chicken. (4 ed. p. 544-586). Guelph, Ontario: University Books.

Leslie, M. a, Moran, E. T., Bedford, M. R. (2007). The effect of phytase and glucanase on the ileal digestible energy of corn and soybean meal fed to broilers. Poultry Science, 86(11), 2350–7.

Lien, K. A., Sauer, W. C., He, J. M. (2001). Dietary influences on the secretion into and degradation of mucin in the digestive tract of monogastric animals and humans. Journal of Animal and Feed Sciences, 10, 223-245.

Liener, I. E. (1981). Factors affecting the nutritional quality of soya products. Journal of the American Oil Chemists' Society, 58, 406-415.

Liener, I. E. (1994). Implication of anti-nutritional components in soyben foods. Critical Review Food Science Nutrition, 34, 31-67.

Lima, M. R., Silva, J. H. V., Araújo, J. A., Lima, C. B., Oliveira, E. R. A. (2007). Enzimas exógenas na alimentação de aves. Acta Veterinario Brasilica, 1(4), 99-110.

Lipstein, B., Bornstein, S. (1968). Lack of interference between dietary acidulated soybean soapstock and calcium in chicks and laying hens. Poultry Science, 47(6), 1905–1911.

Luck, G. D. Morton, J. J. Baylin, S.B. (1980). Ornithine decarboxylase is important in intestinal mucosa maturation and recovery from injury in rats. Science, 210, 195-198

Macalpine, R., Payne, C. G. (1977). Hydrolysed feather protein as a source of amino acids for broilers. British Poultry Science, 18(3), 265–273.

MacKay, D. M., Baird, A. W. (1999). Cytokine regulation of ephitelial permeability and ion transport. Gut, 44, 283-289.

Maes, C., Vangeneugden, B., Delcour, J. (2004). Relative activity of two endoxylanases towards water-unextractable arabinoxylans in wheat bran. Journal of Cereal Science, 39(2), 181-186.

Maenz, D. D., Classen, H. L. (1998). Phytase activity in the small intestinal brush border membrane of the chicken. Poultry Science, 77(4), 557-563.

Maenz, D. D., Irish, G.G., Classen, H.L. (1999). Carbohydrate-binding and agglutinating lectins in raw and processed soybean meals. Animal Feed Science and Technology, 76(3-4), 335–343.

Mares, B. D. J., Stone, B. A. (1973). Studies on wheat endosperm - I. Chemical composition and ultrastructure of the cell walls. Autralian Journal of Biological Science, 793–812.

Marsman, G. J. P., Gruppen, H., Van der Poel, A. F. B., Resinik, J. W., Verstegen, M. W. A. Voragen, A. G. J. (1995). The effect of shear forces and addition of a mixture of a protease and a hemicellulase on chemical, physical and physiological parameters during extrusion of soybean meal. Animal Feed Science and Technology, 56(132), 21-35.

Mateos, G. G., Jiménez-Moreno, E., Serrano, M. P., Lázaro, R. P. (2012). Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics. Journal Applied of Poultry Research, 21, 156–174.

Mazzuco, H. (1997). Impacto das aminas biogênicas na produção avícola. In: Instrução técnica para o avicultor - Embrapa. ISSN 1516-5523

Mello, H. H. C., Gomes, P. C., Rostagno, H. S., Albino, L. F. T., Souza, R. M., Calderano, A. A. (2009). Valores de energia metabolizável de alguns alimentos obtidos com aves de diferentes idades. Revista Brasileira de Zootecnia, 38(5), 863–868.

Meng, X., Slominski, B. A. (2005). Nutritive values of corn, soybean meal, canola meal, and peas for broiler chickens as affected by a multicarbohydrase preparation of cell wall degrading enzymes. Poultry Science, 84(8), 1242–51.

Meyer, B., Bessei, W., Bessei, A. W., Vahjen, W., Zentek, J., Harlander-Matauschek, a. (2012). Dietary inclusion of feathers affects intestinal microbiota and microbial metabolites in growing Leghorn-type chickens. Poultry Science, 91(7), 1506–13.

Miles, R. D., Wilson, H. R., Bressman, R. B., Butcher, G. D., Comer, C. W. (2000). Biogenic amines: I. Influence of feeding vartious dietary concentrations of eight biogenic amines individually or in combination to broilers. Poultry Science 79, 125.

Milovic, V. (2001). Polyamines in the gut lumen: bioavailability and biodistribution. European Journal of Gastroenterology & Hepatology, 13(9), 1021–1025.

Mogridge, J. L., Smith, T. K., Sousadias, M. G. (1996). Effect of feeding raw soybeans on polyamine metabolism in chicks and the therapeutic effect of exogen putrescine. Journal of Animal Science, 74, 1897–1904.

Monteiro, M., Moreira, M., Costa, N. M. B., Oliveira, M. G. A., & Pires, C. V. (2003). Avaliação da digestibilidade protéica de genótipos de soja com ausência e presença do inibidor de tripsina Kunitz e lipoxigenases. Brazilian Journal of Food Technology, 6(1), 99–107.

Moran, E. T. (1985). Digestion and absorption of carbohydrates in fowl and events through perinatal development. The Journal of Nutrition, 115(5), 665–74.

Moran Jr, E. T., Summers, J. D., Slinger, S. J. (1966). Keratin as a Source of Protein for the Growing Chick. Poultry Science, 45(6), 1257–1266.

Moritz, J. S., Latshaw, J. D. (2001). Indicators of Nutritional Value of Hydrolyzed Feather Meal 1 Analysis of the Feather Meal Samples. Poultry Science, 80, 79–86.

Nakano, K., Nakano, T., Ahn, D. U., Siml, J. S. (1994). Sialic acid contents in chicken eggs and tissues. Canadian Journal of Animal Science, 3, 601–607.

Navarro, G. (1992). Nuevos conseptos de la soya integral en la alimentación avícola. Soya Notícia, 226, 1-5.

Nelson, T. S. (1967). The utilization of phytate phosphorus by poultry-A review. Poultry Science, 46(4), 862–71.

Nery, L. R., Albino, L. F. T., Rostagno, H. R., Campos, A. M. A., Silva, C. R. Valores de energia metabolizável de alimentos determinados com frangos de corte. Revista Brasileira de Zootecnia, 36(5), 1354-1358.

Nieto, R., Lobley, G. E. (1999). Integration of protein metabolism within the whole body and between organs. In: Proceedings of the 8th International Symposium

Nir, I., Nitsan, Z., Mahagna, M. (1993). Comparative growth and development of the digestive organs and of some enzymes in broiler and egg type chicks after hatching. British Poultry Science, 34(3), 523–32.

Nunes, R. V, Rostagno, H. S., Albino, L. F. T., Gomes, P. C., Toledo, R. S. (2001). Composição bromatológica, energia metabolizável e equações de predição da Energia do grão e de subprodutos do trigo para pintos de corte. Revista Brasileira de Zootecnia, 30(3), 785–793.

Nyachoti, C. M., De Lange, C. F. M., McBride, B. W., Schulze, H. (1997). Significance of endogenous gut nitrogen losses in the nutrition of growing pigs: A review. Canadian Journal of Animal Science, 77, 149–163.

Oke, D. B. (2007). Mechanism of action, toxicity and nutritional significance of heat-labile antinutritional factors in some legumes: A review. Journal of Food Technology, 5(4), 286–289.

Oliveira, P. B., Murakami, A. E., Garcia, E. R. M., Macari, M., Scapinello, C. (2000). Influência de fatores antinutricionais da leucena (Leucaena leucocephala e Leucaena cunningan) e do feijão guandu (Cajanus cajan) sobre o epitélio intestinal e o desempenho de frangos de corte. Revista Brasileira de Zootecnia, 29(6), 1759-1769.

Olukosi, O. A., Cowieson, A. J., Adeola, O. (2010). Broiler responses to supplementation of phytase and admixture of carbohydrases and protease in maize-soyabean meal diets with or without maize Distillers' Dried Grain with Solubles. British Poultry Science, 51(3), 434–43.

Onifade, A. A., Al-Sane, N. A., Al-Musallam, A. A., Al-Zarban, S. (1998). A review: Potentials for biotechnological applications of keratin-degrading microorganisms and their enzymes for nutritional improvement of feathers and other keratins as livestock feed resources. Bioresource Technology, 66(1), 1–11.

Onyango, E. M., Bedford, M. R., Adeola, O. (2005). Phytase activity along the digestive tract of the broiler chick: A comparative study of an Escherichia coli-derived and Peniophora lycii phytase. Canadian Journal of Animal Science, 85, 61–68.

Palacios, M. F., Easter, R. A., Soltwedel, K. T., Parsons, C. M., Douglas, M. W., Hymowits, T., Pettigrew, J .E. (2004). Effect of soybean variety and processing on growth performance of young chicks and pigs. Journal of Animal Science, 82, 1108-1114.

Papadopoulos, M. C., Boushy, A. R. E. L., Ketelaars, E. H. (1985). Effect of different processing conditions on amino acid digestibility of feather meal determined by chicken assay. Poultry Science, 64, 1729–1741.

Pardio, V. T., Landin, L. A, Waliszewski, K. N., Badillo, T. C., Perez-Gil, F. (2001). The effect of acidified soapstocks on feed conversion and broiler skin pigmentation. Poultry Science, 80(8), 1236–1239.

Parsons, C. M., Hashimoto, K., Wedekind, K. J., Han, Y., Baker, H. (1992). Effect of overprocessing on availability in soybean meal. Poultry Science, 71, 133-140.

Penz Jr., A. M. (1998). Enzimas em rações para aves e suínos. In: 35°Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Botucatu-SP, p.165-178.

Perez-Maldonado, R. A., Mannion, P. F., Farrell, D. J. (2003). Effects of heat treatment on the nutritional value of raw soybean selected for low trypsin inhibitor activity. British Poultry Science, 44(2), 299-308.

Pirgozliev, V. R., Oduguwa, O., Acamovic, T., Bedford, M. R. (2005). Effect of dietary phytase on performance, metabolizable energy and endogenous losses of broiler chickens. In in Proc. 15th Eur. Symp. Poult. Nutr., Balatonfured, Hungary, September 25–29. (pp. 319–321).

Pirgozliev, V., Oduguwa, O., Acamovic, T., Bedford, M. R. (2007). Diets containing Escherichia coli-derived phytase on young chickens and turkeys: effects on performance, metabolizable energy, endogenous secretions, and intestinal morphology. Poultry Science, 86(4), 705–13.

Poutanen, K. (2012). Past and future of cereal grains as food for health. Trends in Food Science & Technology, 25(2), 58–62.

Raber, M. R., Ribeiro, A., Kessler, A. D. M., Arnaiz, V., Labres, R. V. (2008). Desempenho , metabolismo e níveis plasmáticos de colesterol e triglicerídeos em frangos de corte alimentados com óleo ácido e óleo de soja. Ciência Rural, 38(6), 1730–1736.

Raber, M., Ribeiro, A., Kessler, A., Arnaiz, V. (2009). Suplementação de glicerol ou de lecitina em diferentes níveis de ácidos graxos livres em dietas para frangos de corte. Ciência Animal Brasileira, 10(3), 745–753.

Ravindran, V. (1995). Evaluation of a layer diet formulated from non-conventional feedingstuffs. British Poultry Science, 36(1), 165–170.

Regina, R. (2010). Principais ingredientes da nutrição animal. In: Nutrição animal, principais ingredientes e manejo de aves e suínos. (1 ed p. 413). São Paulo-SP, Fundação Cargil.

Renner, R., Hill F. W. (1961). Utilization of Fatty Acids by the Chicken. The Journal of Nutrition, 64, 259-264.

Rocha, C., Maiorka, A., Valle, F. L. P., Schramm, V. G., Angeli, A. L., Fischer da Silva, A. V. (2012). The effect of soybean oil quality and vitamin E supplementation on turkey diet nutrition. The Journal of Applied Poultry Research, 21(2), 318–324.

Rostagno, H. R., Albino, L. F. T., Donzele, J. L., Gomes, P. C., Oliveira, R. F., Lopes, D. C., Euclides, R. F. (2011). Tabelas Brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. (H. S. Rostagno, Ed.) (3 ed., p. 252). Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa.

Rutherfurd, S. M., Chung, T. K., Moughan, P. J. (2002). The effect of microbial fitase on ileal phosphorus and amino acid digestibility in the broiler chicken, British Poultry Science, 44, 598-606.

Ryan, E. (2011). Bioactive food components and health properties of rice bran. Journal of the American Veterinary Medical Association, 238(5), 593–600.

Savage, W., Wei, L., Sutherland, J. W., Schimidt, S. J. (1995). Biologically active components inactivation and protein insolubilization during heat processing of soybeans. Journal of Food Science, 60(1), 164–168.

Sayre, R. N., Earl, L., Kratzer, F. H., Saunders, R. M. (1987). Nutritional qualities of stabilized and raw rice bran for chicks. Poultry Science, 66(3), 493–499.

Scapim, M. R. S., Loures, E. G., Rostagno, H., Cecon, P. R., Scapim, C. A. (2003). Avaliação nutricional da farinha de penas e de sangue para frangos de corte submetida a diferentes tratamentos térmicos. Acta Scientiarium Animal Sciences, 25(1), 91–98.

Schooneveld-Bergamans, M. E. F., Beldman, G., Voragen, A. G. J. (1999). Structural features of (glucorono) arabinoxylans extracted from wheat bran by barium hydroxide, Journal of Cereal Science, 29, 63-75.

Schramm, R., Abadie, A., Hua, N., Xu, Z., Lima, M. (2007). Fractionation of the rice bran layer and quantification of vitamin E, oryzanol, protein, and rice bran saccharide. Journal of Biological Engineering, 1, 1–9.

Schutte, J.B. (1991). Nutritional value and physiological effects of D-xylose and L-arabinose in poultry and pigs. PhD Thesis Univesiteit Wageningen. 173p.

Selle,P. H., Ravindran, V., Bryden, W. L. Scott, T. A. (2006). Influence of dietary phytate and exogenous phytase on amino acid digestibility in poultry: a review. Journal Poultry Science, 43, 89.

Selle, P., Ravindran, V. (2007). Microbial phytase in poultry nutrition. Animal Feed Science and Technology, 135, 1–41.

Shafey, T. M., MacDonald, M. W., Dingle, J. G. (1991). Effect of dietary calcium and available phosphorus concentration on intestinal pH on the availability of calcium, iron, magnesium, and zinc from the intestinal contents of meat chickens. British Poultry Science, 32, 185-194.

Sharma, R., Fernandez, F., Hinton, M., & Schumacher, U. (1997). The influence of diet on the mucin carbohydrates in the chick intestinal tract. Cellular and Molecular Life Sciences: CMLS, 53(11-12), 935–42.

Silva, M., Silva, M. A. A. P. (2000). Fatores antinutricionais: Inibidores de proteases e lectinas. Revista de Nutrição, 13(2), 3–9.

Singh, P. K. (2008). Significance of phytic acid and supplemental phytase in chicken nutrition: a review. World's Poultry Science Journal, 64(04), 553-580.

Sgarbierri, V.C. (1996). Proteínas em alimentos proteicos: propriedades, degradações e modificações. (1 ed p. 517). São Paulo, SP: Livraria Varela.

Sklan, D. (1979). Digestion and absorption of lipids in chicks fed triglycerides or free fatty acids: synthesis of monoglycerides in the intestine. Poultry Science, 58(4), 885–889.

Sklan, D. (2001). Development of the digestive tract of poultry. World's Poultry Science Journal, 57, 415-428.

Slominski, B. A. (2011). Recent advances in research on enzymes for poultry diets. Poultry Science, 90(9), 2013–2023.

Smith, T. K. (1990). Effect of dietary putrescine on whole body growth and polyamine metabolism. In: Proceedings of the Society Experimental and Biolology and Medicine 194, 332-336.

Smith, T. K., Tapia-salazar, M., Cruz-Suarez, L. E., Ricque-marie, D. (2000). Feed-borne biogenic amines : Natural toxicants or growth promotors ? In: Avances en Nutrición Acuícola V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola (p. 24–32). Yucatán, México.

Smits, C., Annison, G. (1996). Non-starch plant polysaccharides in broiler nutrition-towards a physiologically valid approach to their determination. World's Poultry Science Journaloultry Science Journal, 52(2), 203–221.

Sousadias, M., Smith, T. (1995). Toxicity and growth-promoting potential of spermine when fed to chicks. Journal of Animal Sciencecience, 73, 2375–2381.

Šramková, Z., Gregová, E., Šturdík, E. (2009). Chemical composition and nutritional quality of wheat grain. Acta Chimica Slovaca, 2(1), 115–138.

Stephen, A. M., Cummings, J. H. (1979). Water-holding by dietary fibre in vitro and its relationship to faecal output in man. Gut, 20(8), 722-729.

Svihus, B., Juvik, E., Hetland, H., Krogdahl, Å. (2004). Causes for improvement in nutritive value of broiler chicken diets with whole wheat instead of ground wheat. British Poultry Science, 45(1), 55–60.

Tamim, N. M., Angel, R. (2003). Phytate phosphorus hydrolysis as influenced by dietary calcium and micro-mineral source in broiler diets. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51(16), 4687–93.

Tamim, N. M., Angel, R., Christman, M. (2004). Influence of dietary calcium and phytase on phytate phosphorus hydrolysis in broiler chickens. Poultry Science, 83(8), 1358–67.

Turk, D. E. (1982). Anatomy of the avian digestive tract as related to feed utilization. In: Symposium: The avian gastroitestinal tract and digestion. The Poultry Science, 61, 1225–1244.

Uni, Z. (2006). Early development of small intestinal function. In: Avian gut function in health and disease. (G. C. Perry, Ed.) (28th ed., p.431). Bristol, UK: University of Bristol.

Van der Klis, J. D., van Voorst, A., van Cruyningen, C. (1993). Effect of a soluble polysaccharide (carboxy methylcellulose) on the physico-chemical conditions in the gastrintestinal tract of broilers. British Poultry Science, 34(5), 971–983.

Van der Poel, A. F. B., Blonk, J., van Zuilichem, D.J, van Oort, M. G. (1990). Thermal inactivation of lectins and trypsin inhibitors activity during steam processing of dry beans (Phaseolus vulgaris L.) and effects on protein quality. Journal of Science Food Agriculture, 53, 215–228

Varki, a. (1992). Diversity in the sialic acids. Glycobiology, 2(1), 25–40.

Verbsky, J. W., Wilson, M. P., Kisselev, M. V., Majerus, P. W., Wente, S. R. (2002). The synthesis of inositol hexakisphosphate: characterization of human inositol 1,3,4,5,6-pentakisphosphate 2- kinase. The Journal of Biological Chemistry 277, 31857-31862.

Vieira, S., Ribeiro, A., Kessler, A., Fernandes, L., Ebert, A., & Eichner, G. (2002). Utilização da energia de dietas para frangos de corte formuladas com óleo ácido de Soja. Revista Brasileira de Ciência Avícola, 4(3), 1–13.

Vila, B., Esteve-Garcia, E. (1996). Studies on acid oils and fatty acids for chickens. I. Influence of age, rate of inclusion and degree of saturation on fat digestibility and metabolisable energy of acid oils. British Poultry Science, 37(1), 105–17.

Waldroup, P. (1982). Whole soybeans for poultry feeds. World's Poultry Science Journal, 38(1), 28–35.

Wang, X., Parsons, C. M. (1997). Effect of Processing Systems on Protein Quality of Feather Meals and Hog Hair Meals. Poultry Science, 76, 491–496.

Wang, Z. R., Qiao, S. Y., Lu, W. Q., Li, D. F. (2005). Effects of enzyme supplementation on performance, nutrient digestibility, gastrointestinal morphology, and volatile fatty acid profiles in the hindgut of broilers fed wheat-based diets. Poultry Science, 84(6), 875–81.

Warren, B. E., Farrell, D. J. (1990a). The nutritive value of full-fat and defatted Australian rice bran. I. Chemical composition. Animal Feed Science and Technology, 27(3), 219–228.

Warren, B. E., Farrell, D. J. (1990b). The nutritive value of full-fat and defatted Australian rice bran. II. Growth studies with chickens, rats and pigs. Animal Feed Science and Technology, 27(3), 229–246.

Williams, P. E. V, Geraert, P. A., Uzu, G., Annison, G. (1997). Factors affecting non-starch polysaccharide digestibility in poultry. In: Morand-Fehr P. (ed.). Feed manufacturing in Southern Europe: New challenges. 134, 125–134.

Wiseman, J., Blanch, A. (1994). The effect of free fatty acid content on the apparent metabolisable energy of coconut/palm kernel oil for broiler chickens aged 12 and 52 days. Animal Feed Science and Technology, 47(3-4), 225–236.

Wiseman, J., Salvador, F. (1991). The influence of free fatty acid content and degree of saturation on the apparent metabolizable energy value of fats fed to broilers. Poultry Science, 70(3), 573–82.

Yao, M. Z., Zhang, Y. H., Lu, W. L., Hu, M. Q., Wang, W., Liang, A. H. (2011). Phytases: crystal structures, protein engineering and potential biotechnological applications. Journal of Applied Microbiology, 112(1), 1–14.

Yegani, M., Korver, D. R. (2008). Factors affecting intestinal health in poultry. Poultry Science, 87(10), 2052–63.

Yegani, M., & Korver, D. R. (2013). Effects of corn source and exogenous enzymes on growth performance and nutrient digestibility in broiler chickens. Poultry Science, 92(5), 1208–1220.

Zamora, A. (2014). Carbohydrates - chemical structure, http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohidratos2.html

Zhang, Y., Parsons, C., & Hymowitz, T. (1991). Effect of Soybeans Varying in Trypsin Inhibitor Content on Performance of Laying Hens. Poultry Science, 70, 2210–2213.

Zou, J., Zheng, P., Zhang, K., Ding, X., & Bai, S. (2013). Effects of exogenous enzymes and dietary energy on performance and digestive physiology of broilers. Journal of Animal Science and Biotechnology, 4(1), 14.

CAPÍTULO 2 - SOJA INTEGRAL CRUA OU TOSTADA NA ALIMENTAÇÃO DE FRANGOS

Resumo

O grão de soja apresenta elevado teor protéico e energético, entretanto, fatores antinutricionais limitam sua utilização na alimentação de animais não ruminantes. Diante disso, objetivou-se neste estudo verificar a influência da inclusão de soja integral crua (SIC), tostada (SIT) e supertostada (SIS) sobre a saúde intestinal, digestibilidade e peso de pâncreas de frangos de corte. Cento e vinte frangos de corte foram submetidos a tratamentos com a inclusão de 15% SIT, 10%SIT+5%SIC, 15% SIC e 10%SIT+5% SIS. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Aves alimentadas com dietas contendo 15% de SIC apresentaram contagem de células caliciformes e concentração de ácido siálico mais elevadas em relação aos animais dos tratamentos contendo SIT e SIS. A altura dos vilos de aves alimentadas com 15% de SIC foi menor em relação ao tratamento contendo 10% SIT+5% SIC. O coeficiente de digestibilidade aparente ileal (CDAi) dos nutrientes foi afetado pelos tratamentos. O pâncreas das aves alimentadas com dietas contendo SIC foi significativamente mais pesado em relação às aves alimentadas com as dietas contendo SIT e SIS. Tanto a integridade intestinal assim como a estrutura pancreática são prejudicadas pela inclusão de SIC nas dietas. Já o superprocessamento do grão da soja prejudica o aproveitamento de nutrientes pelas aves.

Palavras-Chave: Ácido siálico; Digestibilidade; *Glycine Max;* Processamento; Saúde intestinal

Abstract

Soybeans have high protein and energy content, however, they also contain antinutritional factors that limit inclusion in feeds for nonruminant animals. Therefore, the aim of the present study was to evaluate the influence of feeding raw (RFFS), deactivated (DFFS), or overheated (OFFS) full-fat soybeans on the intestinal health, diet digestibility, and pancreas weight of broilers. One hundred twenty broilers were fed diets containing 15% DFFS, 10% DFFS + 5%RFFS, 15% RFFS, or 10% DFFS + 5% OFFS. Data were submitted to ANOVA and means were compared by Tukey's test. Broilers fed 15% RFFS presented higher goblet cell counts and sialic acid levels compared with those fed diets containing DFFS and OFFS. Intestinal villi were shorter in birds fed 15% RFFS than those fed 10% DFFS + 5% RFFS. The coefficient of apparent digestibility of nutrients was affected by the dietary treatments. The pancreas of the broilers fed the diets containing RFFS was significantly heavier of those fed DFFS or OFFS. The intestinal integrity, as well as pancreas structure, is impaired by the inclusion of RFFS in broiler diets. Conversely, soybean over-heating hinders nutrient utilization by broilers.

Key words: digestibility, glycine max, intestinal health, sialic acid, soybean processing.

1. Introdução

Derivados de soja e milho são os principais ingredientes utilizados na formulação de rações destinadas a alimentação animal. A associação entre o farelo de soja e as fontes de óleos e/ou gorduras nas formulações de ração é uma das maneiras utilizadas para atender a alta exigência protéica e energética das linhagens de frangos de corte. A soja integral pode ser utilizada como alternativa a esses ingredientes por ser uma matéria-prima protéica (370 a 420 g/kg) e com alta quantidade de óleo (180 a 220 g/kg), podendo ser utilizada também como fonte de energia (Waldroup, 1982; Rostagno et al., 2011). Entretanto, o grão de soja deve ser submetido a processamentos que eliminem parte dos fatores antinutricionais, os quais são prejudiciais ao metabolismo e saúde dos animais não ruminantes.

Dentre os fatores antinutricionais presentes no grão de soja *in natura* destacam-se os inibidores de proteases, lectinas (hemaglutininas) e fatores alergênicos (glicinina e β-conglicinina), compostos termolábeis capazes de serem inativados por meio de processos térmicos. Uma vez inativados, a soja integral pode ser adicionada às rações sem prejuízos ao animal. Além dos fatores antinutricionais termolábeis, a soja também apresenta em sua constituição alguns fatores antinutricionais termoestáveis como os oligossacarídeos, os polissacarídeos não-amiláceos (PNA) e fitatos, os quais são capazes de serem degradados pela adição de enzimas exógenas à dieta.

A presença de fatores antinutricionais na dieta é capaz de inibir o crescimento, indisponibilizar nutrientes contidos nos ingredientes, inclusive minerais como o cálcio e o fósforo, reduzir a eficiência alimentar, promover hipertrofia pancreática (Hurrell, 1990; Han et al., 1991; Palacios et al., 2004), causar efeitos deletérios sobre a mucosa intestinal, ruptura dos microvilos, redução no aproveitamento dos nutrientes da dieta com prejuízo na produtividade, perda de aminoácidos essenciais endógenos e redução na proteólise (Fasina et al., 2006; Clark & Coopersmith, 2007).

Otimizar o grau de processamento do grão da soja a ponto de minimizar a presença dos fatores antinutricionais e ao mesmo tempo evitar o super processamento é essencial para obtenção de resultados produtivos satisfatórios. Deste modo, considerando a importância nutricional da soja na alimentação de não ruminantes, objetivou-se neste estudo verificar a influência da utilização de soja integral crua, tostada e supertostada e seus fatores antinutricionais sobre a saúde intestinal, digestibilidade de nutrientes e peso de pâncreas de frangos de corte aos 21 dias de idade.

2. Material e Métodos

O presente experimento foi aprovado pela Comissão de Ética ao Uso de Animais do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná sob o protocolo 057/2011.

Foram alojados 120 pintos de corte, com um dia de idade e peso médio de 46,59±0,56g, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado composto por quatro tratamentos, seis repetições de cinco aves cada. As aves foram criadas durante 21 dias em boxes medindo 2,25m^2 equipados com cama de maravalha reutilizada, bebedouros pendulares e comedouros tubulares. Até os 14 dias de idade o aquecimento dos pintainhos foi realizado com campânulas elétricas equipadas com lâmpada incandescente para cada boxe, e posteriormente com manejo de cortinas.

As rações experimentais foram formuladas à base de milho e farelo de soja seguindo os níveis nutricionais indicados por Rostagno et al. 2011. Os tratamentos experimentais consistiram na inclusão em diferentes proporções de soja integral crua (SIC), soja integral desativada (SID) e soja integral supertostada (SIS) como demonstrado na tabela 1. O processo de desativação da soja foi realizado pela utilização de calor úmido (150°C -15 min). Já o processo de supertostagem foi realizado pelo aquecimento do grão de soja a 180°C durante um período de 50 minutos. A análise da composição química da SIC, SIT e SIS e variáveis da qualidade protéica estão demonstradas na tabela 2. Os animais receberam água e ração na forma farelada à vontade durante todo o período experimental.

Tabela 1. Ingredientes e composição química calculada e analisada das rações experimentais.

Ingredientes (g/kg)	15%SIT	10%SIT+5%SIC	15%SIC	10%SIT+5%SIS
Milho	552,4	552,4	552,4	552,4
Farelo de Soja 46%	236,9	236,9	236,9	236,9
SIC[1]	-	50,0	150,0	-
SIT[1]	150,0	100,0	-	100,0
SIS[1]	-	-	-	50,0
Óleo de Soja	13,6	13,6	13,6	13,6
Calcário Calcítico	9,6	9,6	9,6	9,6
Fosfato Bicálcico	16,0	16,0	16,0	16,0
Sal	4,4	4,4	4,4	4,4
L-Lisina pó	1,0	1,0	1,0	1,0
DL-Metionina	2,7	2,7	2,7	2,7
L-Treonina	0,5	0,5	0,5	0,5
Colina	1,3	1,3	1,3	1,3
Celite	10,0	10,0	10,0	10,0
Premix Vitamínico[2]	1,0	1,0	1,0	1,0
Premix Mineral[3]	0,5	0,5	0,5	0,5
Composição Química Analisada (g/kg)				
Umidade	107,3	108,3	112,0	105,1
Proteína Bruta	227,9	227,0	212,7	227,3
Extrato Etéreo	69,9	68,6	71,5	67,6
Resíduo Mineral	62,1	61,9	62,9	59,4
Composição Química Calculada (g/kg)				
EM aves (kcal/kg)	3022	3022	3022	3022
Cálcio	10,1	10,1	10,1	10,1
Pdisp	4,1	4,1	4,1	4,1
Sódio	1,9	1,9	1,9	1,9
Potássio	8,3	8,3	8,3	8,3
Cloro	3,1	3,1	3,1	3,1
Lisina digestível	10,9	10,9	10,9	10,9
Met+cis dig	5,8	5,8	5,8	5,8
Metionina dig	2,9	2,9	2,9	2,9
Treonina dig	7,0	7,0	7,0	7,0
Triptofano dig	2,2	2,2	2,2	2,2

[1] SIC=soja integral crua; SIT=soja integral tostada; SIS= soja integral supertostada.

[2]Suplemento Vitamínico - Garantia por kg de produto Vit.A 2.300.000 UI, Vit D3 400.000 UI, Vit E 1.800 mg, Vit K3 300 mg, Vit B1 150 mg, Vit B2 1.400 mg, Vit B12 3.500 mcg, Ácido Pantotênico 2.000 mg, Ácido Nicotínico 7.000 mg, Piridoxina 250 mg, Ácido Fólico 150 mg, Biotina 20 mg, Colina 125 g, Anticoccidiano 125 g, Promotor 30 g, Antioxidante 20 g.

[3]Suplemento Mineral – Garantia por kg de produto: Ferro 35.000 mg, Cobre 50.000 mg, Manganês 35.000 mg, Zinco 30.000 mg, Iodo 600 mg, Selênio 90 mg

Para avaliação da altura dos vilos, profundidade das criptas, contagem do número de células caliciformes, peso de pâncreas e quantificação da concentração de ácido N-acetilneuramínico (ácido siálico) foram apanhadas aleatoriamente seis aves por tratamento, sendo a ave considerada como uma unidade experimental, pesadas e em seguida abatidas por deslocamento cervical aos 21 dias idade. Amostras de dois centímetros do íleo (dois centímetros abaixo do divertículo de Meckel's) foram coletadas para análise das variáveis de morfometria intestinal. Os segmentos coletados foram seccionados longitudinalmente, estendidos em papel rígido e grampeados pelas extremidades, lavados cuidadosamente com solução salina 0,9% e fixados em solução de formol tamponado 10% durante 48 horas. Em seguida, foram desidratados em série crescente de álcool (70 até 100%), diafanizados em xilol e incluídos em parafina. Para a determinação da altura dos vilos, profundidade de cripta e número de células caliciformes foram realizados cortes histológicos com 5 μm de espessura e corados com hematoxilina-eosina (HE) e alcian blue (AB). Foram capturadas imagens de 20 vilos e 20 criptas por ave (aumento 40 vezes) utilizando-se um sistema analisador de imagem (Motic Images Plus 2.0) acoplado ao microscópio (Olympus BH2 Olympus America INC., NY, USA). As medidas de altura dos vilos foram tomadas a partir da região basal, que coincide com a porção superior das criptas até o ápice, e as criptas, da base até a região de transição cripta:vilo. O número de células caliciformes foi determinado ao longo de 200 μm na parte média de 20 vilos (aumento de 200 vezes) utilizando-se este mesmo sistema. O pâncreas foi coletado e pesado úmido.

Para quantificação da concentração de ácido siálico foi coletado o conteúdo ileal das mesmas aves utilizadas para morfometria intestinal, sendo padronizada a coleta do conteúdo ileal seis centímetros após o divertículo de Meckel's até quatro centímetros acima da junção íleo-ceco-cólica. As amostras foram liofilizadas a vácuo durante 72 horas, moídas manualmente em Gral de porcelana e analisadas de acordo com a metodologia descrita por Jourdian et al. (1971).

Para o ensaio de digestibilidade da dieta, quatro aves por repetição foram abatidas por deslocamento cervical aos 21 dias de idade, das quais o conteúdo ileal foi coletado, homogeneizado e acondicionado em sacos plásticos em freezer a -18°C. Posteriormente, as amostras foram descongeladas em temperatura ambiente e secas em estufa de ventilação forçada a 55° C até peso constante. As dietas e o conteúdo ileal foram moídos em peneira de 1mm de diâmetro e submetidos às análises para determinação dos teores de matéria seca à 105ºC (MS105), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE) e matéria

mineral (MM), segundo metodologia descrita pela AOAC (1995). A energia bruta (EB) foi determinada em bomba calorimétrica (Model 1261, Parr Instrument Co., Moline, IL). Como marcador indigestível foram adicionados 10g/kg de Celite® à ração. O conteúdo de cinza insolúvel em ácido (CIA) das dietas e do conteúdo ileal foi analisado segundo a metodologia descrita por (Scott e Boldaji, 1997).

Com base nos resultados laboratoriais obtidos, foram calculados os coeficientes de digestibilidade aparente ileal (CDAi) da matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE) e energia bruta (EB) de acordo com a fórmula:

$$CDA_i = \frac{(NT_d - (NT_i \times FI))}{NT_d} x100$$

$$FI = \frac{CIA_{dieta}}{CIA_{excreta}}$$

Onde, NT_d conteúdo de nutrientes da dieta; NT_i é o conteúdo de nutrientes no conteúdo ileal; FI = fator de indigestibilidade.

Os dados coletados foram submetidos à análise de homogeneidade das variâncias (Teste de Bartlett) e normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk). Após verificada a distribuição normal e ausência de dados discrepantes, os dados foram submetidos à análise de variância, e na presença de diferença estatística entre os tratamentos as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando programa Statistix (2008).

3. Resultados e Discussão

O resultado de solubilidade protéica em hidróxido de potássio (KOH) 0,2% na soja integral crua foi de 86,16%, enquanto na soja integral desativada e superprocessada verificou-se valores de 79,42 e 10,37%, respectivamente (tabela 2). De acordo com Butolo (2002), valores de solubilidade protéica acima de 85% indicam subprocessamento da soja. A atividade ureática na soja integral crua foi de 0,84 (ΔpH), valor abaixo do relatado pela literatura, a qual cita valores de atividade ureática entre 2,0 a 2,5 para este tipo de ingrediente (Butolo, 2002; Purushotham et al., 2007).

Tabela 2. Composição química (%) e variáveis da qualidade protéica da soja integral crua, tostada e supertostada.

Item (g/kg)	SIC	SIT	SIS
Umidade	60,9	41,3	7,9
Proteína Bruta[1]	405,5	382,2	416,4
Extrato Etéreo[1]	211,3	229,7	165,7
Resíduo Mineral[1]	46,3	46,9	51,6
Fibra Bruta[1]	25,6	27,3	122,1
Proteína Solúvel (KOH 0,2%)	86,16	79,42	10,37
Urease (ΔpH)	0,84	0,15	0,00

SIC=soja integral crua; SIT=soja integral desativada; SIS= soja integral supertostada.

[1]Valores expressos na matéria seca

Metodologias como solubilidade da proteína em KOH 0,2%, a atividade da enzima urease, atividade inibitória de tripsina e índice de proteína dispersível são de extrema relevância para avaliar a qualidade do processamento da soja integral e seus co-produtos (Brito et al., 2006). Enquanto, as análises da atividade ureática e inibitória de tripsina são empregadas para determinar o subaquecimento do grão de soja e seus derivados, a solubilidade da proteína em hidróxido de potássio (KOH) 0,2%, e o índice de proteína dispersível são análises eficientes para detectar o superprocessamento. Diante disso, recomenda-se que seja realizada a combinação entre técnicas analíticas, como a utilização da metodologia de solubilidade protéica em KOH 0,2% acompanhada do teste de atividade ureática (Anderson-Hafermann et al 1992; Butolo, 2002; Félix et al., 2010).

Sabe-se também que os níveis de hemaglutininas e dos inibidores de tripsina presentes na soja dependem do processamento térmico. A atividade dos inibidores de tripsina na soja crua estão entre 20 a 35mg/g, enquanto pós processamento essa atividade é reduzida a um nível residual de 4mg/g (Clark & Coopersmith, 2007). O teor de hemaglutinina da soja *in natura* e processada foi analisado por Barca et al. (1991), os autores verificaram que os níveis mais elevados foram encontrados na soja crua (3600 µg/g), sendo os mais baixos (3,75 a 12,92 µg/g) encontrados em produtos de proteína de soja termicamente processada. Segundo os autores, a lectina é destruída por tratamento térmico mais brando que o necessário para desnaturação dos inibidores de proteases.

O índice de solubilidade em KOH (0,2%) no grão de soja, submetido a tempos crescentes (0-21 min) de autoclavagem, foi avaliado por Anderson-Hafermann et al.

(1992), e embora a solubilidade da proteína não tenha mudado substancialmente com o aumento no tempo de autoclavagem, os animais alimentados com soja integral autoclavada por 12 a 18 minutos apresentaram desempenho zootécnico melhor comparados aos alimentados com soja integral crua sem autoclavagem.

Em um segundo experimento, estes mesmos autores comparando soja integral crua (SIC) e livre de inibidor Kunitz (SICF), ambas submetidas de 0 a 21 minutos de autoclavagem a 121°C, concluíram que o valor nutritivo da SICF é melhor do que a SIC. No entanto, os autores demonstraram também que o aquecimento possui um efeito importante sobre o valor nutritivo da soja para frangos, pois embora a SICF apresente atividade do inibidor de tripsina 40-50% menor comparada a SIC, o nível deste inibidor na SICF é 16 vezes maior em relação ao farelo de soja.

Os resultados obtidos para concentração de ácido siálico no conteúdo ileal, altura dos vilos, profundidade de cripta e número de células caliciformes no íleo estão apresentados na tabela 3. A altura dos vilos do íleo de aves alimentadas com dietas contendo 15% de SIC foi menor quando comparada ao tratamento com 10% SIT+5%SIC ($P<0,05$), não diferindo dos demais tratamentos. Não foram observadas diferenças significativas ($P>0,05$) para profundidade de criptas no íleo aos 21 dias de idade das aves.

O número de células caliciformes foi maior ($P<0,05$) nos animais alimentados com dietas contendo 15% SIC comparados àqueles alimentados com dietas contendo somente SIT ou em conjunto com a SIS. Os resultados encontrados no presente estudo corroboram com Oliveira et al. (2000), os quais também verificaram o aumento no número de células caliciformes na fase inicial testando ingredientes ricos em lectinas. Segundo Bedford (1996), o intestino é capaz de responder as modificações ou desafios impostos pela dieta alterando seu peso, comprimento, área absortiva e taxa de renovação celular.

As lectinas ou hemaglutininas são glicoproteínas as quais apresentam capacidade de se ligar a moléculas especificas presentes na membrana da borda em escova da mucosa intestinal (Fasina et al., 2006; Bedford, 1996). Esta ligação resulta em ruptura do epitélio do intestino, diminuição da altura das vilosidades, alteração na atividade das enzimas da borda em escova, hipersecreção de proteína endógena, aumento do número de células caliciformes produtoras de muco e o rompimento das microvilosidades (King et al., 1980; Grant, 1989; Butolo, 2002).

Tabela 3.Efeito da soja crua ou processada sobre a altura de vilo (AV), profundidade de cripta (PC), número de células caliciformes (CC) e concentração de ácido siálico (AS) no íleo de frangos de corte aos 21 dias de idade.

	AV (µm)	PC (µm)	CC (n° em 200µm)	AS (mg/kg/dia)
15% SIT[1]	995,0[ab]	115,2	11[b]	8,84[b]
10% SIT+5% SIC[2]	1052,2[a]	116,9	14[ab]	11,66[a]
15% SIC	920,7[b]	114,0	15[a]	10,68[a]
10% SIT+5% SIS[3]	1011,1[ab]	112,2	11[b]	8,72[b]
P	0,0274	0,7370	0,0091	0,0003
EPM	14,14	1,46	0,45	0,34

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05)

[1]SID=soja integral tostada; [2]SIC=soja integral crua; [3]SIS= soja integral supertostada.

EPM – erro padrão da média.

As aves alimentadas com as dietas contendo inclusão de soja integral crua apresentaram concentrações de ácido siálico mais elevadas (P<0,05) quando comparados as aves alimentadas com dietas contendo somente soja integral desativada ou em conjunto com a soja integral superprocessada. De acordo com Larsen et al. (1993) e Pirgozliev et al. (2005), o ácido siálico está associado com produção de mucina pelas células caliciformes e sua determinação em amostras biológicas pode ser utilizada como indicador de perda de mucina pelo TGI e como ferramenta científica válida do metabolismo e estado de saúde intestinal em animais.

Os ácidos siálicos são uma família de açúcares de nove carbonos derivados do ácido neuramínico e estão amplamente distribuídos como componentes nas mucinas, glicoproteínas, gangliosídeos, oligossacarídeos do leite, entre outros (Jourdian et al., 1971), sendo que o ácido N-acetilneuramínico, composto mensurado neste estudo, é o mais amplamente distribuído entre os ácidos siálicos (Varki, 1992). O aumento na concentração de ácido siálico está frequentemente associado com problemas de saúde como senescência celular, infecções bacterianas, certas condições patogênicas e fragilidade osmótica (Pirgozliev et al., 2007).

O aumento verificado na síntese e na secreção de ácido siálico no lúmen intestinal pode ter ocorrido em função do aumento no número de células caliciformes em animais alimentados com dietas contendo soja crua. A mucina produzida no TGI desempenha

funções fisiológicas que incluem a lubrificação da superfície epitelial, proteção à mucosa e também atua como barreira a difusão de nutrientes e toxinas (Forstner & Forstner, 1994), sendo assim o aumento na produção de mucina pode estar associado com ao aumento na necessidade de proteção da mucosa (Cowieson et al., 2004). Embora a produção de muco seja uma importante barreira de proteção do organismo, devemos lembrar que as mucinas secretadas no lúmen intestinal são ricas em aminoácidos e nitrogênio, qualquer aumento na sua produção como mecanismo de defesa é nutricionalmente custoso e inevitavelmente acarreta em aumento na perda endógena de aminoácidos e aumentando o custo energético de manutenção (Nyachoti et al., 1997).

Os resultados dos coeficientes de digestibilidade aparente ileal (CDAi) da matérias seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), energia bruta (EB), bem como energia digestível do conteúdo ileal estão apresentados na tabela 4. O CDAi da MS e da PB foram maiores para os tratamentos contendo 15% SIT e 10% SIT+5% SIC comparados aos contendo 15% SIC e 10%SIT+5%SIS. Os resultados obtidos para o CDAi da PB no tratamento contendo 5% de SIS podem ser explicados pelo fato de que quando o calor é empregado em excesso aminoácidos termosensíveis como a lisina, metionina e cistina são danificados, podendo haver redução na digestibilidade dos aminoácidos da dieta (Hurrell, 1990; Kouzeh-Kanani et al., 1981).

Tabela 4. Efeito da soja crua ou processada sobre os coeficientes de digestibilidade aparente ileal da matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), energia bruta (EB) e energia digestível do conteúdo ileal (ED) em frangos de corte aos 21 dias de idade.

	MS (%)	PB (%)	EE (%)	MM (%)	EB (%)	ED (kcal/kg)
15% SIT[1]	68,2[a]	76,8[a]	81,0[a]	37,74[a]	69,8[a]	3279[a]
10%SIT+5% SIC[2]	68,1[a]	75,6[a]	77,9[a]	37,17[a]	68,1[ab]	2994[b]
15% SIC	63,0[b]	65,3[b]	78,8[a]	31,8[a]	63,9[bc]	2892[bc]
10%SIT+5% SIS[3]	59,9[b]	65,7[b]	72,2[b]	19,4[b]	60,6[c]	2655[c]
P	<0,0001	<0,0001	0,0071	<0,0001	<0,0001	<0,0001
EPM	0,91	1,36	1,02	1,76	0,96	49,72

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05)

[1]SIT=soja integral tostada; [2]SIC=soja integral crua; [3]SIS= soja integral supertostada.

EPM – erro padrão da média.

O efeito do superprocessamento sobre a disponibilidade dos aminoácidos do farelo de soja para aves foi avaliado por Parsons et al. (1992), onde os autores verificaram que a digestibilidade verdadeira de vários aminoácidos diminuiu à medida que se aumentou o tempo de autoclavagem deste ingrediente (de 0 para 40 minutos). Já o processamento realizado de forma adequada aumenta a disponibilidade das proteínas, tornando-as mais suscetíveis à ação de enzimas digestivas (Marsman et al., 1995), fato esse confirmado nos tratamentos contendo 15 e 10% de SIT.

Já a redução na digestibilidade da PB no tratamento com 15% de SIC pode ser atribuída à presença dos inibidores de proteases e lectinas presentes no grão da soja sem processamento térmico. Outra razão para redução na digestibilidade neste mesmo tratamento seria a capacidade das lectinas em causar não somente a proliferação de tecido intestinal, mas também aumento na síntese da glicoproteína que compõe o muco produzido nas células caliciformes, formando uma camada protetora sobre a mucosa do intestino (Barca et al., 1991), dificultando a chegada dos nutrientes à borda em escova intestinal com redução no aproveitamento dos nutrientes pelos animais.

O CDAi do EE e da MM foram menores (P<0,05) no tratamento contendo 10%SID+5%SIS, quando comparado aos demais tratamentos. Segundo Hurrell (1990), além da formação de complexos com aminoácidos, a reação de Maillard também pode

reduzir a biodisponibilidade de alguns minerais e reduzir a concentração de algumas vitaminas (B_6, A e C). Dietas submetidas a aquecimento para produção da reação de Maillard foram avaliadas por Andrieux & Sacque (1984). Os autores observaram que a absorção de cálcio e magnésio foi reduzida no intestino delgado de ratos, atribuindo este resultado à ação da reação de Maillard sobre o metabolismo dos enterócitos. No entanto, a absorção destes minerais foi compensada durante a passagem do alimento pelo ceco e cólon, sugerindo que o processo de fermentação nestes segmentos possa ter algum efeito sobre a reação de Maillard. Porém, no presente estudo foi realizada apenas coleta do conteúdo ileal das aves, não sendo possível verificar se houve ação dos microrganismos cecais sobre a absorção de minerais.

Os resultados do CDAi do extrato etéreo encontrados por Wood et al. (1971) estão de acordo com o presente trabalho, demonstrando que não houve diferença significativa aos 21 dias de idade das aves entre as dietas contendo soja integral crua ou desativada. As aves recebendo 15%SID apresentaram o CDIEB e a energia digestível do conteúdo ileal maiores em relação às aves que receberam dietas contendo 15% SIC e 10%SID+5%SIS. Segundo Brito et al. (2006), o processamento aplicado a alimentos energéticos pode ter reflexo sobre seu valor energético, fato esse confirmado pelos autores quando estes observaram redução nos valores de EM em aves alimentadas com dietas contendo soja superprocessada.

Os PNAs também são considerados fatores antinutricionais importantes dentro da dieta de monogástricos, estando presentes no grão da soja em torno de 20-30%. No entanto, ao contrário das lectinas e inibidores de proteases, são termoestáveis e capazes de serem degradados somente pela adição de enzimas exógenas à dieta. Dentre os PNA, os classificados como polímeros não-celulósicos e os polissacarídeos pécticos possuem moléculas solúveis em água, apresentando maior interferência nos processos fisiológicos do TGI (Choct et al., 2010). Por se tratarem de substâncias altamente higroscópicas, em virtude do maior número de grupos hidroxilas, podem aumentar a viscosidade da digesta, prejudicando a interação entre as enzimas endógenas e os nutrientes e a difusão destes pela mucosa intestinal, reduzindo a digestibilidade da dieta (Oakenfull, 1993).

Os resultados de peso vivo (PV) e peso do pâncreas podem ser observados na Tabela 5. O PV das aves não diferiu entre os tratamentos ($P>0,05$). No entanto, o peso absoluto do pâncreas (PA) e o peso do pâncreas em relação ao peso corporal (PR) foram estatisticamente diferentes entre os tratamentos ($P<0,05$). Os animais alimentados com dietas contendo 15% SIT e 10%SIT+5%SIS apresentaram o PA e PR do pâncreas

menores quando comparados aos frangos alimentados com dietas contendo inclusão de SIC, sendo que o maior peso de pâncreas foi observado nas aves recebendo 15% SIC em relação aos demais tratamentos. Os resultados encontrados neste estudo estão de acordo com os encontrados por Perez-Maldonado et al. (2003) e Brito et al. (2006), que verificaram que aves alimentadas com soja integral crua ou subprocessada apresentaram pâncreas mais pesados comparadas às alimentadas com soja integral ou farelo de soja processados adequadamente.

Tabela 5. Efeito da soja crua ou processada sobre o peso vivo (PV), peso absoluto (PA) e peso relativo do pâncreas (PR) de frangos de corte aos 21 dias de idade.

Tratamentos	**PV (g)**	**PA (g)**	**PR (g/100g PV)**
15% SIT[1]	989,2	3,32[c]	0,334[c]
10% SIT+5% SIC[2]	925,0	4,05[b]	0,439[b]
15% SIC	900,0	5,00[a]	0,556[a]
10% SIT+5% SIS[3]	953,3	3,19[c]	0,335[c]
P	0,1699	<0,0001	<0,0001
EPM	14,83	0,17	0,02

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05)
[1]SIT=soja integral tostada; [2]SIC=soja integral crua; [3]SIS= soja integral supertostada.

O aumento no peso do pâncreas de animais recebendo soja integral crua ou subprocessada pode ser explicado pela presença dos inibidores de proteases neste tipo de ingrediente. Segundo Han et al. (1991) e Leeson e Summers (2001), a presença de inibidores de proteases não causam somente hipertrofia e hiperplasia pancreática pelo estímulo das secreções pancreáticas, mas também deprimem a atividade proteolítica no intestino delgado, resultando em redução na liberação de aminoácidos livres.

Na observação histológica das lâminas do tecido pancreático verificou-se que os animais alimentados com dietas contendo soja integral crua apresentaram aumento no tamanho e número das células exócrinas do pâncreas, justificando o aumento no tamanho e peso macroscópicos neste órgão (Figura 1). A ação dos inibidores de proteases no organismo ocorrem por meio da ligação e bloqueio na atividade de enzimas proteolíticas secretadas pelo pâncreas (ex:.tripsina e quimiotripsina). Há um *feedback* negativo no controle da secreção pancreática de tripsina, ou seja, quando o nível de tripsina no intestino delgado está baixo, como ocorre quando há complexação entre tripsina e seu

inibidor, o pâncreas ativado pela presença do hormônio colecistoquinina (CCK) responde de maneira compensatória produzindo mais enzima, podendo acarretar em hipertrofia pancreática. Desta maneira, o aumento da síntese proteica das enzimas tripsina e quimotripsina, acarreta em maior utilização dos aminoácidos sulfurados, que são à base destas enzimas (Sgarbieri, 1996).

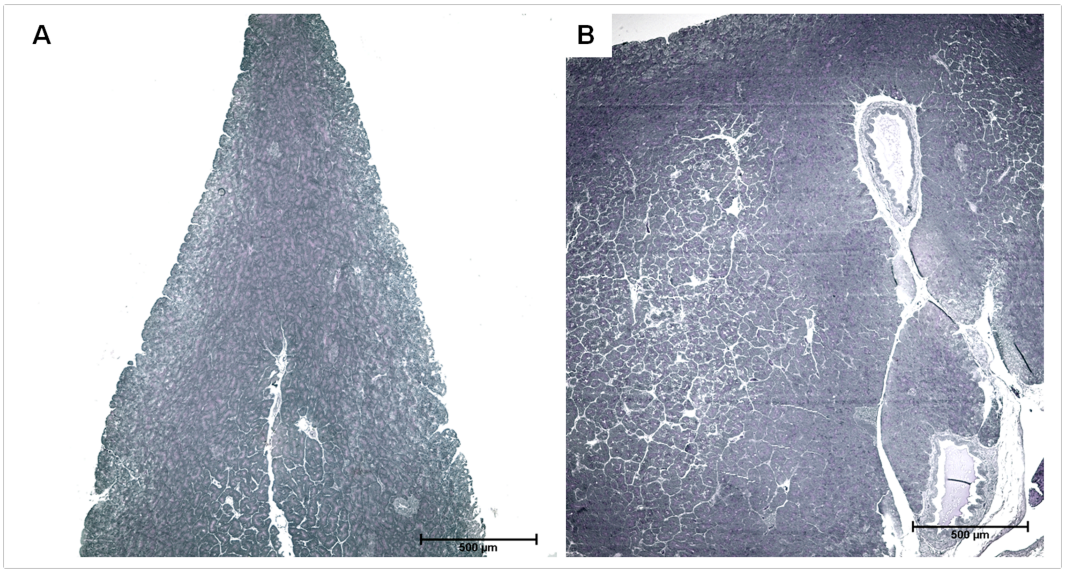

Figura 1. (A) Parênquima pancreático normal de frangos alimentados com dietas 15% soja integral tostada, (B) Hipertrofia e hiperplasia pancreática de frangos alimentados com dietas contendo 15% de soja integral crua.

Os efeitos da inclusão de soja crua na dieta sobre o pâncreas em aves tem sido estudados há algum tempo (Wood et al., 1971; Rogler & Carrick, 1964) e segundo Grant (1989), tanto a lectina quanto os inibidores de tripsina podem afetar a função pancreática e a combinação destes tem implicações consideráveis na nutrição animal. Trabalhando com poedeiras Latshaw & Clayton (1976) forneceram dietas contendo níveis crescentes (0 a 20%) de SIC para aves de postura durante um período de 28 dias e verificaram que o peso do pâncreas foi maior ($P<0,05$) conforme o nível de soja integral crua aumentava, encontrando pâncreas mais pesados nos animais alimentados com dietas contendo 15 e 20% de soja integral crua.

Outro estudo desenvolvido por Zhang et al. (1991), comparando dietas com substituição parcial e total de soja integral crua por soja integral livre de inibidor de tripsina e com um tratamento contendo somente farelo de soja, verificaram que as aves alimentadas com dietas contendo 30% de soja integral crua apresentaram pâncreas mais

pesados, quando comparados aos tratamentos que continham soja integral livre de inibidor de tripsina ou com farelo de soja. No entanto, foi verificado também que os tratamentos contendo soja integral livre de inibidor de tripsina foram diferentes da dieta com inclusão de farelo de soja, concluindo que o valor nutricional da soja integral livre de inibidor de tripsina é superior ao da soja integral crua, mas inferior a dieta contendo farelo de soja. Os autores atribuíram este resultado pelo fato do inibidor de tripsina Kunitiz não ser o único inibidor de protease presente no grão da soja. Segundo Douglas et al. (1999) o inibidor de tripsina é o fator antinutricional mais importante quando comparado às lectinas em frangos jovens. Entretanto, tanto o inibidor de tripsina quanto as lectinas exercem efeitos complementares sobre a redução no crescimento (Palacios et al., 2004).

Pôde-se perceber por meio dos resultados obtidos neste estudo, que tanto o subprocessamento quanto o superprocessamento da soja, embora atuando de maneiras distintas, podem trazer prejuízos aos animais. Nota-se que em dietas contendo soja integral superprocessada o valor nutricional do ingrediente é reduzido, processo esse em muitos casos irreversível, piorando a digestibilidade dos nutrientes da dieta. Já a inclusão de soja integral crua ocasiona danos nas estruturas celulares, prejudicando a homeostase do TGI de aves.

4. Conclusões

Os fatores antinutricionais presentes na soja integral crua prejudicam a integridade do epitélio intestinal e afetam de maneira negativa a estrutura macroscópica e microscópica do pâncreas. Quando superprocessado o perfil nutricional do grão da soja é afetado, fator pelo qual o aproveitamento dos nutrientes é reduzido em frangos de corte. Adequar a metodologia de processamento é essencial, visto que a inclusão de soja integral crua e/ou superprocessada na dieta de aves não é recomendada.

5. Referências Bibliográficas

Anderson-Haferman, J. C., Zhang, Y., Parsons, C. M. (1992). Effect of heating on nutritional of conventional and Kunitiz trypsin inhibitor-free soybeans. Poultry Science, 71, 1700-1709.

Andrieux, C., Sacquet, E. (1984). Effects of Maillard's reaction products on apparent mineral absorption in different parts of the digestive tract. The role of microflora. Reproduction and Nutition Dévelopment, 24 (4), 379-386.

Association of the official analytical chemists (AOAC). (1995). Official and tentative methods of analysis. (16 ed.) AOAC, Washington, DC, USA.

Barca, A. M. C., Válquez-Moreno, L., Robles-Burgueno. (1991). Active soybean lectin in foods: isolation and quantitation. Food Chemistry, 39, 321-327.

Bedford, M. R. (1996). Interactions between ingested feed and the digestive system in poultry. Journal Applied Poultry Research, 5, 86-95.

Brito, C. O., Albino, L. F. T., Rostagno, H. S., Gomes, P. C., Carvalho, D. C. O., Corassa, A. (2006). Adição de complexo multienzimático em dietas à base de soja extrusada. Valores energéticos e digestibilidade de nutrientes em pintos de corte. Revista Brasileira de Zootecnia, 35 (3), 1047-1055.

Butolo, J. E. (2002). Qualidade de ingredientes na alimentação animal. In: Butolo, J. E. Ingredientes de origem vegetal. (1 ed. p.238). Campinas, SP: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal.

Choct, M., Dersjanti-Li, Y., McLeish, J., Peisker, M. (2010). Soy oligosaccharides and soluble non-starch polysaccharides: a review of digestion, nutritive and anti-nutritive effects in pigs and poultry. Australian Journal of Animal Science, 23 (10), 1386-1393.

Clark, J. A., Coopersmith, C. M. (2007). Intestinal crosstalk: a new paradigm for understanding the gut as the "motor"of critical illness. Shock, 28(4), 384-393.

Cowieson, A. A., Acamovic, T., Bedford, M. R. (2004). The effect of phytase and phytic acido n loss of endogenous amino acids and minerals from broilers chickens. British poultry Science, 45, 101-108.

Douglas, M. W., Parsons, C. M., Hymowitz, T. (1999). Nutritional evaluation of lectin-free soybeans for poultry. Poulry Science, 78, 91–95.

Fasina, Y. O., Classen, H. L., Garlich, J. D., Black, B. L., Ferket, P. R., Uni, Z., Olkowski, A. A. (2006). Response of turkey poults to soybean lectin levels typically encountered in commercial diets. 2. Effects on intestinal development and lymphoid organs. Poultry Science, 85, 870-877.

Félix, A. P., Brito, C. B. M., Ferrarini, H., Rodriguez, M. I. G., Oliveira, S. G., Maiorka, A. (2010). Características físico-químicas de derivados proteicos de soja em dietas extrusadas para cães. Ciência Rural, 40(12), 2568-2573.

Forstner, J. F., Forstner, G. G. (1994). Gastrointestinal mucus, In: Johnson, L. R. Physiology of the Gastrointestinal Tract. (p. 1255-1283). New York: RavenPress.

Grant, G. (1989). Anti-nutritional effects of soybean: a review. Progress in Food and Nutrition Science, 13, 317-348.

Han, Y., Parsons, C. M., Hymowitz, T. (1991). Nutritional evaluation of soybeans in trypsin inhibitor content. Poultry Science, 70, 896-906.

Hurrell, R. F. (1990). Influence of the Maillard reaction on the nutritional value of foods. In: The Maillard reaction in food processing, human nutrition and physiology. (Birkhauser Verlag Ed) (1 ed. p. 528).

Jourdian, G., Dean, L., Roseman, S. (1971). A periodate-resorcinol method for the quantitative estimation of free siálico acids and their glycosides. The Journal of Biological Chemistry, 246, 430-435.

King, T. P., Pusztai, A., Clarke, E. M. W. (1980). Kidney bean (Phaseolus vulgharis) lectin-induced lesions in rat small intestine: 1. Light microscope studies. Journal of Comparative Pathology, 90:585–595.

Kouzeh-Kanani, M., van Zuilichen, D. J., Roozen, J. P., Pilnik, W. (1981). A modified procedure for low temperature infrared radiation of soybeans. Lebensm-Wiss U-Technology, 14, 242-244.

Larsen, F. M., Moughan, P. J. Wilson, M. N. (1993). Dietary fiber viscosity and endogenous protein excretion at the termi-nal ileum of growing rats. The Journal of Nutrition, 123, 1898–1904.

Latshaw, J. D., Clayton, P. C. Raw and heated full fat soybeans in laying diets. (1976). Poultry Science, 55, 1268-1272.

Leeson, S., Summers, J. D. (2001). Naturally occurring toxins relevant to poultry nutrition, In: Scott's Nutrition of the Chicken. (4 ed. p. 544-586). Guelph, Ontario: University Books.

Liener, I. E. (1981). Factors affecting the nutritional quality of soya products. Journal of the American Oil Chemists' Society, 58, 406-415.

Marsman, G. J. P., Gruppen, H., Van der Poel, A. F. B., Resinik, J. W., Verstegen, M. W. A. Voragen, A. G. J. (1995). The effect of shear forces and addition of a mixture of a protease and a hemicellulase on chemical, physical and physiological parameters during extrusion of soybean meal. Animal Feed Science and Technology, 56(132), 21-35.

Nyachoti, C. M., De Lange, C. F. M., McBride, B. W., Schulze, H. (1997). Significance of endogenous gut nitrogen losses in the nutrition of growing pigs: A review. Canadian Journal of Animal Science, 77, 149–163.

Oakenfull, D. G. (1993). Physical properties of dietary fibre. In: Dietary Fibre and Beyond- Australian Perspective. (S. Samman & G. Annison Eds.) (1ed. P. 47-56). Nutrition Society Australian Occasional, Ithaca, NY: Cornell Univerity,

Oliveira, P. B., Murakami, A. E., Garcia, E. R. M., Macari, M., Scapinello, C. (2000). Influência de fatores antinutricionais da leucena (Leucaena leucocephala e Leucaena cunningan) e do feijão guandu (Cajanus cajan) sobre o epitélio intestinal e o desempenho de frangos de corte. Revista Brasileira de Zootecnia, 29(6), 1759-1769.

Palacios, M. F., Easter, R. A., Soltwedel, K. T., Parsons, C. M., Douglas, M. W., Hymowits, T., Pettigrew, J .E. (2004). Effect of soybean variety and processing on growth performance of young chicks and pigs. Journal of Animal Science, 82, 1108-1114.

Parsons, C. M., Hashimoto, K., Wedekind, K. J., Han, Y., Baker, H. (1992). Effect of overprocessing on availability in soybean meal. Poultry Science, 71, 133-140.

Perez-Maldonado, R. A., Mannion, P. F., Farrell, D. J. (2003). Effects of heat treatment on the nutritional value of raw soybean selected for low trypsin inhibitor activity. British Poultry Science, 44(2), 299-308.

Pirgozliev, V. R., Oduguwa, O., Acamovic, T., Bedford, M. R. (2005). Effect of dietary phytase on performance, metabolizable energy and endogenous losses of broiler chickens. In: Proc. 15th European Symposium of Poultry Nutrition, Balatonfured, Hungary, September 25–29. (pp. 319–321).

Pirgozliev, V., Oduguwa, O., Acamovic, T., Bedford, M. R. (2007). Diets containing Escherichia coli-Derived phytase on young chickens and Turkeys: effects on performance, metabolizable energy, endogenous secretions, and intestinal morphology. Poultry Science, 86, 705-713.

Purushotham, B., Radhaadhakrishina, P. M., Sherigara, B. S. (2007). Effects of steam conditioning and extrusion temperature on some anti-nutritional factors of soybean (Glycine max) for pet food applications. American Journal of Animal and Veterinary Sciences, 2(1), 1-5.

Rogler, J. C., Carrick, C. W. (1964). Studies on raw and heated unextracted soybeans for layers. Poultry Science, 43(3), 605-612.

Rostagno, H. R., Albino, L. F. T., Donzele, J. L., Gomes, P. C., Oliveira, R. F., Lopes, D. C., Euclides, R. F. (2011). Tabelas Brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. (H. S. Rostagno, Ed.) (3 ed., p. 252). Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa.

Scott, T. A., Boldaji, F. (1997). Comparison of inert markers [chromic oxide or insoluble ash (Celite®TM)] for determining apparent metabolizable energy of wheat- or barley- based broiler diets with or without enzymes. Poultry Science, 76, 594-598.

Sgarbieri, V. C. (1996). Proteínas em alimentos protéicos; Propriedades, degradações, modificações. (1 ed., 517p.). São Paulo: Livraria Varela

Statistix-Analytical Software. (2008). Statistix for Windows. Analytical Software, Tallahassee, FL.

Varki, A. (1992). Diversity in the sialico acids. Glycobiology, 2, 25-40.

Waldroup, P. W. (1982). Whole soybeans for poultry feeds. World´s Poultry Science Journal, v.38, n.1, p.28-35, 1982.

Wood, A. S., Summers, J. D., Moran, E. T., Pepper, W. F. (1971). The utilization of unextracted raw and extruded full-fat soybeans by the chick. Poultry Science, 50, 1392-1399.

Zhang, Y., Parsons, C. M., Hymowitz, T. (1991). Effect of soybeans varying in trypsin inhibitor content on performance of laying hens. *Poultry Science, 70*, 2210-2213.

CAPÍTULO 3 – ÓLEO ÁCIDO DE SOJA, FARINHA DE PENAS E FARELO DE TRIGO NA DIETA SOBRE A MORFOMETRIA INTESTINAL E DIGESTIBILIDADE EM FRANGOS.

Resumo

Objetivou-se avaliar a inclusão de óleo ácido de soja (OAS) e níveis crescentes de farinha de penas (FP) e farelo de trigo (FT) sobre a morfometria intestinal, concentração de ácido siálico e a digestibilidade dos nutrientes da dieta em frangos aos 21 dias de idade. Foram realizados três experimentos com 120 pintos de corte em cada distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado. Foram avaliadas a altura de vilos (AV), profundidade das criptas (PC), contagem de células caliciformes (CC) e concentração de ácido siálico (AS) e digestibilidade dos nutrientes da ração em frangos alimentados com dietas contendo OAS ou sua mistura com óleo de soja (experimento I), 0 a 3% de FP (experimento II) e 0 a 7,5% de FT (experimento III) . Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ou então por análise de regressão polinomial. A CC e a energia digestível foi maior no íleo de frangos alimentados com dietas contendo 4,69% de inclusão de OAS. A inclusão de FP influenciou de maneira quadrática a AV e PC do íleo de frangos aos 21 dias. Já a digestibilidade da MS, PB e EE foram afetados de modo linear pela inclusão de níveis crescentes de FP. Houve efeito linear sobre a AV e efeito quadrático sobre a CC da inclusão do FT no íleo de frangos aos 21 dias de idade. A digestibilidade da MS e PB apresentaram resposta quadrática diante de níveis crescentes de FT. A inclusão do OAS pode ser realizada sem prejuízo a morfometria intestinal e digestibilidade dos nutrientes. Já a inclusão da FP e FT não é recomendada nas dietas de frangos, mesmo quando em níveis baixos.

Palavras-Chave: Ácido siálico; Co-produtos; Saúde intestinal

Abstract

The aim of the present study was to evaluate the influence of feeding acidulated soybean soapstock and increasing levels of feather meal and wheat bran on the intestinal morphometry, sialic acid content, and diet digestibility of broilers at 21 days of age. Three experiments were performed with one hundred twenty broilers distributed in a completely randomized design. Ileal villus height (VH), crypt depth (CD), goblet cell counts (GC), sialic acid levels (SA), and diet digestibility of broilers fed diets containing different levels of acidulated soapstock (ASS) or their mixture with soybean oil (Trial I), 0 to 3% of feather meal (Trial II) or 0 to 7,5% of wheat bran were evaluated. Data were submitted to ANOVA and means were compared by Tukey's test or by polynomial regression analysis. Broilers fed 4,69% of ASS presented higher GC number and digestible energy. Feather meal (FM) inclusion had a quadratic effect on VH and CD on broilers. Dry matter (DM), CP and EE digestibility were affected linearly by adding of increasing levels of FM. Wheat bran (WB) inclusion had linear effect on AV and quadratic effect on GC of broilers. Digestibility of DM and CP showed a cubic response towards increasing levels of WB. The ASS may be included without cause damage on intestinal morphology and nutrient digestibility. However FM and WB inclusion is not recommended in broiler diets, even when at low levels.

Key words: by-products; intestinal health; sialic acid

1. Introdução

O ótimo crescimento e deposição muscular nos animais de produção está altamente aliado à nutrição. No Brasil, a formulação de rações baseadas em milho e farelo de soja é uma prática comum, porém o seu custo de produção é influenciado pelas oscilações de mercado destas matérias-primas. Diante disso, é de extrema importância conhecer os ingredientes não convencionais e de que forma podem substituir total ou parcialmente o milho e o farelo de soja de acordo com sua disponibilidade, custo, valor nutricional e fatores antinutricionais e de que maneira estes ingredientes podem afetar a saúde e produção animal.

O óleo ácido de soja (OAS) é uma fonte energética de baixo custo produzido a partir do tratamento ácido do resíduo da pós-neutralização do óleo de soja utilizado para o consumo humano (Vieira et al., 2006). A limitação na sua utilização em dietas para animais de produção se dá pela falta de padronização no processamento, fato esse que resulta em inconsistência na composição de ácidos graxos e no seu valor energético. Segundo Lipstein & Bornstein (1968), o óleo ácido de soja possui cerca de 70% de ácidos graxos na forma não esterificada, enquanto óleo de soja refinado apresenta uma proporção de apenas 1% de AGL. A menor proporção da gordura total na forma de triglicerídios no OAS apresentou impacto negativo sobre o desempenho de frangos de corte (Vieira et al., 2002), pois a eficiência no processo de emulsificação, hidrólise e absorção dos ácidos graxos é dependente da relação entre AGL, monoglicerídios, comprimento e saturação dos ácidos graxos (Garrett & Young, 1975; Sklan, 1979). Outra característica do OAS é o conteúdo de compostos insaponificáveis (45 g/kg), os quais podem conter fatores antinutricionais e reduzir o valor energético deste ingrediente (Blanch et al., 1996).

A farinha de penas (FP) é um co-produto proveniente do abate de aves que tem despertado interesse em estudos de nutrição por ser um ingrediente de baixo custo e alto teor proteico (85%), podendo ser utilizada como fonte substituta à outros ingredientes mais caros (Han & Parsons, 1990). No entanto, parte desta proteína, está presente como queratina e não é hidrolisada pelas enzimas produzidas no TGI de animais monogástricos, resultando na presença de substrato para fermentação bacteriana na porção distal do intestino. O resultado da fermentação microbiana dos aminoácidos provenientes da FP é a formação de poliaminas (aminas biogênicas), amônia, compostos fenólicos e voláteis ricos em enxofre, os quais podem prejudicar a saúde e a produtividade de frangos de corte. Por outro lado, em determinadas concentrações as

poliaminas podem ser consideradas como agentes promotores de crescimento (Smith, 1990).

O farelo de trigo (FT) é o principal e mais abundante co-produto da moenda de grãos e no Brasil, de acordo com Rostagno et al. (2011) apresenta boa concentração de proteína (15,62%), entretanto, sua adição na dieta de aves é limitada pela alta concentração de fibra (9,50%). De acordo com Maes et al. (2004), os principais PNA presentes no FT são as arabinoxilanas (36,5%), seguidas pela celulose (11%), lignina (3 a 10%) e ácidos urônicos (3 a 6%). Destes, cerca de 40% de PNA são insolúveis (PNAi), com celulose e arabinoxilanas como principal componente insolúvel e apenas 3% de PNA solúveis (Choct, 2010). As fibras insolúveis geralmente são pouco fermentáveis, não viscosas e excretadas de forma intacta. Uma das carcterísticas mais importante dos PNAi está atribuída a capacidade destes reterem grandes quantidade de água e manter a motilidade normal do TGI (Stephen & Cummings 1979). A presença de PNAi na ração geralmente aumenta a capacidade de ingestão do TGI e/ou promove redução no tempo de trânsito ao longo do TGI, resultando em aumento na ingestão de ração (Hetland & Svihus, 2001). Os PNAi ainda podem reduzir o pH da moela, o que pode estar associado ao aumento na utilização de nutrientes (Gonzáles-Alvarado et al., 2007). De acordo com Mateos et al. (2012), o consumo de PNA pode afetar o desempenho, tamanho e fisiologia dos órgãos do TGI, motilidade intestinal, produção e secreção enzimática, crescimento da microbiota e comportamento das aves.

Os ingredientes utilizados na formulação de dietas para animais monogástricos contêm uma ampla variedade de substâncias com propriedades antinutricionais que podem afetar negativamente o estado de saúde intestinal e o desempenho produtivos das aves (Yegani & Korver, 2008). Sabe-se que se a necessidade de manutenção do epitélio do TGI é reduzida, a eficiência do aproveitamento dos nutrientes é drasticamente melhorada (Iji, 1999). Diante disso, o presente estudo objetivou avaliar se a inclusão de óleo ácido de soja e níveis crescentes de farinha de penas e farelo de trigo afeta a morfometria intestinal, concentração de ácido siálico e a digestibilidade dos nutrientes da dieta em frangos aos 21 dias de idade.

2. Material e Métodos

Os experimentos foram aprovados pela Comissão de Ética ao Uso de Animais do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná sob o protocolo 057/2011.

2.1 Experimento I - Óleo Ácido de Soja

2.1.1 Delineamento experimental e manejo

Foram alojados 120 pintos de corte, fêmeas da linhagem COBB 500, com um dia de idade e peso médio de 45,32 ± 0,49g, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado composto por quatro tratamentos de 30 aves cada. As aves foram mantidas durante 21 dias em boxes medindo 2,25 m^2 equipados com cama de maravalha reutilizada, bebedouros pendulares e comedouros tubulares. Até os 14 dias de idade o aquecimento dos pintainhos foi realizado com campânulas elétricas equipadas com lâmpada incandescente para cada boxe, e posteriormente com manejo de cortinas.

2.1.2 Dietas

As rações experimentais foram formuladas à base de milho e farelo de soja seguindo os níveis nutricionais sugeridos por Rostagno et al. (2011). Os tratamentos experimentais consistiram na inclusão em diferentes proporções de óleo ácido de soja e óleo de soja, segundo seu conteúdo energético (Tabela 1). Os animais receberam água e ração farelada à vontade durante todo o período experimental.

Tabela 8 Ingredientes e composição química analisada e calculada das rações experimentais – Experimento I.

Ingredientes (g/kg)	Controle	OAS1	OAS2	OAS3
Milho	552,4	552,4	552,4	552,4
Farelo de Soja 48%	333,4	333,4	333,4	333,4
Óleo Ácido de Soja (OAS)	-	23,5	35,2	46,9
Óleo de Soja	40,0	20,0	10,0	-
Fosfato Bicálcico	16,5	16,5	16,5	16,5
Calcário	9,6	9,6	9,6	9,6
Sal	4,4	4,4	4,4	4,4
Caulim	27,6	23,1	21,4	19,6
L-Lisina pó	1,3	2,7	2,7	2,7
DL-Metionina	2,7	0,40	0,40	0,40
L-Treonina	0,4	1,5	1,5	1,5
Colina	0,15	1,0	1,0	1,0
Celite®	10,0	10,0	10,0	10,0
Premix vitamínico[1]	1,0	1,0	1,0	1,0
Premix Mineral[2]	0,5	0,5	0,5	0,5
Composição Química Analisada na Matéria Seca (g/kg)				
Umidade	128,0	118,8	122,1	118,5
Proteína Bruta	192,5	204,4	213,1	210,7
Extrato Etéreo	88,2	86,2	81,9	87,1
Resíduo Mineral	86,1	75,0	75,5	76,2
Composição Química Calculada (g/kg)				
EMA (kcal/kg)	3000	3000	3000	3000
Cálcio	8,09	8,09	8,09	8,09
Fósforo disponível	3,86	3,86	3,86	3,86
Sódio	2,00	2,00	2,00	2,00
Potássio	5,60	5,60	5,60	5,60
Cloro	1,85	1,85	1,85	1,85
Lisina digestível	11,65	11,65	11,65	11,65
Met+cis digestível	8,39	8,39	8,39	8,39
Metionina digestível	4,54	4,54	4,54	4,54
Treonina digestível	7,57	7,57	7,57	7,57
Triptofano digestível	1,98	1,98	1,98	1,98

[1]Suplemento Vitamínico - Garantia por kg de produto Vit.A 2.300.000 UI, Vit D3 400.000 UI, Vit E 1.800 mg, Vit K3 300 mg, Vit B1 150 mg, Vit B2 1.400 mg, Vit B12 3.500 mcg, Ácido Pantotênico 2.000 mg, Ácido Nicotínico 7.000 mg, Piridoxina 250 mg, Ácido Fólico 150 mg, Biotina 20 mg, Colina 125 g, Anticoccidiano 125 g, Promotor 30 g, Antioxidante 20 g.

[2]Suplemento Mineral – Garantia por kg de produto: Ferro 35.000 mg, Cobre 50.000 mg, Manganês 35.000 mg, Zinco 30.000 mg, Iodo 600 mg, Selênio 90 mg,

2.1.3 Variáveis analisadas

Ensaio de Digestibilidade

Para o ensaio de digestibilidade da dieta 24 aves por tratamento foram eutanasiadas por deslocamento cervical aos 21 dias de idade. As seis repetições por tratamento foram compostas por um pool do conteúdo ileal de quatro aves. Todo conteúdo ileal (quatro centímetros após o divertículo de Meckel's até quatro centímetros acima da junção íleo-ceco-cólica) foi coletado, homogeneizado e acondicionado em potes plásticos em freezer a -20°C. O conteúdo ileal de cada repetição foi homogeneizado e seco primeiramente em estufa de ventilação forçada a 55°C por 72 horas e moídas manualmente. A determinação da matéria seca (MS), nitrogênio (N) e extrato etéreo (EE) das dietas e do conteúdo ileal foram realizadas de acordo com metodologia descrita pela AOAC (1995). Como marcador indigestível foram adicionados 10 g/kg de Celite® à ração. O conteúdo de cinza insolúvel em ácido (CIA) das dietas e do conteúdo ileal foi analisado segundo a metodologia descrita por (Scott & Boldaji, 1997). A energia bruta (EB) das excretas foi determinada em bomba calorimétrica (Parr Instrument Co., Moline, IL, USA), utilizando ácido benzóico como padrão de calibração. Com base nos resultados laboratoriais obtidos, foram calculados os coeficientes de digestibilidade aparente ileal (CDAi) da matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE) e energia bruta (EB) de acordo com a fórmula:

$$CDA_i = \frac{(NT_d - (NT_i \times FI))}{NT_d} x100$$

$$FI = \frac{CIA_{dieta}}{CIA_{excreta}}$$

Onde, NT_d conteúdo de nutrientes da dieta; NT_i é o conteúdo de nutrientes no conteúdo ileal; FI = fator de indigestibilidade.

Morfometria Intestinal e ácido siálico

Para avaliação da altura dos vilos, profundidade das criptas, contagem do número de células caliciformes e quantificação da concentração de ácido N-acetilneuramínico (ácido siálico) foram eutanasiadas seis aves por tratamento por deslocamento cervical aos 21 dias idade. Amostras de dois centímetros do íleo (dois centímetros abaixo do divertículo de Meckel) foram coletadas para análise das variáveis de morfometria

intestinal. Os segmentos coletados foram seccionados longitudinalmente, estendidos em papel rígido e grampeados pelas extremidades, lavados cuidadosamente com solução salina 0,9% e fixados em solução de formol tamponado 10% durante 48 horas. Em seguida, foram desidratados em série crescente de álcool (70 até 100%), diafanizados em xilol e incluídos em parafina. Para a determinação da altura dos vilos, profundidade de cripta e número de células caliciformes foram realizados cortes histológicos com 5 μm de espessura e corados com hematoxilina-eosina (HE) e alcian blue (AB). Foram capturadas imagens de 20 vilos e 20 criptas por ave (aumento 40 vezes) utilizando-se um sistema analisador de imagem (Motic Images Plus 2.0) acoplado ao microscópio (Olympus BH2 Olympus America INC., NY, USA). As medidas de altura dos vilos foram tomadas a partir da região basal, que coincide com a porção superior das criptas até o ápice, e as criptas, da base até a região de transição cripta:vilo. O número de células caliciformes foi determinado ao longo de 200 μm na parte média de 20 vilos (aumento de 200 vezes) utilizando-se este mesmo sistema.

Para quantificação da concentração de ácido siálico foi coletado o conteúdo ileal das mesmas aves utilizadas para morfometria intestinal, sendo o íleo delimitado seis centímetros após o divertículo de Meckel's até quatro centímetros acima da junção íleo-ceco-cólica. As amostras foram liofilizadas a vácuo durante 72 horas, moídas manualmente em Gral e analisadas de acordo com a metodologia descrita por Jourdian et al. (1971).

2.2 Experimento II – Farinha de Penas

2.2.1 Delineamento experimental e manejo

Foram alojados 120 pintos de corte, fêmeas da linhagem COBB 500, com um dia de idade e peso médio de 46,22 ± 0,53g, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado composto por quatro tratamentos de 30 aves cada. O manejo utilizado foi o mesmo descrito no item 2.1.1.

2.2.2 Dietas

As rações experimentais foram formuladas à base de milho e farelo de soja seguindo os níveis nutricionais sugeridos por Rostagno et al. (2011). Os tratamentos experimentais consistiram na inclusão em níveis crescentes de farinha de penas conforme descrito na Tabela 2. Os animais receberam água e ração farelada à vontade durante todo o período experimental.

Tabela 2. Ingredientes e composição química analisada e calculada das rações experimentais – Experimento II.

Ingredientes (g/kg)	Controle	Pena 1	Pena 2	Pena 3
Milho	567,7	581,7	595,8	609,8
Farelo de Soja 48%	350,0	329,2	308,4	287,7
Farinha de Penas	-	10,0	20,0	30,0
Óleo de Soja	34,9	33,1	27,7	24,1
Fosfato Bicálcico	9,6	9,6	9,6	9,6
Calcário	16,3	16,3	16,3	16,2
Sal	4,4	4,3	4,3	4,3
L-Lisina pó	1,2	1,6	2,0	2,4
DL-Metionina	2,7	2,6	2,5	2,3
L-Treonina	0,4	0,5	0,5	0,5
Colina	1,4	1,4	1,5	1,6
Celite	10,0	10,0	10,0	10,0
Premix vitamínico[1]	1,0	1,0	1,0	1,0
Premix Mineral[2]	0,5	0,5	0,5	0,5
Composição Química Analisada na Matéria Seca (g/kg)				
Umidade	128,0	127,5	118,8	122,1
Proteína Bruta	192,5	202,5	204,4	213,1
Extrato Etéreo	88,2	83,6	86,2	81,9
Resíduo Mineral	86,1	81,8	75,0	75,5
Composição Química Calculada (g/kg)				
Energia Metabolizável aves (kcal/kg)	3000	3000	3000	3000
Cálcio	8,09	8,09	8,09	8,09
Fósforo disponível	3,86	3,86	3,86	3,86
Sódio	2,00	2,00	2,00	2,00
Potássio	5,60	5,60	5,60	5,60
Cloro	1,85	1,85	1,85	1,85
Lisina digestível	11,65	11,65	11,65	11,65
Met+cis digestível	8,39	8,39	8,39	8,39
Metionina digestível	4,54	4,54	4,54	4,54
Treonina digestível	7,57	7,57	7,57	7,57
Triptofano digestível	1,98	1,98	1,98	1,98

[1]Suplemento Vitamínico - Garantia por kg de produto Vit.A 2.300.000 UI, Vit D3 400.000 UI, Vit E 1.800 mg, Vit K3 300 mg, Vit B1 150 mg, Vit B2 1.400 mg, Vit B12 3.500 mcg, Ácido Pantotênico 2.000 mg, Ácido Nicotínico 7.000 mg, Piridoxina 250 mg, Ácido Fólico 150 mg, Biotina 20 mg, Colina 125 g, Anticoccidiano 125 g, Promotor 30 g, Antioxidante 20 g.

[2]Suplemento Mineral – Garantia por kg de produto: Ferro 35.000 mg, Cobre 50.000 mg, Manganês 35.000 mg, Zinco 30.000 mg, Iodo 600 mg, Selênio 90 mg,

2.2.3 Variáveis analisadas

Ensaio de digestibilidade, morfometria intestinal e ácido siálico

As variáveis analisadas e as suas respectivas metodologias foram realizadas segundo descrito no item 2.1.3.

2.3 Experimento III – Farelo de Trigo

2.3.1 Delineamento experimental e manejo

Foram alojados 120 pintos de corte, fêmeas da linhagem COBB 500, com um dia de idade e peso médio de 45,78 ± 0,46g, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado composto por quatro tratamentos de 30 aves cada. O manejo utilizado foi o mesmo descrito no item 2.1.1.

2.3.2 Dietas

As rações experimentais foram formuladas à base de milho e farelo de soja seguindo os níveis nutricionais sugeridos por Rostagno et al. (2011). Os tratamentos experimentais consistiram na inclusão de níveis crescentes de farelo de trigo conforme descrito na Tabela 3. Os animais receberam água e ração farelada à vontade durante todo o período experimental.

Tabela 9. Ingredientes e composição química analisada e calculada das rações experimentais – Experimento 3.

Ingredientes (g/kg)	Controle	2,5%FT	5,0% FT	7,5% FT
Milho	567,7	538,9	510,2	481,5
Farelo de Soja 48%	350,0	345,7	341,4	337,1
Farelo de Trigo (FT)	-	25,0	50,0	75,0
Óleo de Soja	34,9	42,9	50,2	58,9
Fosfato bicálcico	9,6	9,6	9,7	9,7
Calcário	16,3	16,2	16,1	16,0
Sal	4,4	4,3	4,3	4,3
L-Lisina pó	1,2	1,3	1,3	1,4
DL-Metionina	2,7	2,7	2,7	2,8
L-Treonina	0,4	0,5	0,5	0,6
Colina	1,4	1,4	1,5	1,3
Celite	10,0	10,0	10,0	10,0
Premix vitamínico[1]	1,0	1,0	1,0	1,0
Premix Mineral[2]	0,5	0,5	0,5	0,5
Composição Química Analisada na Matéria Seca (g/kg)				
Umidade	128,0	127,5	118,8	122,1
Proteína Bruta	192,5	202,5	204,4	213,1
Extrato Etéreo	88,2	83,6	86,2	81,9
Resíduo Mineral	86,1	81,8	75,0	75,5
Composição Química Calculada (g/kg)				
Energia Metabolizável aves (kcal/kg)	3000	3000	3000	3000
Cálcio	8,09	8,09	8,09	8,09
Fósforo disponível	3,86	3,86	3,86	3,86
Sódio	2,00	2,00	2,00	2,00
Potássio	5,60	5,60	5,60	5,60
Cloro	1,85	1,85	1,85	1,85
Lisina digestível	11,65	11,65	11,65	11,65
Met+cis digestível	8,39	8,39	8,39	8,39
Metionina digestível	4,54	4,54	4,54	4,54
Treonina digestível	7,57	7,57	7,57	7,57
Triptofano digestível	1,98	1,98	1,98	1,98

[1]Suplemento Vitamínico - Garantia por kg de produto Vit.A 2.300.000 UI, Vit D3 400.000 UI, Vit E 1.800 mg, Vit K3 300 mg, Vit B1 150 mg, Vit B2 1.400 mg, Vit B12 3.500 mcg, Ácido Pantotênico 2.000 mg, Ácido Nicotínico 7.000 mg, Piridoxina 250 mg, Ácido Fólico 150 mg, Biotina 20 mg, Colina 125 g, Anticoccidiano 125 g, Promotor 30 g, Antioxidante 20 g.

[2]Suplemento Mineral – Garantia por kg de produto: Ferro 35.000 mg, Cobre 50.000 mg, Manganês 35.000 mg, Zinco 30.000 mg, Iodo 600 mg, Selênio 90 mg

2.2.3 Variáveis analisadas

Ensaio de digestibilidade, morfometria intestinal e ácido siálico

As variáveis analisadas e as suas respectivas metodologias foram realizadas segundo descrito no item 2.1.3.

2.3 Análise Estatística

Os dados coletados foram submetidos à análise de homogeneidade das variâncias (Teste de Bartlett) e normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk). Após verificada a distribuição normal e ausência de dados discrepantes os dados foram submetidos à análise de variância. Na presença de diferença estatística entre os tratamentos as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para o experimento avaliando a adição de óleo ácido de soja. Para os experimentos contendo níveis crescentes de farinha de penas e farelo de trigo foi adotada a análise de regressão polinomial até segundo grau.

3. Resultados e Discussão

3.1 Experimento I – Óleo Ácido de Soja

Não foram observadas diferenças significativas (P>0,05) na altura dos vilos, profundidade das criptas do íleo e na concentração de ácido siálico no conteúdo ileal de aves alimentadas com dietas contendo diferentes proporções de óleo ácido de soja (OAS) (Tabela 4). O número de células caliciformes presentes nos vilos de aves alimentadas com a maior proporção de óleo ácido de soja (4,69%) foi significativamente maior (P<0,05) em relação ao número destas células no íleo de aves sem inclusão de OAS ou mesmo recebendo inclusão menor (2,35%) deste ingrediente.

Tabela 4. Altura de vilo (AV), profundidade de cripta (PC), número de células caliciformes (CC) e concentração de ácido siálico (AS) no íleo de frangos alimentados com dietas com ou sem adição de óleo ácido de soja.

	AV (µm)	PC (µm)	CC (n° em 200 µm)	AS (mg/kg/dia)
4% OS[1]	641,1	116,8	24[b]	14,98
2% OS + 2,35% OAS[2]	640,1	113,0	23[b]	12,65
1% OS + 3,52% OAS	631,6	109,1	27[ab]	15,34
4,69% OAS	609,1	110,9	31[a]	13,74
P	NS	NS	***	NS
EPM	8,333	1,267	0,681	0,656

NS=não significativo; ***P<0,0001

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05)

[1]OS=óleo de soja; [2]OAS= óleo ácido de soja

EPM – erro padrão da média

As células caliciformes presentes ao longo das vilosidades intestinais são responsáveis pela produção e secreção de um composto glicoproteico denominado como muco. Este gel viscoso recobre toda a superfície do epitélio intestinal protegendo e lubrificando este tecido. O maior número de células caliciformes no íleo de aves recebendo o tratamento com o nível mais alto de óleo ácido de soja pode ser interpretado como tentativa de proteção da mucosa contra agressões químicas provenientes deste ingrediente. Cowieson et al. (2004) relatam que a mucina produzida pelas células caliciformes no TGI desempenha funções fisiológicas que incluem a lubrificação da superfície epitelial, proteção à mucosa e também atua como barreira a difusão de nutrientes e toxinas. De acordo com Horn et al. (2009), a alteração na densidade de células caliciformes pode ser indicativo no balanço entre síntese e degradação de mucina, mas o aumento na densidade destas células não pode ser utilizado como indicador para quantificação da secreção de mucina (Jeurissen et al., 2002). É importante ressaltar que as mucinas secretadas no lúmen intestinal são ricas em aminoácidos e nitrogênio, qualquer aumento na sua produção como mecanismo de defesa se torna nutricionalmente e energeticamente oneroso ao organismo, resultando em aumento na perda endógena de aminoácidos e incremento no custo energético de manutenção (Nyachoti et al., 1997).

Não foram observadas diferenças significativas (P<0,05) nos CDAi da MS, PB, EE e EB das dietas contendo diferentes proporções de óleo ácido de soja (Tabela 5). A energia digestível da ração contendo 4,69% de OAS foi superior (P<0,05) quando comparada ao tratamento contendo somente óleo de soja. Os resultados encontrados nesse trabalho para CDAi da PB e EE corroboram com os resultados observados por Vieira et al. (2002) os quais não verificaram diferenças significativas para os tratamentos contendo OAS. Neste mesmo estudo desenvolvido por Vieira et al. (2002), foram observadas CDMS nas excretas e a EM superiores em frangos alimentados com dietas contendo óleo degomado de soja em relação àquelas alimentadas com OAS, resultados esses que não estão de acordo com o presente trabalho. Já Raber et al. (2008) observaram coeficiente de metabolizabilidade da matéria seca superior (P<0,01) para OAS em comparação ao óleo degomado de soja. Para os coeficiente de metabolizabilidade do extrato etéreo e coeficiente de metabolizabilidade da energia bruta, não foram observadas diferenças entre os tipos de óleo testados. Estes resultados se contrapõem à hipótese de que a menor proporção de triglicerídeos presente do OAS reduz a ativação da secreção de bile e a formação de micelas em aves proposto por Wiseman & Salvador (1991).

Em sua pesquisa Raber et al. (2009) também não verificaram diferenças significativas para o coeficiente de metabolizabilidade da MS, EE e EB. Freitas et al. (2005) observaram diferenças para os valores do coeficiente de metabolizabilidade do extrato etéreo e de energia metabolizável aparente entre pintos e galos. Fato esse que pode estar associado com a melhora na digestibilidade dos lipídios conforme os animais se desenvolvem, pois a capacidade de reabsorção de sais biliares e produção de lipase é menor em animais jovens (Noy & Sklan, 1995). Wiseman & Salvador (1991) observaram redução no valor nutricional das fontes lipídicas conforme houve aumento na proporção de ácidos graxos livres (AGL), ressaltando que os efeitos dos AGL são menos pronunciados em aves adultas do que em aves jovens. No entanto, no presente trabalho a maior proporção de ácidos graxos livres (4,69% de OAS) não reduziu o aproveitamento da dieta, mesmo em aves jovens.

Tabela 5. Coeficientes de digestibilidade aparente ileal da matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), energia bruta (EB) e energia digestível (ED) de frangos alimentados com dietas contendo óleo ácido de soja.

	MS (%)	PB (%)	EE (%)	EB (%)	ED (kcal/kg)
4% OS[1]	64,06	77,10	88,69	70,13	3185[b]
2% OS + 2,35% OAS[2]	63,35	77,46	86,62	69,72	3205[ab]
1% OS + 3,52% OAS	65,15	79,41	87,24	70,93	3259[ab]
4,69% OAS	69,24	81,01	89,83	73,75	3424[a]
P	NS	NS	NS	NS	*
EPM	0,853	0,624	0,797	0,697	34,782

NS=não significativo; *P<0,05;

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05)

[1]OS=óleo de soja; [2]OAS= óleo ácido de soja

EPM – erro padrão da média

Embora o óleo de soja e o óleo ácido de soja apresentem perfil de ácido graxo similar, a concentração de ácidos graxos livres no óleo ácido de soja é mais elevada em relação ao óleo de soja. Segundo Garrett & Young (1975) e Sklan (1979), a presença de ácidos graxos ligados a molécula de glicerol é de extrema importância para a formação de micelas no processo de emulsificação das gorduras, fato esse que tem influencia direta sobre a absorção dos lipídios. De acordo com Vieira et al. (2006), durante o processo do refinamento do óleo de soja, nutrientes e componentes importantes (como vitamina E, colina, isoflavonas, entre outros) à saúde animal são frequentemente transferidos para a borra ácida, os quais são incorporados na produção do OAS, fato esse que pode talvez explicar a ausência de diferença entre os valores de CDAi para as dietas contendo OAS. Os resultados encontrados no presente trabalho também podem estar atribuídos a diferença na inclusão entre o óleo ácido de soja e o óleo de soja, pois a diferença nos valores energéticos entre estas duas fontes foi considerada na formulação das dietas para que a contribuição em energia provenientes da fonte lipídica fosse equivalente.

3.2 Experimento II – Farinha de Penas

Na Tabela 6 estão apresentadas as médias para altura de vilos, profundidade das criptas, contagem de células caliciformes no íleo e da concentração de ácido siálico no conteúdo ileal de frangos alimentados com dietas contendo níveis crescentes de farinha de penas. Foi observado efeito quadrático sobre a altura de vilos ($y=825,0-77,67x+21,88x^2$; $R^2=0,922$; $P<0,05$) e profundidade das criptas ($y=134,8-14,82x+4,369x^2$; $R^2=0,985$; $P<0,0001$) nas aves alimentadas com níveis crescentes de farinha de penas. Não foram observados efeitos dos níveis crescentes de farinha de penas sobre o número de células caliciformes e concentração de ácido siálico ($P>0,05$) no conteúdo ileal de frangos.

Tabela 6. Altura de vilo (AV), profundidade de cripta (PC), número de células caliciformes (CC) e concentração de ácido siálico (AS) no íleo de frangos alimentados com dietas contendo níveis crescentes de farinha de penas (FP).

	AV[1] (µm)	PC[2] (µm)	CC (n° em 200 µm)	AS (mg/kg/dia)
0% FP	828,4	134,5	25	9,47
1% FP	759,3	125,1	26	9,39
2% FP	767,2	121,8	25	9,15
3% FP	785,6	129,9	29	9,54
Linear	NS	NS	NS	NS
Quadrática	*	***	NS	NS
EPM	9,654	1,154	0,667	0,333

NS=não significativo; *P<0,05; ***P<0,0001;

[1] $y=825,0-77,67x+21,88x^2$; R2=0,922;

[2] $y=134,8-14,82x+4,369x^2$; $R^2=0,985$;

Embora a altura de vilos tenha demonstrado resposta quadrática aos níveis crescentes de farinha de penas, podemos observar que o tratamento sem a inclusão de FP apresentou vilos mais altos que os demais tratamentos contendo FP. Ainda que a altura de vilos no tratamento com 3% FP tenha demonstrado tendência de recuperação, a altura dos vilos no tratamento controle foi 43 µm maior. A resposta para profundidade de criptas foi similar à apresentada para altura de vilos. Visualmente, a dificuldade para se

encontrar vilosidades íntegras nas lâminas dos tratamentos contendo FP foi maior em relação as lâminas do tratamento controle.

As médias para os CDAi da MS, PB, EE e EB e ED das rações contendo contendo níveis crescentes de farinha de penas estão apresentadas na Tabela 7. Foi observado efeito linear negativo significativo sobre a CDAi da MS (y=-71,373+1,4653x; R^2=0,818; P<0,0001), PB (y=81,799-3,246x; R^2=0,996; P<0,0001) e EE (y=88,28-1,496x; R^2=0,793; P<0,0001) conforme os níveis de farinha de penas aumentaram. Não foram observados efeitos dos níveis crescentes de farinha de penas sobre CDAi da EB (P>0,05). Pode-se observar que os níveis de farinha de penas influenciaram (P<0,0001) de maneira quadrática a ED da dieta (y=3309+435,92x^2; R^2=0,979).

Tabela 7. Coeficientes de digestibilidade aparente ileal da matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), energia bruta (EB) e energia digestível (ED) das dietas contendo níveis crescentes de farinha de penas (FP).

	MS[1] (%)	PB[2] (%)	EE[3] (%)	EB (%)	ED[4] (kcal/kg)
0% FP	72,51	81,94	88,17	74,99	3319
1% FP	68,28	78,32	87,64	70,53	2777
2% FP	68,16	75,12	83,63	70,92	2849
3% FP	67,84	72,58	85,25	70,56	2839
Linear	***	***	***	NS	***
Quadrática	NS	NS	NS	NS	***
EPM	0,505	0,987	0,595	0,518	49,089

NS=não significativo; *P<0,05; ***P<0,0001;

[1] y= -71,373+1,4653x; R2=0,818;

[2] y= 81,799-3,246x; R2=0,996;

[3] y= 88,28-1,496x; R2=0,793;

[4] y= 3309,0+435,92x2; R2=0,979;

A FP apresenta elevada concentração de aminoácidos como cisteína, treonina, arginina e fenilalanina, porém é nutricionalmente deficiente em metionina, lisina, triptofano e histidina (Moran Jr et al., 1966; Macalpine & Payne, 1977). Ainda que no presente estudo as dietas tenham sido formuladas com conceito de proteína ideal, utilizando valores de aminoácido digestíveis com inclusão de aminoácidos sintéticos para corrigir a

deficiência de aminoácidos da FP, a digestibilidade da MS e PB foram linearmente reduzidas com o aumento da farinha de penas. Waldroup (2000), estudou dietas contendo 0, 5, 10 e 15% de FP com suplementação de 100, 90 e 80% de aminoácidos digestíveis equivalentes as recomendações de aminoácidos totais do NRC (1994). O autor verificou interação significativa entre os níveis FP e de aminoácidos na dieta, onde a inclusão de 10 e 15% de FP resultou em redução significativa no peso corporal, mesmo quando a suplementação de aminoácidos foi de 100%. Os efeitos sobre o peso corporal e conversão alimentar foram mais severos nos maiores níveis de inclusão de FP e níveis de 90 e 80% de suplementação de aminoácidos. Segundo o autor, a formulação baseada utilizando valores de aminoácidos digestíveis não foi suficiente para superar completamente os problemas associados a fontes proteicas de baixa disponibilidade.

A literatura apresenta diversos trabalhos avaliando desempenho e rendimento de carcaça de frangos alimentados com dietas contendo farinha de penas, mas escassez com relação a estudos de digestibilidade de dietas contendo FP. Embora o objetivo deste estudo tenha sido outros parâmetros de avaliação para testar os efeitos da farinha de pena em substituição ao farelo de soja, os resultados de desempenho e rendimento de carcaça certamente podem ser considerados como reflexo da integridade intestinal e digestibilidade dos nutrientes. Ochetim (1993) avaliou a inclusão de 0%, 1,5%, 3% e 4,5% de FP processada em substituição ao farelo de soja. O autor verificou que o desempenho e o rendimento de carcaça de frangos não foram afetados pela inclusão de até 3% de FP na dieta, porém o peso ao abate (8 semanas), conversão alimentar e o peso da carcaça foram significativamente menores em animais alimentados com dietas contendo 4,5% de FP, atribuindo estes resultados ao desbalanço de aminoácidos e ao baixo valor biológico e digestibilidade da FP. Segundo Ochetim (1993) a inclusão de 3% de FP pode substituir o equivalente a 6% de farelo de soja na formulação, informação essa que está de acordo com a formulação do presente trabalho.

Pode-se observar redução linear ($P<0,05$) na digestibilidade do EE conforme houve aumento na inclusão de FP na dieta. Xavier (2005), verificaram que os níveis crescentes de farinha de penas e sangue na dieta de frangos influenciaram de forma quadrática o coeficiente de digestibilidade e os valores de retenção do extrato etéreo. Segundo a autora, tais resultados podem ser justificados pela menor inclusão de óleo vegetal nas dietas com maior inclusão de farinha de penas e sangue. Sibbald & Slinger (1963) relataram que ocorre aumento na digestibilidade das gorduras a medida que aumenta-se o nível de inclusão de óleos e gordura na dieta. Isika et al. (2006), verificaram que a

retenção do extrato etéreo foi reduzida (P<0,05) em aves alimentadas com dietas contendo 3% de FP na fase inicial de criação.

Um fator que não pode ser descartado é a qualidade microbiológica da FP utilizada, a qual não deixa de estar associada ao processamento da FP. De acordo com Wang & Parsons (1998), estima-se que 10% do resíduos de origem animal utilizados na formulação de rações nos EUA estejam contaminados com microrganismos patogênicos, fato esse que pode exigir maior aporte nutricional para recuperação e manutenção da saúde das aves (Xavier, 2005).

3.3 Experimento III – Farelo de Trigo

Na tabela 8 estão apresentadas as médias para altura de vilos, profundidade das criptas, contagem de células caliciformes no íleo e da concentração de ácido siálico no conteúdo ileal de frangos alimentados com dietas contendo níveis crescentes de farelo de trigo. Foi observado efeito linear negativo dos níveis crescentes de farelo de trigo sobre a altura dos vilos ($y=848,9-26,64x$; $R^2=0,874$; $P<0,0001$). Houve efeito quadrático ($y=24,78-1,42x+0,117x^2$; $R^2=0,991$; $P<0,0001$) dos níveis de inclusão de FT sobre o número de células caliciformes no íleo de frangos, já a profundidade das criptas e a concentração de ácido siálico no conteúdo ileal de frangos não diferiram entre os tratamentos (P>0,05).

A concentração de ácido siálico similar entre os tratamentos pode representar maior produção de muco nos frangos com menor contagem de células caliciformes. Segundo Rutherfurd et al. (2002) e Pirgozliev et al. (2005), a análise de AS pode ser utilizada como indicador de perdas endógenas do TGI em animais e sua determinação em amostras biológicas pode ser utilizada como uma ferramenta científica que fornece informações sobre o metabolismo e saúde intestinal em animais de produção.

De acordo com Mateos et al. (2012), o tipo da fibra (viscoso x não viscosa), nível da fibra, idade das aves, bem como composição da dieta basal são fatores que estão envolvidos com as respostas da mucosa intestinal à fibra. A presença de PNA na dieta causa aumento na taxa de proliferação das células intestinais, o que resulta em modificações na estrutura e função da mucosa (Iji, 1999). Vahouny et al. (1985) observaram que a taxa de migração celular no intestino de ratos foi maior no grupo de animais alimentados com dietas contendo farelo de trigo ou celulose quando comparados aos recebendo dieta controle.

Tabela 8. Altura de vilo (AV), profundidade de cripta (PC), número de células caliciformes (CC) e concentração de ácido siálico (AS) no íleo de frangos alimentados com dietas contendo níveis crescentes de farelo de trigo (FT).

	AV[1] (µm)	PC (µm)	CC[2] (n° em 200µm)	AS (mg/kg/dia)
0% FT	879,8	135,4	25	10,00
2,5% FT	731,5	123,4	20	9,69
5,0% FT	710,3	113,2	22	9,57
7,5% FT	665,0	110,4	21	10,32
Linear	***	NS	NS	NS
Quadrático	NS	NS	***	NS
EPM	9,711	2,884	0,409	0,341

NS=não significativo; ***P<0,0001;

1 y=848,9-26,64x; R2=0,874;

2 y=24,78-1,42x+0,117x^2; R2=0,991;

As médias dos resultados para os CDAi da MS, PB, EE e EB e ED em aves alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de farelo de trigo estão apresentadas na Tabela 9. Foi observada resposta quadrática significativa sobre a CDAi da MS (y=72,43+1,218x^2; R^2=0,996; P<0,0001) e PB (y=81,85+1,085x^2; R^2=0,993; P<0,0001). Não foram observados efeitos dos níveis crescentes de farelo de trigo sobre CDAi do EE, EB e ED (P>0,05) em frangos aos 21 dias de idade.

De acordo com Maes et al. (2004), os principais PNA presentes no farelo de trigo são as arabinoxilanas (36,5%), seguidas pela celulose (11%), lignina (3 a 10%) e ácidos urônicos (3 a 6%). Segundo Kirwan et al. (1974) a presença de fibra insolúvel como a celulose ou pela inclusão do FT não afetam a digestão e absorção de nutrientes, mas podem diminuir o tempo de trânsito da digesta no ID devido a alta capacidade de reter água. Cao et al. (1998) verificaram que as fibras insolúveis exercem efeitos benéficos sobre a digestibilidade e utilização de nitrogênio em dietas diluídas com celulose.

A granulometria da fibra adicionada a dieta também é um fator importante que pode prolongar o tempo de trânsito mesmo em dietas contendo alta concentração de PNAi. Hetland et al. (2005) verificaram que o tempo de retenção da fibra na moela é maior em relação à outros nutrientes e que a teoria de que as fibras insolúveis aceleram a velocidade da digesta não se aplica quando a fração fibrosa é grosseira. Segundo Hetland

& Svihus (2001) e Hetland et al. (2005) a granulometria grosseira de alguns ingredientes estimulam o proventrículo produzir mais HCl, secretar amilase e sais biliares o que pode resultar em aumento na digestibilidade do amido.

Sacranie et al. (2012) verificaram que frangos alimentados com dietas contendo casca de aveia moídas grosseiramente apresentaram moela mais desenvolvida que àquelas com casca de aveia mais finas, que por sua vez apresentaram moela mais desenvolvida que animais alimentados sem casca de aveia na dieta. O tamanho e atividade da moela são fatores importantes, pois é este órgão que auxilia o controle da motilidade do TGI como um todo. Segundo González-Alvarado et al. (2008) uma moela menos desenvolvida pode deprimir a digestibilidade dos nutrientes. O aumento no tamanho da moela também está associado com maior consumo de ração. As fibras insolúveis ainda podem aumentar o refluxo gastro-duodenal (Hetland et al., 2004; Sacranie et al., 2012). Possivelmente o refluxo da digesta prologa o tempo de trânsito e a exposição dos nutrientes ao suco digestivo, resultando em melhorias na digestão e absorção no TGI. Tais ganhos mecânicos e químicos associado ao maior tempo de retenção resultam em melhora na digestibilidade dos nutrientes e eficiência de utilização da dieta. No entanto, no presente estudo o CR de ração ou peso da moela não foram mensurados, portanto não pode-se afirmar que a menor digestibilidade tenha sido decorrente do menor consumo ou tamanho reduzido da moela.

Tabela 9. Coeficientes de digestibilidade aparente ileal da matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), energia bruta (EB) e energia digestível (ED) de frangos alimentados com dietas contendo níveis crescentes de farelo de trigo (FT).

	MS[1] (%)	PB[2] (%)	EE (%)	EB (%)	ED (kcal/kg)
0% FT	72,51	81,94	88,17	74,99	3319
2,5% FT	62,90	71,45	70,34	65,23	2947
5,0% FT	62,79	70,89	78,48	64,35	2918
7,5% FT	62,50	72,43	76,99	64,68	3005
Linear	***	**	NS	NS	NS
Quadrática	***	NS	NS	NS	NS
EPM	0,892	1,097	1,633	1,007	46,633

NS=não significativo; *P<0,05; ***P<0,0001;

[1] $y=72,43+1,218x^2$; R2=0,996;

[2] $y=24,78-1,42x+0,1172x^2$; R2=0,991;

Embora a resposta para digestibilidade da MS tenha sido quadrática, podemos observar que as médias dos valores de digestibilidade são maiores no tratamento sem a inclusão de farelo de trigo, resultado que biologicamente apresenta maior sentido de acordo com a literatura. No estudo desenvolvido por Choct & Annison (1992), a ação das pentosanas do trigo não se restringiu à inibição da absorção de nutrientes, mas também influenciou de forma direta ou indireta o bem-estar das aves, pois as aves recebendo dietas com pentosanas apresentaram considerável estresse osmótico gastrointestinal demonstrado pela grande quantidade de água nas excretas.

Choct et al. (1992) verificaram que a adição de pentosanas isoladas do trigo reduziu significativamente a digestibilidade da MS, PB, amido e de alguns ácidos graxos nas excretas e no conteúdo ileal, sendo tais efeitos mais severos em aves cecectomizadas. Os autores afirmam que os resultados encontrados sugerem que os microrganismos presentes na parte distal do intestino desempenham papel fundamental na utilização dos nutrientes da dieta, sendo tais efeitos mais pronunciados quando os níveis de PNA são elevados.

Em seu estudo Choct & Annison (1992), verificaram que as pentosanas presentes no trigo reduziram a digestibilidade ileal da proteína em 18,7%, indicando que as arabinoxilanas presentes neste ingrediente são prejudiciais a digestão dos nutrientes. A

redução na digestibilidade ileal da proteína em dietas contendo PNAs pode ser resultado da inibição e/ou do desarranjo da digestão da proteína ou da redução na absorção de aminoácidos. O aumento na secreção de proteínas endógenas, derivadas das secreções e de células intestinais também podem ser responsáveis pela redução na digestibilidade da fração protéica da dieta (Choct & Annison 1992; Angkanaporn et al., 1994). O aumento nas perdas endógenas causadas pela presença de PNA viscosos na dieta reduzem a digestibilidade aparente da gordura e do nitrogênio na parte distal do íleo (Jørgensen et al., 1996).

Os efeitos anti-nutritivos das pentosanas do trigo também foram estudados por Angkanaporn et al. (1994), que avaliaram os efeitos destes compostos sobre a digestibilidade da proteína e perdas endógenas de aminoácidos a partir da técnica da homoarginina como marcador. Os autores verificaram que a digestibilidade da hormoarginina não foi afetada pela presença de 15g/kg de pentosanas na dieta, demonstrando que os efeitos sobre a digestibilidade aparente da proteína esta principalmente associada à perda de aminoácidos endógenos e à inibição direta da quebra de proteínas e/ou absorção de aminoácidos em dietas contendo níveis mais elevados de pentosanas.

Solubilidade, viscosidade e capacidade fermentativas são 3 propriedades físico-químicas das fibras que podem afetar a diversidade da microbiota e a contagem de colônias no TGI (Mateos et al., 2012). Annison et al. (1996) afirmam que os PNA dos co-produtos de cereais possuem baixo peso molecular e mesmo quando solubilizados não formam camadas de gel altamente viscosas. Embora a viscosidade e a composição da microbiota intestinal não tenham sido avaliadas no presente estudo, Smits & Annison (1996) afirmam que o maior tempo de trânsito encontrado com aumento da viscosidade da digesta proporciona um ambiente excelente para atividade de microrganismos por disponibilizarem substrato às bactérias por um tempo relativamente maior, permitindo seu crescimento de modo acelerado, situação associada com a presença de PNAs. Ainda, as mudanças físico-químicas na camada de muco podem aumentar a capacidade de adesão das bactérias à superfície da mucosa, sendo um mecanismo importante no desenvolvimento de doenças no TGI (Svihus et al., 2002).

4. Conclusões

A inclusão do óleo ácido de soja pode ser realizada como uma fonte energética alternativa ao óleo de soja sem prejuízos a altura de vilos, profundidade das criptas,

concentração de ácido siálico e digestibilidade da ração. Já a inclusão de farinha de penas e de farelo de trigo nas dietas de frangos prejudica a morfologia intestinal e a digestibilidade dos nutrientes.

5. Referências Bibliográficas

Angkanaporn, K., Choct, M., Bryden, W. L., Annison, E. F. (1994). Effects of wheat pentosan on endogenous aminoacids losses in chickens. Journal of the Science of Food and Agriculture, 66, 399–404.

Annison, G., Hughes, R. J., Choct, M. (1996). Effects of enzyme supplementation on the nutritive value of dehulled lupins Effects of enzyme supplementation on the nutritive value of dehulled lupins. British Poultry Science, 37, 157–172.

Association of the official analytical chemists (AOAC). (1995). Official and tentative methods of analysis. (16 ed.) AOAC, Washington, DC, USA

Blanch, A., Barroeta, A. C., Baucells, M. D., Serrano, X., Puchal, F. (1996). Utilization of different fats and oils by adult chickens as a source of energy, lipid and fatty acids. Animal Feed Science and Technology, 61(1-4), 335–342.

Cao, B., Kumao, T., Karasawa, Y. (1998). Effects of dietary cellulose levels on growth, nitrogen utilization, and retention time of diets at intestine in chicks fed equal amounts of nutrients. In: Proceedings of the 6th Asian Pacific Poultry Congress, Nagoya, Japan, p.402-403.

Choct, M., Annison, G. (1992). The inhibition of nutrient digestion by wheat pentosans. The British Journal of Nutrition, 67(1), 123–32.

Choct, M., Annison, G., Trimble, R. (1992). Soluble wheat pentosans exhibit different anti-nutritive activities in intact and cecectomized broiler chickens. The Journal of Nutrition, 122, 2457–2465.

Choct, M. (2010). Feed polysaccharides: nutritional roles and effect of enzymes. In: IV Congresso Latino Americano de Nutrição Animal - IV CLANA. Estância de São Pedro, SP, 65-78.

Cowieson, A. J., Acamovic, T., Bedford, M. R. (2004). The effects of phytase and phytic acid on the loss of endogenous amino acids and minerals from broiler chickens. British Poultry Science, 45(1), 101–108.

Freitas, E. R., Sakomura, N. K., Neme, R., Santos, A. L. (2005). Valor energético do óleo ácido de soja para aves. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 40(3), 241–246.

Garrett, R. L., Young, J. (1975). Effect of micelle formation on the absorption of neutral fat and fatty acids by the chicken. The Journal of Nutrition, 105(7), 827–38.

González-Alvarado, J. M., Jiménez-Moreno, E., Lázaro, R., Mateos, G. G. (2007). Effect of type of cereal, heat processing of the cereal, and inclusion of fiber in the diet on productive performance and digestive traits of broilers. Poultry Science, 86, 1705-1715.

Gonzalez-Alvarado, J. M., Jiménez-Moreno, E., Valencia, D. G., Lázaro, R., Mateos, G. G. (2008). Effects of fiber source and heat processing of the cereal on the development and pH of the gastrointestinal tract of broilers fed diets based on corn or rice. Poultry Science, 87, 1779- 1795.

Han, Y., Parsons, C. M. (1990). Protein and amino acid quality of feather meals. Poultry Science, 70, 812–822.

Hetland, H., Svihus B. (2001). Effect of oat hulls on performance, gut capacity and feed passage time in broiler chickens. British Poultry Science, 42, 354-361.

Hetland, H., Choct, M., Svihus, B. (2004). Role of insoluble non-starch polysaccharides in poultry nutrition. World's Poultry Science Journal, 60(4), 415–422.

Hetland, H., Svihus, B, Choct, M. (2005). Role of insoluble fiber on gizzard activity in layers. Poultry Science, 14, 38-46.

Horn, N. L., Donkin, S. S., Applegate, T. J., Adeola, O. (2009). Intestinal mucin dynamics: response of broiler chicks and White Pekin ducklings to dietary threonine. Poultry Science, 88(9), 1906–14.

Iji, P. A. (1999). The impact of cereal non-starch polysaccharides on intestinal development and function in broiler chickens. World's Poultry Science Journal, 55, 375-387.

Isika, M. A., Agiang, E. A., & Eneji, C. A. (2006). Complementary effect of processed broiler offal and feather meals on nutrient retention, carcass and organ mass of broiler chickens. International Journal of Poultry Science, 5(7), 656–661.

Jeurissen, S. H. M., Lewis, F., Klis, J. D. van der, Mroz, Z., Rebel, J. M. J., & ter Huurne, A. A. H. M. (2002). Parameters and techniques to determine intestinal health of poultry as constituted by immunity, integrity, and functionality. Intestinal Microbiology, 3, 1–14.

Jørgensen, H., Zhao, X. Q., Knudsen, K. E., Eggum, B. O. (1996). The influence of dietary fibre source and level on the development of the gastrointestinal tract, digestibility and energy metabolism in broiler chickens. The British Journal of Nutrition, 75(3), 379–95.

Jourdian, G., Dean, L., Roseman, S. (1971). A periodate-resorcinol method for the quantitative estimation of free siálico acids and their glycosides. The Journal of Biological Chemistry, 246, 430-435.

Kirwan, W. O., Smith, A. N., McConnel, A. A., Mitchell, W. D., Eastwood, M. A. (1974). Action of different bran preparations on colonic function. British Medical Journal, 4, 187- 189.

Lipstein, B., Bornstein, S. (1968). Lack of interference between dietary acidulated soybean soapstock and calcium in chicks and laying hens. Poultry Science, 47(6), 1905–11.

Macalpine, R., Payne, C. G. (1977). Hydrolysed feather protein as a source of amino acids for broilers. British Poultry Science, 18(3), 265–273.

Maes, C., Vangeneugden, B., Delcour, J. (2004). Relative activity of two endoxylanases towards water-unextractable arabinoxylans in wheat bran. Journal of Cereal Science, 39(2), 181–186.

Mateos, G. G., Jiménez-Moreno, E., Serrano, M. P., Lázaro, R. P. (2012). Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics. Journal Applied of Poultry Research, 21, 156–174.

Moran Jr, E. T., Summers, J. D., Slinger, S. J. (1966). Keratin as a Source of Protein for the Growing Chick. Poultry Science, 45(6), 1257–1266.

Noy, Y., Sklan, D. (1995). Digestion and absorption in the young chickens. Poultry Science, 74, 366-373.

Nyachoti, C. M., De Lange, C. F. M., McBride, B. W., Schulze, H. (1997). Significance of endogenous gut nitrogen losses in the nutrition of growing pigs: A review. Canadian Journal of Animal Science, 77, 149–163.

Ochetim, S. (1993). The effects of partial replacement of soybean meal with boiled feather meal. Asian-Australian Journal of Animal Sciences, 6(4), 597–660.

Pirgozliev, V. R., Oduguwa, O., Acamovic, T., Bedford, M. R. (2005). Effect of dietary phytase on performance, metabolizable energy and endogenous losses of broiler chickens. In in Proc. 15th Eur. Symp. Poult. Nutr., Balatonfured, Hungary, September 25–29. (pp. 319–321).

Raber, M. R., Ribeiro, A., Kessler, A. D. M., Arnaiz, V., Labres, R. V. (2008). Desempenho , metabolismo e níveis plasmáticos de colesterol e triglicerídeos em frangos de corte alimentados com óleo ácido e óleo de soja. Ciência Rural, 38(6), 1730–1736.

Raber, M., Ribeiro, A., Kessler, A., & Arnaiz, V. (2009). Suplementação de glicerol ou de lecitina em diferentes níveis de ácidos graxos livres em dietas para frangos de corte. Ciência Animal Brasileira, 10(3), 745–753.

Rostagno, H. R., Albino, L. F. T., Donzele, J. L., Gomes, P. C., Oliveira, R. F., Lopes, D. C., Euclides, R. F. (2011). Tabelas Brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. (H. S. Rostagno, Ed.) (3 ed., p. 252). Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa.

Rutherfurd, S. M., Chung, T. K., Moughan, P. J. (2002). The effect of microbial fitase on ileal phosphorus and amino acid digestibility in the broiler chicken, British Poultry Science, 44, 598-606.

Sacranie, A., Svihus, B., Denstadli, V., Moen, B., Iji, P. A., Choct, M. (2012). The effect of insoluble fiber and intermittent feeding on gizzard development, gut motility, and performance of broiler chickens. Poultry Science, 91 (3), 693-700.

Scott, T. A., Boldaji, F. (1997). Comparison of inert markers [chromic oxide or insoluble ash (Celite®TM)] for determining apparent metabolizable energy of wheat- or barley- based broiler diets with or without enzymes. Poultry Science, 76, 594-598.

Sibbald, I. R., Slinger, S. J. (1963). A biological assay for metabolizable energy in poultry feed ingredients togheter with findings which demonstrate somre of the problems associated with the evaluation of fats. Poultry Science, 42, 313-325.

Sklan, D. (1979). Digestion and absorption of lipids in chicks fed triglycerides or free fatty acids: synthesis of monoglycerides in the intestine. Poultry Science, 58(4), 885–889.

Smith, T. K. (1990). Effect of dietary putrescine on whole body growth and polyamine metabolism. In: Proceedings of the Society Experimental and Biolology and Medicine 194, 332-336.

Smits, C., Annison, G. (1996). Non-starch plant polysaccharides in broiler nutrition-towards a physiologically valid approach to their determination. World's Poultry Science Journaloultry Science Journal, 52(2), 203–221.

Stephen, A. M., Cummings, J. H. (1979). Water-holding by dietary fibre in vitro and its relationship to faecal output in man. Gut, 20(8), 722-729.

Svihus, B., Hetland, H., Choct, M., Sundby, F. (2002). Passage rate through the anterior digestive tract of broiler chickens fed on diets with ground and whole wheat. British Poultry Science. 43, 662-668.

Vahouny, G. V, Le, T., Ifrim, I., Satchithanandam, S., Cassidy, M. M. (1985). Stimulation of intestinal cytokinetics and mucin turnover in rats fed wheat bran or cellulose. The American Journal of Clinical Nutrition, 41(5), 895–900.

Vieira, S., Ribeiro, A., Kessler, A., Fernandes, L., Ebert, A., Eichner, G. (2002). Utilização da Energia de Dietas para Frangos de Corte Formuladas com Óleo Ácido de Soja. Revista Brasileira de Ciência Avícola, 4(3), 1–13.

Vieira, S., Viola, E., Berres, J., Coneglian, J., Freitas, D., Bortolini, T. (2006). Water Intake and Digestive Metabolism of Broilers Fed All-Vegetable Diets Containing Acidulated Soybean Soapstock. Revista Brasileira de Zootecnia, 8(3), 159–165.

Waldroup, P. W. (2000). Present status of the use of digestible amino acid values in formulation of broiler diets: opportunities and obstacles. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 13, 76–87.

Wang, X., Parsons, C. M. (1998). Effect of raw material source, processing systems and processing temperatures on amino acid basis. Poultry Science, 77, 843-841.

Wiseman, J., & Salvador, F. (1991). The influence of free fatty acid content and degree of saturation on the apparent metabolizable energy value of fats fed to broilers. Poultry Science, 70(3), 573–82.

Xavier, S. A. G. (2005). Farinhas de penas e sangue e de vísceras em diferentes inclusões nas rações de frangos e seus efeitos no desempenho, digestibilidade e morfometrai intestinal. 66p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal). Universidade Federal de Goiás: Goiânia-GO.

Yegani, M., Korver, D. R. (2008). Factors affecting intestinal health in poultry. Poultry Science, 87(10), 2052–2063.

CAPÍTULO 4 – ADIÇÃO DE FARELO DE ARROZ OU FARELO DE TRIGO NA DIETA SOBRE O DESEMPENHO, PESO DE ÓRGÃO E DIGESTIBILIDADE DE NUTRIENTES EM FRANGOS.

Resumo

Objetivou-se avaliar os efeitos do farelo de arroz (FA) e farelo de trigo (FT) com ou sem adição de enzimas (fitase, carboidrase e protease) sobre o desempenho zootécnico, peso de órgãos e digestibilidade dos nutrientes de frangos de cortes criados até 21 dias de idade. Foram realizados dois experimentos com 192 pintos de corte em cada distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial 2x2 (com ou sem FA ou FT x com ou sem enzima) contendo 6 repetições de 8 aves cada. Foram avaliados o desempenho zootécnico, peso relativo dos órgãos, concentração de ácido siálico e digestibilidade dos nutrientes da ração em frangos de corte aos 21 dias de idade. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Houve redução significativa no consumo de ração (CR), ganho de peso (GP) e aumento da conversão alimentar (CA) em todos os períodos avaliados em frangos alimentados com rações contendo 25% de farelo de arroz. A suplementação de enzima melhorou o CR aos 7 dias e GP aos 7 e 21 dias e a CA aos 21 dias. Houve interação entre os fatores para peso de pâncreas aos 7 dias de idade das aves. A inclusão do FA aumentou o peso relativo do intestino delgado (ID) aos 7 e 21 dias de idade, fígado (F) e pâncreas aos 21 dias. A digestibilidade da MS e EB foi afetada pela inclusão de FA ou de enzimas. O CR e a CA foram piores aos 14 dias e o GP reduzido aos 14 e 21 dias de idade nos frangos alimentados com 25% de FT. A digestibilidade da MS, EE e EB foram menores em frangos alimentados com 25% de FT. A inclusão de 25% de FA ou FT não é recomendada em dietas para frangos, já a inclusão das enzimas demonstrou exercer efeitos positivos sobre o desempenho e digestibilidade dos nutrientes em frangos.

Palavras-Chave: Ácido siálico; Co-produtos; Enzimas; Ingredientes; Saúde intestinal

Abstract

The aim of the present study was to evaluate the influence of feeding rice bran (RB) or wheat pollard (WP) on the performance, organ weight, sialic acid content, and diet digestibility of broilers at 21 days of age. Two experiments were performed with one hundred ninety two broilers distributed in a completely randomized design 2x2 factorial design (with or without RB or WP x with or wihtout enzyme). Data were submitted to ANOVA and means were compared by Tukey's test. There was a significant reduction in feed intake (FI), weight gain (WG) and increased feed conversion (FC) in all periods in broilers fed diets containing 25% RB. Enzyme supplementation improved FI at day 7, WG at day 7 and 21, and FC at day 21. There was a significant interaction to pancreas weight at 7 days of age. RB inclusion increased relative weight of small intestine (SI) at 7 and 21 days, liver, and pancreas at day 21. Dry matter (DM) and gross energy (GE) were influenced by RB or enzyme inclusion. FI, WG and CR were decreased by inclusion of 25% of WP, DM, EE and GE were lower in broilers fed 25% of WP. The inclusion of 25% RB or WP is not recommended in broiles diets, however, the inclusion of enzymes shown to have positive effects on performance and nutrient digestibility in broilers.

Key words: by-products; enzymes; intestinal health; feedstuff; sialic acid**.**

1. Introdução

A produção de biocombustíveis a partir de cereais como o milho e o trigo têm resultado na elevação do preço destes grãos no mercado, encarecendo os custos de formulação de dietas para animais monogástricos. O processamento de cereais gera co-produtos os quais podem ser utilizados na alimentação animal como fontes alternativas ao milho. Entretanto, os níveis de inclusão dos co-produtos de cereais como o farelo de arroz (FA) e o farelo de trigo (FT) em dietas para monogástricos são limitados devido a presença de fatores antinutricionais como os polissacarídeos não-amiláceos (PNA) e o fitato. Na Austrália, Nova Zelândia e algumas regiões da Ásia os co-produtos de cereais mais utilizados na alimentação de animais monogástricos são o farelão de trigo (farelo de trigo+rolão) e o farelo de arroz (Choct, 2010).

Por normalmente se tratarem de co-produtos da indústria alimentícia, a composição química e o valor nutritivo do FT e do FA podem variar consideravelmente (Farrell & Martin, 1998), dificultando sua utilização na nutrição humana e destinando-o como ingrediente à alimentação animal. Segundo descrição de Rhodes & Broderick (1989), o farelo de trigo apresenta potencial de utilização na alimentação animal por se tratar de um co-produto composto por 12-18% de proteína, 3-5% de cinzas e 8% de fibra e 65-75% de extrativos não-nitrogenados. É composto por partículas mais finas em relação as do farelo de trigo convencional e contém mais amido, proveniente do endosperma aderente. Já o farelo de arroz, é composto pela presença do pericarpo e/ou película que cobre o grão, parte do gérmen e do endosperma com resíduos de amido e pequenas proporções de casca com granulometria similar a do farelo (Regina, 2010). A composição do FA pode ser completamente diferente, dependendo se o conteúdo lipídico foi mantido ou extraído durante seu processamento. A composição nutricional do farelo de arroz integral é de 13-16% de PB, 14-22% de EE, 8% de FB, 8-10% de cinzas, apresentando a maior concentração de Pt (1,71%) em relação aos demais ingredientes de origem vegetais (Warren & Farrell,1990; Rostagno et al., 2011).

Ambos apresentam concentrações variáveis de fatores antinutricionais, cada qual com suas particularidades. A concentração de PNA no FT pode chegar à 42 g/100g (MS), dos quais grande parte são PNA insolúveis (38 g/100 MS) e uma pequena porção de PNA solúveis (3,2 g/100 MS) (Englyst, 1989). De acordo com Choct (2010) o farelo de trigo apresenta concentrações um pouco menores de PNA insolúveis (34 g/100g MS). No FA de qualidade a concentração de PNA não excede 25%, compostos principalmente por

arabinoxilanas e celulose (Saunders, 1986 citado por Choct, 2010). Além dos PNA, o FA é o ingrediente de origem vegetal com maior concentração de P fítico (≈83%), indisponível para o metabolismo animal, assumindo papel considerável em sua significância nutricional (Farrell & Martin, 1998; Rostagno et al., 2011). Tal característica é atribuída à presença das camadas do endosperma e aleurona que compõem o farelo (Singh, 2008). Outro problema do FA integral é a suceptibilidade do conteúdo lipídico sofrer processos de rancidez hidrolítica e/ou oxidativa, com formação de ácidos graxos livres (AGL) e peróxidos, respectivamente. Warren & Farrell (1990) observaram que após cinco semanas de armazenamento aproximadamente 50% dos triglicerídeos haviam sido hidrolisados em AGL e os níveis de peróxidos aumentado significativamente (>20 meq/kg) no FA integral.

Inúmeras enzimas exógenas vêm sendo utilizadas com o objetivo de elevar o valor nutritivo e destruir os fatores antinutricionais dos cereais e seus co-produtos na alimentação de aves e suínos (Roberts & Choct, 2006; Slominski, 2011). Muitas vezes mais de um tipo de cereal é utilizado na formulação de dietas para aves, sendo que cada qual possui seu perfil nutricional e de fatores antinutricionais. Diante disso, o uso de coquetéis de carboidrases e fitase vêm sendo cada vez a prática mais efetiva na degradação de PNA, biodisponibilidade de P, aminoácidos e energia (Cowieson, 2010; Coppedge et al., 2012; Avila et al., 2012). O impacto de enzimas em dietas para aves sobre a atividade antinutricional dos PNA solúveis na redução dos efeitos destes compostos sobre a digestão e absorção de nutrientes está bem esclarecida. No entanto, não existem evidências conclusivas que carboidrases exógenas sejam capazes de despolimerizar os PNA insolúveis, tais como algumas frações de hemicelulose e celulose, em seus constituintes monoméricos com consequente melhoria do valor nutritivo de dietas ricas em co-produtos de cereais (Choct, 2010).

A substituição parcial de grãos de cereais por seus co-produtos na formulação de dietas para frangos, bem como a utilização de enzimas, podem melhorar o aproveitamento dos nutrientes, e desempenho zooténico, reduzindo custos de formulação e de produção. No entanto, a inclusão de co-produtos deve ser realizada com cuidado e diante do conhecimento da qualidade nutricional e possíveis efeitos dos fatores antinutricionais destes ingredientes sobre a integridade intestinal e desempenho produtivo. Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de dois co-produtos de cereais (farelo de arroz e farelão de trigo) com ou sem adição de enzimas sobre o

desempenho zootécnico, peso de órgãos e digestibilidade dos nutrientes de frangos de cortes criados até 21 dias de idade.

2. Material e Métodos

Os presentes experimentos foram aprovados pelo Comitê de Ética Animal da Universidade de New England e conduzidos de acordo com o Código Australiano de Prática e Cuidado para utilização de animais para fins científicos.

2.1 Delineamento experimental, animais e manejo

Dois experimentos foram realizados para avaliar os efeitos da inclusão do farelo de arroz ou farelão de trigo com ou sem a suplementação de enzimas na dieta de frangos de corte. Para tanto, em cada experimento, 192 pintos de corte, com um dia de idade e peso médio de 42,16 ± 0,45g, foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial 2x2 (nível de inclusão do ingrediente x com ou sem suplementação de enzimas), contendo seis repetições de oito aves cada.

As aves foram alojadas em gaiolas metálicas em duas salas com climatização controlada durante 21 dias. A temperatura foi mantida em 33ºC no dia do alojamento com redução gradual até 24ºC ao 21º dia. O programa de luz adotado foi de 18 horas de luz e 6 horas de escuro, exceto na primeira semana na qual as aves receberam regime de 23 horas de luz e 1 hora de escuro.

2.1.2 Dietas experimentais

As rações experimentais foram formuladas seguindo os níveis nutricionais indicados pelo manual da linhagem Ross 308 (Ross, 2007) (Tabela 1). Os tratamentos no experimento I consistiram na inclusão de 0 ou 25% de farelo de arroz com ou sem adição de enzimas (Avizyme® e Phyzyme®) e no experimento II com inclusão de 0 ou 25% de farelão de trigo com ou sem adição de enzimas (Avizyme® e Phyzyme®). A ração peletizada a frio/triturada e água foram fornecidas à vontade durante todo o período experimental. O *blend* enzimático foi apresentava composição de 1500 U/g endo-1,4-β-xilanase, 2000 U/g α-amilase e 20000 U/g endopeptidase (subtilisina) (Avizyme 1505®; Danisco Animal Nutrition), suplementadas na dieta para fornecer 650, 1650 e 4000 U,

respectivamente. E a fitase utilizada, derivada de *Escherichia coli,* (Phyzyme XP®; Danisco Animal Nutrition, Marlborough, UK) foi suplementada na dieta para fornecer 1000 FTU/kg de dieta.

Tabela 1. Ingredientes e composição química calculada e analisada das rações experimentais.

Ingredientes (g/kg)	Experimento I - Farelo de arroz				Experimento II - Farelo de trigo			
	FA0	FA25	FA0E	FA25E	FT0	FT25	FT0E	FT25E
Milho	507,2	287,3	507,2	287,3	507,8	267,2	507,8	267,2
Farelo de Soja 46%	390,5	247,5	390,5	247,5	390,5	263,1	390,5	263,1
Farelo de Arroz	-	250,0	-	250,0	-	-	-	-
Farelo de trigo	-	-	-	-	-	250,0	-	250,0
Glúten 60%	13,0	88,7	13,0	88,7	13,0	79,5	13,0	79,5
Óleo de Canola	35,0	73,8	35,0	73,8	35,0	86,9	35,0	86,9
Calcário Calcítico	5,4	17,6	5,4	17,6	5,4	6,8	5,4	6,8
Fosfato Bicálcico	30,4	11,6	30,4	11,6	30,4	27,8	30,4	27,8
Sal	5,0	4,8	5,0	4,8	5,0	5,0	5,0	5,0
L-Lisina pó	1,6	4,1	1,6	4,1	1,6	3,7	1,6	3,7
DL-Metionina	2,8	2,1	2,8	2,1	2,8	2,2	2,8	2,2
L-Treonina	0,3	0,7	0,3	0,7	0,3	0,6	0,3	0,6
Cloreto de Colina 70%	1,9	2,2	1,9	2,2	1,9	2,1	1,9	2,1
Dióxido de Titânio	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Avizyme[1]			0,5	0,5			0,5	0,5
Phyzyme[2]			0,1	0,1			0,1	0,1
Premix Vitamínico[3]	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Premix Mineral[4]	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Composição Química Analisada (g/kg na matéria seca)								
Umidade	81,5	85,1	84,5	82,2	81,5	79,9	84,5	88,7
Proteína Bruta	237,3	230,6	238,3	235,9	237,3	242,3	238,3	251,4
Extrato Etéreo	96,8	161,0	79,82	160,3	96,8	143,7	79,82	126,8
Composição Química Calculada (g/kg)								
EM aves (kcal/kg)	3.090	3.090	3.090	3.090	3.090	3.090	3.090	3.090
Cálcio	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7
Pdisp	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
Lisina digestível	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8
Met+cis dig	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9
Metionina dig	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Treonina dig	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7

[1] *Blend* enzimático com composição mínima de 1500 U/g endo-1,4-β- xilanase, 2000 U/g α-amilase e 20000 U/g endopeptidase (subtilisina) (Avizyme 1505®; Danisco Animal Nutrition), suplementadas na dieta para fornecer 650, 1650 e 4000 U, respectivamente.

[2] Fitase derivada a partir de *Escherichia coli* (Phyzyme XP®; Danisco Animal Nutrition, Marlborough, UK), suplementada na dieta para fornecer 1000 FTU/kg de dieta

[3]Suplemento Vitamínico - Garantia por kg de produto vitamina A 12.000 UI; vitamina D3, 3.500 UI; vitamina E (d-α-tocoferol), 44.7 UI; vitamina B12, 0.2 mg; biotina, 0.1 mg; niacina, 50 mg; vitamina K3, 2 mg; ácido pantotênico, 12 mg; ácido fólico, 2 mg; tiamina, 2 mg; riboflavina, 6 mg; piridoxina, 5 mg;

[3]Suplemento Mineral – Garantia por kg de produto: Fe 60 mg, Cu 8 mg, Mn 80 mg, I 1 mg, Se 0.4 mg, Zn 60 mg.

2.1.3 Variáveis analisadas

Desempenho e peso de órgãos

As aves e a ração foram pesadas semanalmente para determinação do consumo de ração (CR), ganho de peso (GP) e índice de conversão alimentar (CA) corrigido para mortalidade em cada um dos períodos. Aos 21 dias de idade, uma ave por repetição foi escolhida aleatoriamente e eutanasiada por deslocamento cervical. O peso corporal e o peso do pró-ventrículo+moela, intestino delgado, fígado e pâncreas foram determinados por pesagem dos tecidos úmidos em balança de precisão (0,001g). O peso da pró-ventrículo+moela e do intestino delgado foi registrado após retirada total do conteúdo ingerido e o fígado pesado juntamente com a vesícula biliar. O peso dos órgãos foram expressos em g/100g de peso vivo.

Ensaio de Digestibilidade

Para o ensaio de digestibilidade da dieta, quatro aves por repetição foram eutanasiadas por deslocamento cervical aos 21 dias de idade. Todo conteúdo ileal (quatro centímetros após o divertículo de Meckel's até quatro centímetros acima da junção íleo-ceco-cólica) foi coletado, homogeneizado e acondicionado em potes plásticos em freezer a -20°C. Para determinação da matéria seca (MS) amostras das dietas e do conteúdo ileal foram secas a 105°C em estufa (Precision Scientific Co., Chicago, IL, USA) durante 24 horas. O conteúdo de nitrogênio das dietas e da digesta foi determinado utilizando o analisador automático LECO® FP-2000 (Leco FP analyzer model 602600; Leco Crop., St Joseph, Michigan, USA), utilizando EDTA como padrão de calibração. O conteúdo de proteína bruta (PB) foi calculado como N (%)*6,25. O extrato etéreo foi determinado pelo método indireto de Soxhlet para extração de gordura. A amostra moída foi pesada e colocada em papel filtro (Nº1 Whatman 185mm) e extraída em clorofórmio por 72 horas. Após a extração, as amostras permaneceram em estufa a 80ºC durante 72 horas. O extrato etéreo foi calculado pela perda de peso das amostras. A energia bruta (EB) foi determinada em bomba calorimétrica (Parr 1261; Parr Instrument Co., Moline, IL, USA), utilizando ácido benzóico como padrão de calibração.

Para determinação dos coeficientes de digestibilidade aparente das dietas foram adicionados 5g/kg de dióxido de titânio (TiO_2) como marcador indigestível. O conteúdo de TiO_2 na dieta e no conteúdo ileal foi determinado segundo a metodologia descrita por Short et al. (1996). Com base nos resultados laboratoriais obtidos, foram calculados os

coeficientes de digestibilidade aparente ileal (CDAi) da matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE) e energia bruta (EB) de acordo com a fórmula:

$$CDA_i = \frac{(NT_d - (NT_i \times FI))}{NT_d} x100$$

$$FI = \frac{TiO_{2dieta}}{TiO_{2excreta}}$$

Onde, NT_d conteúdo de nutrientes da dieta; NT_i é o conteúdo de nutrientes no conteúdo ileal; FI = fator de indigestibilidade.

Para determinação do conteúdo de energia metabolizável da dieta foi realizada coleta parcial das excretas do 18º ao 21º dia de idade das aves, sendo coletadas amostras no início da manhã e ao final da tarde. As excretas foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados e congeladas para posterior análise. As amostras de excretas de cada gaiola foram homogeneizadas e subamostras foram coletadas para determinação da MS e EB. Cada subamostra foi seca, moída e a MS determinada segundo a metodologia da AOAC (2005). A energia bruta (EB) das excretas foi determinada em bomba calorimétrica (Parr Instrument Co., Moline, IL, USA), utilizando ácido benzóico como padrão de calibração. Os valores de energia metabolizável aparente (EMA) foram calculados a partir da seguinte fórmula:

$$EMA(kcal/kg) = EB_{dieta} - (EB_{excreta} \times FI)$$

Ácido siálico

Uma fração do conteúdo ileal foi liofilizada para quantificação da concentração ácido N-acetilneuramínico (ácido siálico) segundo a metodologia descrita por Jourdian et al. (1971).

2.2 Análise Estatística

Os dados coletados foram submetidos à análise de homogeneidade das variâncias (Teste de Bartlett) e normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk). Após verificada a distribuição normal e ausência de dados discrepantes, os dados foram submetidos à análise de variância, e na presença de diferença estatística entre os tratamentos as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando programa Statistix.

3. Resultados e discussão

3.1 Experimento I - Farelo de Arroz

Os resultados para os dados de desempenho zootécnico estão apresentados na tabela 2. Não houve interação entre a inclusão de 25% de farelo de arroz (FA) e as enzimas suplementadas sobre o desempenho zootécnico de frangos de corte em nenhum dos períodos avaliados. A inclusão de 25% de FA influenciou (P<0,05) o consumo de ração (CR), ganho de peso (GP) e a conversão alimentar (CA) de frangos em todos os períodos avaliados. O CR de dietas contendo 25% de FA foi menor (P<0,01) em relação a dieta controle à base de milho e farelo de soja em frangos aos 7, 14 e 21 dias de idade. Em consequência do menor CR, as aves ganharam menos peso (P<0,05) e apresentaram CA significativamente maiores (P<0,05) quando 25% de FA foi adicionado à dieta. A suplementação de um *blend* enzimático (xilanase, amilase e protease) e fitase influenciaram significativamente (P<0, 05) o CR aos 7 dias, o GP aos 7 e 21 dias e a CA aos 21 dias de idade. Tanto o CR de ração quanto o GP foram maiores nos frangos alimentados com dietas contendo suplementação enzimática. A CA alimentar foi significativamente melhor (P<0, 01), ou seja menor, em frangos consumindo dietas com a adição de enzimas.

Tabela 2. Consumo de ração (CR), ganho de peso (GP) e índice de conversão alimentar (CA) de frangos alimentados com dietas contendo farelo de arroz (FA) engordurado com ou sem suplementação enzimática[1].

Item		CR (g)			GP (g)			CA (g/g)		
		Período (dias)								
FA (I)	Enzima (E)	1-7	1-14	1-21	1-7	1-14	1-21	1-7	1-14	1-21
0	-	168	540	1254	168	484	936	0,997	1,116	1,344
25	-	140	461	1067	134	356	717	1,045	1,299	1,494
0	+	173	538	1251	178	496	984	0,972	1,085	1,271
25	+	150	470	1067	143	365	778	1,050	1,293	1,378
EPM		0,003	0,008	0,023	0,004	0,014	0,025	0,014	0,023	0,022
Efeitos Principais										
Ingrediente (I)										
0		171	539	1253	173	490	960	0,985	1,101	1,308
25		145	466	1067	139	360	748	1,047	1,297	1,436
Enzima (E)										
-		154	501	1161	151	420	827	1,021	1,208	1,419
+		162	540	1159	161	430	881	1,011	1,190	1,325
P										
I		**	**	**	**	**	**	*	**	**
E		*	NS	NS	*	NS	*	NS	NS	**
IxE		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

**P<0,01; *P<0,05 NS-não significativo

[1]Avizyme 1505® e Phyzyme XP® (Danisco Animal Nutrition, Marlborough, UK).

Em 1974, Kratzer e colaboradores já haviam verificado que a adição de 20, 40 ou 60% de FA prejudicou significativamente o GP de frangos de corte. Gallinger et al. (2004) observaram que a adição de 10 ou 20% de FA prejudicou o CR e GP de frangos de corte aos 21 dias de idade, sem efeitos sobre a conversão alimentar. Entretanto, uma semana mais tarde os frangos alimentados com dietas contendo os mesmos níveis de FA recuperaram seu desempenho, apresentando CR e GP similares aos animais recebendo a dieta controle, mantendo tais resultados até 40 dias de idade. Farrell (1994), Annison, (1995) e Gallinger et al. (2004) relataram que frangos jovens podem tolerar até 20% de FA para que seu desempenho seja afetado.

No presente estudo foi observado que a inclusão de 25% de FA foi suficiente para reduzir significativamente o desempenho de aves jovens e embora a suplementação de enzimas tenha sido significativa em alguns casos, não foi demonstrado interação entre os fatores. Portanto, não podemos afirmar que a suplementação de enzimas seja mais efetiva em dietas contendo FA do que em dietas contendo milho e soja. Segundo Farrell (1994), a tentativa de melhorar o valor nutritivo do FA por meio da suplementação de enzimas tem apresentado efeitos limitados, sendo necessário encontrar a combinação enzimática adequada.

Em seu estudo Farrell & Martin (1998) avaliaram a inclusão de 0, 20 ou 40% de FA contendo suplementação de um coquetel de enzimas (xilanase, α-amilase, β-glucanase e protease) com ou sem fitase. Os autores verificaram efeitos negativos ($P<0,05$) sobre o CR, GP e CA em dietas contendo 40% de FA em relação a dieta sem inclusão de FA. Farrell & Martin (1998) observaram que a suplementação do coquetel de enzimas demonstrou ter efeitos positivos sobre o desempenho de frangos alimentados com dietas contendo 20% de FA. No entanto, o desempenho em frangos alimentados com dietas contendo 40% de FA foi significativamente reduzido, mesmo em frangos recebendo dietas com a suplementação das enzimas.

Os resultados para os dados de peso de órgãos (g/kg PV) estão apresentados na tabela 3. Houve interação significativa ($P<0,05$) entre a inclusão de 25% de FA e as enzimas suplementadas apenas para peso de pâncreas aos 7 dias de idade. A suplementação de enzimas em dietas contendo 25% de FA proporcionou redução significativa ($P<0,05$) no peso do pâncreas de frangos aos 7 dias de idade. Como efeito da adição de 25% de FA verificou-se diferença significativa ($P<0,05$) para peso relativo (PR) do intestino delgado aos 7 e 21 dias, peso do fígado e do pâncreas aos 21 dias de idade. A presença de FA na dieta resultou no aumento do PR do intestino delgado, fígado e do pâncreas. A suplementação das enzimas afetou significativamente ($P<0,05$) o peso dos órgãos, reduzindo o PR do intestino delgado e fígado aos 21 dias de idade.

Tabela 3. Peso do proventrículo+moela (P+M), intestino delgado (ID), fígado e pâncreas, de frangos alimentados com dietas contendo farelo de arroz (FA) engordurado com ou sem suplementação enzimática[1] (expressos em g/100g peso vivo).

FA (I)	Enzima (E)	P+M	ID	Fígado	Pâncreas	P+M	ID	Fígado	Pâncreas
		Idade							
		7 dias				21 dias			
0	-	4,63	6,15	4,19	0,52[b]	2,35	4,07	3,10	0,28
25	-	4,60	7,30	3,97	0,62[a]	2,37	4,97	3,33	0,29
0	+	4,64	5,68	4,39	0,50[b]	2,13	3,46	3,10	0,24
25	+	4,34	7,80	4,05	0,50[b]	2,37	4,54	2,79	0,30
EPM		0,101	0,220	0,075	0,015	0,048	0,156	0,068	0,007
Efeito Principal									
Ingrediente (I)									
0		4,63	5,91	4,29	0,51	2,24	3,76	2,95	0,26
25		4,47	7,55	4,02	0,56	2,37	4,76	3,22	0,30
Enzima (E)									
-		4,49	6,72	4,08	0,50	2,36	4,52	3,22	0,28
+		4,61	6,74	4,22	0,57	2,25	4,00	2,95	0,27
P									
I		NS	***	NS	**	NS	**	*	*
E		NS	NS	NS	*	NS	*	*	NS
I*E		NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS

***P<0,001;**P<0,01; *P<0,05 NS-não significativo

[1]Avizyme 1505® e Phyzyme XP® (Danisco Animal Nutrition, Marlborough, UK).

Tais resultados estão de acordo com Gallinger et al. (2004) que observaram não haver diferença significativa no peso da moela de aves alimentadas com FA. Já o intestino e o pâncreas de frangos aos 40 dias de idade foram significativamente mais leves nos animais alimentados com a dieta controle em relação aqueles recebendo dietas contendo 40% de FA (Gallinger et al., 2004). O peso pancreático elevado foi associado a presença de inibidores de tripsina, já o peso intestinal pode ter sido influenciado pela alta concentração de fibra no FA, segundo os autores. No entanto, os autores não descrevem no trabalho se o peso do intestino foi dividido em intestino delgado e grosso ou se tais porções foram pesadas em conjunto. Kratzer et al. (1974), verificaram que o fornecimento

de dietas a base de milho ou de FA autoclavado por 15 minutos para frangos resultou em pâncreas mais leves quando comparadas a dieta contendo FA sem processamento, relatando que o processamento pode melhorar o valor nutricional do FA. Sayre et al. (1987), verificaram que aves alimentadas com dietas contendo FA cru apresentaram fígados mais pesados quando comparados as aves alimentadas com dietas contendo FA processado, não encontrando explicação para tais resultados.

Na tabela 4 estão apresentados os resultados para os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) da MS, PB, EE e EB, EMA e concentração de ácido siálico (AS) de frangos aos 21 dias de idade. Não houve intereção entre ingrediente e suplementação enzimática. Verificou-se efeito significativo ($P<0,01$) tanto do ingrediente quanto da suplementação enzimática sobre digestibilidade da MS. A digestibilidade da MS foi superior em dietas sem a inclusão de FA. A adição de enzimas melhorou ($P<0,01$) a digestibilidade da MS da dieta independente do ingrediente utilizado. Não houve influência ($P>0,05$) do FA sobre o CDAPB. No entanto, a suplementação enzimática influenciou positivamente o CDAPB em frangos. O CDAEE, EMA e AS não foram afetadas ($P>0,05$) pelos ingredientes e/ou pela adição de enzimas na dieta. O CDAEB foi afetado ($P<0,05$) de maneira independente pelos fatores da dieta. O maior CDAEB foi verificado na dieta sem inclusão de FA, assim como na dieta com suplementação enzimática.

Tabela 4. Coeficientes de digestibilidade aparente ileal da matéria seca (MS%), proteína bruta (PB%), extrato etéreo (EE%), energia bruta (EB%) e metabolizável aparente (EMA kcal/kg) em alimentados com dietas contendo farelo de arroz (FA) engordurado com ou sem suplementação enzimática[1].

Item		MS	PB	EE	EB	EMA	AS
FA (I)	Enzima (E)	(%)	(%)	(%)	(%)	(kcal/kg)	(mg/kg/dia)
0	-	64,49	78,20	83,70	72,58	3299	2,481
25	-	61,13	75,51	80,57	68,51	3273	2,329
0	+	70,62	81,51	87,01	77,24	3363	2,385
25	+	59,71	79,44	84,81	71,75	3262	2,456
EPM		1,22	0,75	1,15	0,96	26,70	0,03
Efeito Principal							
Ingrediente (I)							
0		67,55	79,86	85,35	74,91	3331	2,433
25		61,65	77,48	82,69	70,13	3267	2,393
Enzima (E)							
-		61,90	76,86	82,13	70,54	3286	2,405
+		67,30	80,48	85,91	74,49	3312	2,421
P							
I		**	NS	NS	**	NS	NS
E		**	*	NS	*	NS	NS
I*E		NS	NS	NS	NS	NS	NS

**P<0,01; *P<0,05 NS-não significativo

[1]Avizyme 1505® e Phyzyme XP® (Danisco Animal Nutrition, Marlborough, UK).

Ao extrair os PNA do farelo de arroz (PNA-FA), Annison (1995) verificaram que a composição destes compostos é feita principalmente por PNA solúveis (635g/kg MS) com baixa concentração de proteína (166 g/kg MS) e amido (141 g/kg MS), porém, as propriedades antinutricionais das arabinoxilanas presentes no FA são diferentes das arabinoxilanas do trigo, a qual resulta em efeitos adversos sobre a digestibilidade dos nutrientes e desempenho produtivos de frangos. Annison (1995), demonstrou que a viscosidade da solução contendo10g/L de PNA extraídos do FA foram expressivamente menores (1,6cP) quando comparada a solução similar feita com arabinoxilanas do trigo

(64cP). A digestibilidade ileal aparente do amido e da proteína foram altas mesmo em dietas contendo concentrações crescentes (0, 20, 40 e 60g/kg MS) dos PNA isolados do FA, não sendo estabelecida relação entre os PNA do FA adicionados à dieta com a digestibilidade destes componentes. Já a EMA foi significativamente maior no tratamento contendo 40g/kg de PNA-FA, seguido do tratamento com 60g/kg e 20g/kg de PNA-FA, sendo os três diferentes do controle que apresentou menor nível ($P<0,05$) de EMA.

A digestibilidade do óleo e aminoácidos do FA é menor em frangos jovens quando comparados a frangos adultos (Farrell, 1994). Warren & Farrell (1991) concluíram que o valor nutricional do farelo de arroz australiano é variável, estando associado com os efeitos deste co-produto sobre a digestibilidade dos nutrientes. Os autores não conseguiram identificar os componentes responsáveis por tal variabilidade, mas afirmaram que as possíveis causas estão relacionadas as proteínas e carboidratos estruturais ou a presença de fitato.

O fitato forma complexos fitato-proteínas, proteína-fitato-proteína e fitato-carboidrato os quais são resistentes a digestão pela enzimas proteolíticas e carboidrase, reduzindo a utilização de proteína e energia da dieta (Singh, 2008; Slominski, 2011). Ainda, a melhoria na digestibilidade da proteína e do amido pode ser atribuída à presença de fitase e carboidrase, liberando as proteínas para que a atividade proteolítica da enzimas endógenas e exógenas entrassem em contato com o substrato (Slominski, 2011; Aftab, 2012). Cowieson & Ravindran (2008), estudaram o efeito da fitase microbiana sobre o fluxo e a composição de proteínas endógenas no íleo terminal de frangos e observaram que a suplementação de fitase (500 unidades/kg dieta) melhorou significativamente a digestibilidade de aminoácidos**.**

As proteínas endógenas podem ser provenientes de secreções digestivas (saliva, bile, secreções gástricas, intestinais e pancreáticas) mucoproteínas e descamação de células epiteliais (Cowieson et al., 2009). O ácido fítico foi considerado por Cowieson et al. (2004), como fator antinutritivo mais irritante para a mucosa. Desta maneira, o aumento na digestibilidade da PB na presença de enzimas pode ser atribuído também a quebra do fitato e redução na agressão da mucosa intestinal e consequente redução na produção de mucina.

Em seu estudo Cowieson et al. (2004) verificaram que a suplementação de fitase em dietas formuladas com níveis reduzidos de Pd melhorou o CDA dos aminoácidos e a metabolizabilidade do N quando comparada com a dieta controle sem adição de enzimas. Selle et al. (2000) e Cowieson et al. (2004) concluíram que as perdas endógenas ou a

digestibilidade da proteína podem ser melhoradas pela suplementção de fitase, resultado consequente da redução das propriedades antinutrivas do ácido fítico. Segundo Singh (2008), a suplementação de fitase pode proporcionar maior retenção de nutrientes, podendo ser utilizada para reduzir os custos de produção, aumentar a digestibilidade dos nutrientes, melhorar o desempenho de frangos e reduzir a poluição ambiental, exercendo impacto positivo sobre a sustentabilidade da produção avícola. De fato foi observada melhoria na digestibilidade da proteína no presente estudo, entretanto, não podemos afirmar que tal melhoria tenha sido causada somente pelo efeito isolado da suplementação de fitase, pois a dieta continha a suplementação de outras enzimas que podem ter contribuído para este resultado.

Outra possibilidade ainda seria a atuação da protease presente no *blend* enzimático. As proteases geralmente são adicionadas às dietas em combinação com outras enzimas para amenizar os efeitos dos fatores antinutricionais, em dietas contendo ingredientes considerados como não viscosos, as proteases são adicionadas em conjunto com a xilanase e amilase (Burrows, 2004). A subtilisina é uma serina-endopeptidase, produzida a partir de espécies de *Bacillus,* que catalisa a hidrólise de peptídeos presentes no farelo de soja, especificamente as de armazenamento (conglicinina e β–conglicinina) e os fatores antinutricionais (inibidores de tripsina, lectinas e proteínas antigênicas (Soto-Salanova et al., 1997 citado por Santos et al., 2006). Embora tenha sido adicionado 25% de FA, as dietas ainda apresentavam altas quantidades de farelo de soja em sua composição, o qual pode ter disponibilizado substrato e, consequentemente melhorado a digestibilidade da PB.

3.2 Experimento II – Farelo de Trigo

Os resultados para os dados de desempenho zootécnico estão apresentados na tabela 5. Não houve interação entre a inclusão de 25% de farelão de trigo (FT) e as enzimas suplementadas sobre o desempenho zootécnico de frangos de corte nos períodos avaliados. O CR foi significativamente maior ($P<0,001$) aos 14 dias de idade dos frangos na dieta sem inclusão de FT. A inclusão de 25% de FT reduziu significativamente o GP ($P<0,05$) aos 14 e 21 dias de idade dos frangos. Aos 14 dias de idade a CA foi superior ($P<0,01$) na dieta controle. A suplementação do *blend* enzimático (xilanase, amilase e protease) e fitase melhorou ($P<0,05$) a CA alimentar em frangos aos 7 dias de idade.

Tabela 5. Consumo de ração (CR), ganho de peso (GP) e índice de conversão alimentar (CA) de frangos alimentados com dietas contendo farelão de trigo (FT) com ou sem suplementação enzimática[1].

Item		CR (g)			GP (g)			CA (g/g)		
		Período (dias)								
FT (I)	Enzima (E)	1-7	1-14	1-21	1-7	1-14	1-21	1-7	1-14	1-21
0	-	168	540	1254	168	484	936	0,997	1,12	1,34
25	-	161	496	1154	159	437	892	0,988	1,14	1,30
0	+	175	538	1251	173	496	985	0,951	1,08	1,27
25	+	169	509	1170	164	457	904	0,960	1,10	1,30
EPM		0,003	0,001	0,006	0,012	0,001	0,006	0,013	0,006	0,005
Efeitos Principais										
Ingrediente (I)										
0		172	539	1253	171	490	960	0,974	1,10	1,31
25		165	502	1162	162	447	898	0,974	1,14	1,30
Enzima (E)										
-		165	518	1204	164	461	945	0,992	1,13	1,32
+		172	523	1211	169	477	914	0,955	1,09	1,29
P										
I		NS	***	NS	NS	***	*	NS	**	NS
E		NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS
IxE		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

***P<0,001; **P<0,01; *P<0,05 NS-não significativo

[1]Avizyme 1505® e Phyzyme XP® (Danisco Animal Nutrition, Marlborough, UK).

Embora na Austrália e Nova Zelândia o farelão e o farelo apresentem nomenclatura e composição nutricional pouco distintas entre si, o farelão utilizado neste experimento apresentou características nutricionais muito próximas as do farelo de trigo brasileiro descrito por Rostagno et al. (2011). Os valores de MS, PB, FB, EE, cinzas e EMA nas Tabelas Brasileiras são de 88,4%, 15,6%, 9,50%, 3,50%, 4,70%, 1795 (kcal/kg), respectivamente, enquanto as análises químicas do farelão de trigo australiano demonstraram valores de MS, PB, FB, EE, cinzas e EMA 87%, 14,4%, 6,1%, 2,57%,

3,90% e 1900 kcal/kg, respectivamente. O perfil de aminoácidos entre o FT australiano analisado e o brasileiro apresentado nas Tabelas Brasileiras foi muito parecido, sendo a maior diferença nutricional entre eles verificada no valor de FB (-3,4%) e EMA (+105 kcal/kg).

Os resultados encontrados no presente estudo não corroboram com os encontrados por Kratzer et al., (1974), que não verificaram diferença significativa no GP de frangos alimentados com dietas contendo a inclusão de 40% de farelo de trigo. Assim como no sorgo, a maior parte da porção total de PNA no FT é composta por PNA insolúveis, 96% e 83%, respectivamente (Avila et al., 2012; Englyst, 1989). Santos et al. (2006), avaliando o fornecimento de dietas com níveis de inclusão de sorgo (0%, 50% e 100%) com adição de um *blend* enzimático, similar ao utilizado neste trabalho, não observaram efeitos significativos sobre o desempenho de frangos aos 21 e 42 dias de idade.

Estudos avaliando os efeitos do FT para frangos são escassos na literatura e embora o conteúdo de PNA do milho seja mais baixo que a do FT, sua contribuição pode ser substancial devido a sua alta taxa de inclusão na ração. Diante disso a inclusão de enzimas possibilita que os efeitos negativos dos PNA sejam minimizados (Cowieson & Adeola, 2005; Aftab, 2012; Yegani & Korver, 2013). Meng & Slominski (2005) relataram que o conteúdo total e de PNAs no milho é de 76,3 e 6,4 mg/g, respectivamente. Já a soja apresenta 136,7mg/g e 13,4 mg/g de conteúdo total e PNAs, respectivamente. Tais características indicam que a viscosidade intestinal não é um problema em dietas à base de milho e farelo de soja, mas assim como no FT, os PNAi desses ingredientes são responsáveis pela retenção física dos nutrientes, prejudicando o acesso das enzimas digestivas à eles.

A redução nos níveis nutricionais em experimentos desenvolvidos com suplementação de enzimas exógenas é uma prática comum nas pesquisas com frangos. Avila et al. (2012), avaliando dietas à base de sorgo/soja contendo suplementação de um *blend* enzimático (endo-β-1,4- xilanase e endo-1,3-(4)β-glucanase) e fitase, não observaram diferenças significativas no peso corporal de frangos aos 21 dias de idade em dietas suplementadas com enzimas, entretanto, a CA foi melhor nas dietas contendo níveis nutricionais reduzidos com enzimas. Já aos 46 dias de idade, os frangos dos tratamentos com redução nos valores nutricionais+enzimas apresentaram peso corporal significativamente maior em relação aos tratamentos com níveis nutricionais usuais ou reduzidos sem a suplementação de enzima, atribuindo os resultados encontrados à liberação de energia

das matrizes da carboidrase e fitase sobre a degração das paredes celulares dos PNA e descomplexação de compostos associados ao fitato.

Coppedge et al. (2012), avaliaram a adição de duas carboidrases (xilanase e β–glucanase) em dietas à base de milho e farelo de soja com níveis nutricionais reduzidos em 133 kcal/kg para energia e 4% para proteína ou somente energia. O desempenho de frangos foi significativamente aumentado pela suplementação de enzima em dietas com níveis nutricionais reduzidos, demonstrando que a utilização de PNAses pode ser utilizada como estratégia de redução de custos de formulação.

Os resultados para os dados de peso de órgãos (g/kg PV) estão apresentados na tabela 6. Não houve interação significativa (P<0,05) entre a inclusão de 25% de FT e as enzimas suplementadas sobre o peso de órgãos de frangos aos 7 e 21 dias de idades. Avaliando a adição de 25% de FT verificou-se diferença significativa (P<0,05) para peso relativo (PR) do fígado aos 7 dias e para o peso do intestino delgado aos 21 dias de idade. Enquanto o fígado apresentou redução significativa no seu PR, o intestino delgado teve seu peso elevado pela adição de FT à dieta. A suplementação das enzimas afetou significativamente (P<0,05) o PR do intestino delgado aos 7 e 21 dias e do pâncreas aos 21 dias de idade. Em ambas as idades o PR do intestino foi menor em dietas contendo suplementação enzimática, bem como o PR do pâncreas.

A suplementação de enzimas exógenas pode resultar no aumento da quandidade de PNA hidrolisados no TGI, fato esse que pode atenuar a função secretória no TGI, justificando a possível redução no tamanho dos órgãos (Wang et al., 2005). Estes autores observaram que a suplementação de níveis crescentes de uma combinação entre xilanase e β-glucanase proporcionaram redução linear no comprimento e no peso relativo do íleo aos 21 e 42 dias de idade de frangos. Aos 21 dias de idade os pesquisadores encontraram correlações negativas entre a suplementação de enzima e o peso do fígado e pâncreas

Os resultados para peso de órgãos encontrados neste estudo estão parcialmente de acordo com os verificados por Santos et al. (2006). Os autores observaram que o peso relativo do proventrículo, fígado, pâncreas e intestino delgado de frangos não foram afetados pela inclusão de sorgo (0%, 50% e 100% em substituição ao milho) com ou sem adição de enzimas. Os pesos relativos do jejuno e íleo de frangos aos 21 dias foram superiores no tratamento contendo suplementação enzimática. Segundo os autores, tais resultados podem ser decorrentes do aumento na altura e densidade dos vilos, proporcionado pela suplementação enzimática. Zou et al., (2013) demosntraram que a

suplementação de PNAses reduziu significativamente a profundidade de criptas na dieta controle (-7,9%) aos 21 dias de idade, com aumento na altura de vilos em 53,7% e 40,4% em dietas com adição de β-mananase ou endoxilanase+β-glucanase, respectivamente, na dieta sem redução dos níveis nutricionais.

Tabela 6. Peso do proventrículo+moela (P+M), intestino delgado (ID), fígado e pâncreas, de frangos alimentados com dietas contendo farelão de trigo (FT) com ou sem suplementação enzimática[1] (expressos em g/100g peso vivo).

		P+M	ID	Fígado	Pâncreas	P+M	ID	Fígado	Pâncreas
FT(I)	Enzima(E)	Idade							
		7 dias				21 dias			
0	-	4,63	6,15	4,19	0,52	2,35	4,07	3,10	0,28
25	-	4,67	5,62	3,91	0,53	2,29	4,52	2,84	0,28
0	+	4,64	5,68	4,39	0,50	2,13	3,46	3,10	0,24
25	+	5,02	6,82	4,01	0,44	2,25	4,22	3,07	0,24
EPM		0,101	0,220	0,075	0,015	0,048	0,156	0,068	0,007
Efeito Principal									
Ingrediente (I)									
0		4,63	5,91	4,29	0,51	2,24	4,30	2,95	0,26
25		4,85	6,22	3,96	0,49	2,27	3,84	2,96	0,26
Enzima (E)									
-		4,65	6,49	4,05	0,52	2,32	3,76	2,93	0,28
+		4,83	5,65	4,20	0,47	2,19	4,37	2,97	0,24
P									
I		NS	NS	*	NS	NS	*	NS	NS
E		NS	**	NS	NS	NS	*	NS	*
I*E		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

**P<0,01; *P<0,05 NS-não significativo

[1]Avizyme 1505® e Phyzyme XP® (Danisco Animal Nutrition, Marlborough, UK).

Na tabela 7 estão apresentados os resultados para os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) da MS, PB, EE e EB, EMA e concentração de ácido siálico (AS) de frangos aos 21 dias de idade. Não houve intereção entre ingrediente e suplementação enzimática. Não foram observadas diferenças significativas (P>0,05) para

o CDAPB, EMA e AS em frangos alimentados com dietas contendo FT. A adição de enzimas não afetou (P>0,05) o CDA, EMA ou AS da digesta. Verificou-se efeito significativo (P<0,01) do FT sobre digestibilidade da MS, a qual foi superior em dietas sem a inclusão de FT. O CDAEB foi afetado (P<0,001) de maneira independente pela presença de FT, sendo significativamente maior na dieta sem inclusão de FT.

Os resultados encontrados neste estudo para CDAPB estão de acordo com os verificados por Yegani & Korver (2013), os quais não verificaram efeitos da suplementação enzimática sobre a digestibilidade da PB em frangos aos 21 dias de idade. Segundo Cowieson (2010), a digestibilidade ileal de aminoácidos segue padrões similares ao da digestibilidade da PB. Tais autores relataram efeitos positivos da suplementação de xilanase+glucanase sobre a digestibilidade de aminoácidos na fase inicial. Wang et al. (2005) verificaram que o CDAPB foi elevado linearmente com a suplementação crescente nos níveis de xilanase e β-glucanase. Já para EMA, não foram verificados efeitos significativos das enzimas em ambos trabalhos.

Em seu estudo Cowieson et al. (2004), demonstraram que a redução na excreção de ácido siálico está correlacionada à redução na excreção de aminoácidos endógenos, que por sua vez apresentam correlação negativa com o aumento na EMA. Pirgozliev et al. (2011) reportaram correlação negativa entre a digestibilidade de treonina e as perdas endógenas de ácido siálico (como indicador de secreção de mucina endógena). Os autores sugerem que o aumento na digestibilidade ileal da treonina pode estar associada de alguma maneira com a redução na produção de mucina resultante da suplementação de enzima exógena. Ainda, os autores demonstraram que a ingestão de fitato aumenta a excreção de aminoácidos endógenos, nitrogênio, minerais e ácido siálico e que a suplementação de fitase reduz a ação do fitato sobre as perdas endógenas. Da mesma forma Pirgozliev et al. (2005) também verificaram redução na secreção de ácido siálico no TGI de frangos alimentados com dietas contendo fitase. Além das perdas endógenas citadas acima, Pirgozliev et al. (2007) observaram correlação negativa significativa entre a EMA da dieta e a concentração de ácido siálico excretado em dietas suplementadas com fitase, sugerindo que a suplementação da enzima influencia a saúde intestinal de frangos.

Zou et al. (2013) demonstraram efeito positivo da suplementação de enzimas sobre a EMA e EMV em dietas à base de milho/farelo de soja. As dietas com redução nos níveis nutricional (CN) apresentaram EMA significativamente mais baixas (-8,1%) e EMV (-6,9%) do que a dieta com níveis nutricionais recomendandos (CP). Já a suplementação

enzimática de endoxilanase e β-glucanase elevou 3,9% e 14,6% a EMA no tratamento CN e CP, respectivamente.

Tejedor et al. (2001), avaliando o efeito da fitase em dietas para frangos à base de milho e soja, verificaram efeitos positivos sobre a digestibilidade ileal da PB, EB e energia digestível, bem como na biodisponibilidade do do Ca e P. Segundo Cowieson (2010), a efetividade de carboidrases em dietas à base de milho e soja para aves ainda não está totalmente esclarecida, ainda mais quando a fitase é adicionada. Outro fator que pode alterar as respostas em estudo com enzimas é a combinação de carboidrases comerciais com proteases. Tal combinação tem sido considerada benéfica por demonstrar que a digestibilidade da proteína pode ser melhorada em dietas com adição de tais complexos enzimáticos (Aftab, 2012).

Tem sido estimado que cerca de 400–450 kcal de energia por kg de dieta deixam de ser digeridos em dietas à base de milho e farelo de soja, resultado da combinação da gordura, proteína e amido que deixam de ser digeridos (Cowieson, 2010). Segundo o autor, tal problema pode ser amenizado pela adição de enzimas exógenas, evidenciando que a combinação entre xilanase e fitase pode aumentar em 120kcal/kg e em até 25% a digestibilidade ileal da energia e dos aminoácidos da fração não digerida, respectivamente. Yegani & Korver (2013) não verificaram efeito da suplementação enzimática sobre a ED em frangos aos 21 dias de idade. Resultados estes que estão de acordo com Olukosi et al., (2007), os quais relataram não haver efeito de uma combinação entre enzimas (xilanase, amilase e protease) sobre a ED em frangos com 21 dias de idade. Já os resultados encontrados por Cowieson (2010), discordam de ambos estudos pois verificaram que a ED da dieta foi elevada pela adição de xilanase+glucanase em frangos aos 21 dias de idade.

Tabela 7. Coeficientes de digestibilidade aparente ileal da matéria seca (MS%), proteína bruta (PB%), extrato etéreo (EE%), energia bruta (EB%) e metabolizável aparente (EMA kcal/kg) em alimentados com dietas contendo farelão de trigo (FT) com ou sem suplementação enzimática[1].

Item		MS	PB	EE	EB	EMA	AS
FT (I)	Enzima(E)	(%)	(%)	(%)	(%)	(kcal/kg)	(mg/kg/dia)
0	-	64,49	78,21	83,70	72,58	3299	2,554
25	-	61,13	77,20	77,73	69,56	3298	2,370
0	+	70,62	81,51	87,01	77,24	3363	2,454
25	+	59,71	78,62	82,63	68,85	3218	2,428
EPM		1,23	0,72	1,21	0,97	29,69	0,46
Efeitos Principais							
Ingrediente (I)							
0		67,55	79,86	85,35	74,91	3331	2,541
25		60,42	77,91	80,18	69,21	3258	2,399
Enzima (E)							
-		62,81	77,70	80,71	71,07	3298	2,462
+		65,16	80,06	84,82	73,05	3291	2,441
P							
I		**	NS	*	***	NS	NS
E		NS	NS	NS	NS	NS	NS
I*E		NS	NS	NS	NS	NS	NS

**P<0,001; **P<0,01; *P<0,05 NS-não significativo

[1]Avizyme 1505® e Phyzyme XP® (Danisco Animal Nutrition, Marlborough, UK).

A maioria da informação científica sobre enzimas exógenas está relacionada a utilização de grãos de cereais altamente viscosos, incluindo trigo e cevada, os quais geralmente possuem grandes quantidades de PNA solúveis (Yegani & Korver, 2013). Entretanto, o farelo de trigo apresenta cerca de 40% de PNA insolúveis e apenas 3% de PNA solúveis. De acordo com Maes et al. (2004), os PNA presentes no FT são compostos basicamente pelas arabinoxilanas (36,5%), seguidas pela celulose (11%), lignina (3-10%) e ácidos urônicos (3-6%).

As carboidrases exógenas atuam principalmente rompendo a parece celular de ingredientes de origem vegetal, reduzindo a viscosidade da dieta e aumentando a digestão e absorção de determinados carboidratos da dieta. Por sua vez, o rompimento da parede celular, composta na sua grande maioria por PNA insolúveis, aumenta o acesso e facilita a ação das demais enzimas exógenas e endógenas sobre seu substrato (Ferket, 1993; Choct & Kocher, 2000; Cowieson & Adeola, 2005; Aftab, 2012).

A complexidade estrutural das fibras e o rompimento da parede celular dos vegetais resulta na exposição de diferentes substratos e abre oportunidade para suplementação de mais de uma enzima exógena para que haja o máximo de despolimerização (Meng & Slominski, 2005; Slominski, 2011). Cowieson (2010) sugere que o sinergismo entre xilanases e glucanases podem degrada a parede celular das estruturas de PNAi de maneira eficiente, resultando em liberação do conteudo celular. Diante deste contexto, o uso de coquetéis de carboidrases (*blends*) vêm sendo a prática mais efetiva na degradação de PNA quando comparada a adição de enzima de maneira isolada (Coppedge et al., 2012; Aftab, 2012).

Entretanto, quando enzimas são adicionadas à dieta de maneira combinada é impossível isolar o efeito de cada enzima, sendo seus efeitos considerados como uso combinado das enzimas nas condições deste experimento. Embora trabalhoso, os efeitos das enzimas podem ser efetivamente mensurados quando níveis crescentes deste aditivo são adicionados à dieta de maneira isolada e misturadas, estabelecendo-se um nível ótimo de suplementação. Cowieson & Adeola (2005) afirmam que quando enzimas são adicionadas como *blend* é importante estar ciente que tais misturas podem proporcionar efeitos complementares ou sinérgicos, mas dificilmente atuam de maneira aditiva.

No presente estudo, a ausência de interação entre a inclusão de FA, FT e enzimas indica que outros estudos devem ser realizados com novas combinações e/ou níveis de enzimas para esclarecer os efeitos complementares entre estes aditivos. Para tanto, experimentos devem ser planejados com delineamentos que permitam identificar os efeitos isolados e/ou combinados das enzimas pesquisadas. Ainda de acordo com Roberts & Choct (2006), o melhor entendimento sobre a especificidade enzima-substrato, microbiota intestinal e atividade do sistema imunológico aumentaria o conhecimento de como as enzimas exógenas podem melhorar o valor nutritivo dos ingredientes em rações para frangos de corte. Outro aspecto levantado por Meng & Slominski (2005) é que muitas vezes apesar da atuação das enzimas baseadas no rompimento da parede celular dos vegetais exercerem

efeitos benéficos sobre o desempenho de frangos, tais efeitos muitas vezes são tão baixos que dificultam sua identificação em experimentos de pequena escala.

Inúmeros artigos que avaliam suplementação enzimática vem sendo vêm sendo publicados a cada ano, porém os resultados encontrados na literatura com relação a suplementação de enzimas exógenas é altamente contraditória. Geralmente a ausência de resultados sobre o desempenho e a digestibilidade em estudos com suplementação enzimática pode ser resultado de uma gama de fatores, dentre estes: atividade da enzima, procedência da enzima (fungo ou bactéria), níveis de inclusão, inclusão de maneira isolada ou conjunta, qualidade nutricional dos ingredientes, forma física da dieta, idade da ave, termoestabilidade, entre outros (Aftab, 2012), sendo a qualidade nutricional da dieta o mais importante dos fatores que influencia a resposta das enzimas (Cowieson, 2010).

4. Conclusões

A inclusão de 25% de farelo de arroz ou farelo de trigo reduz a digestibilidade e energia metabolizável, bem como o desempenho zootécnico em dietas para frangos. A inclusão do complexo enzimático pode melhorar o desempenho zootécnico e digestibilidade dos nutrientes em frangos.

5. Referências Bibliográficas

Aftab, U. (2012). Exogenous carbohydrase in corn-soy diets for broilers. World's Poultry Science Journal, 68(03), 447–464.

Annison, G. (1995). Nutritive activity of soluble rice bran arabinoxylans in broiler diets. British Poultry Science, 36(3), 479–488.

Association of American Feed Control Officials - AAFCO. (2005). Official Publication. Oxford, In, USA.

Avila, E., Arce, J., Soto, C., Rosas, F., Ceccantini, M., McIntyre, D. R. (2012). Evaluation of an enzyme complex containing nonstarch polysaccharide enzymes and phytase on the performance of broilers fed a sorghum and soybean meal diet. The Journal of Applied Poultry Research, 21(2), 279–286.

Burrows, H. (2004). Industrial enzymes. In: Enzymes in industry: productions and applications. (H. Aehle, 2ed) (p. 465). Wiley: The Netherlands.

Choct, M., Kocher, A. (2000). Non-starch carbohydrates: Digestion and its secondary effects in monogastrics. In Proceedings of the Nutrition Society of Australia (pp. 31–38).

Choct, M. (2010). Feed polysaccharides: nutritional roles and effect of enzymes. In: IV Congresso Latino Americano de Nutrição Animal - IV CLANA. Estância de São Pedro, SP, 65-78.

Coppedge, J. R., Oden, L. A., Ratliff, B., Brown, B., Ruch, F., Lee, J. T. (2012). Evaluation of nonstarch polysaccharide-degrading enzymes in broiler diets varying in nutrient and energy levels as measured by broiler performance and processing parameters. The Journal of Applied Poultry Research, 21(2), 226–234.

Cowieson, A. J., Acamovic, T., Bedford, M. R. (2004). The effects of phytase and phytic acid on the loss of endogenous amino acids and minerals from broiler chickens. British Poultry Science, 45(1), 101–108.

Cowieson, A. J., Adeola, O. (2005). Carbohydrases, protease, and phytase have an additive beneficial effect in nutritionally marginal diets for broiler chicks. Poultry Science, 84(12), 1860–1867.

Cowieson, A. J., Ravindran, V. (2008). Effect of exogenous enzymes in maize-based diets varying in nutrient density for young broilers: growth performance and digestibility of energy, minerals and amino acids. British Poultry Science, 49(1), 37–44.

Cowieson, A. J., Bedford, M. R., Selle, P. H., Ravindran, V. (2009). Phytate and microbial phytase: implications for endogenous nitrogen losses and nutrient availability.. World's Poultry Science Journal, 65(03), 401-418.

Cowieson, A. J. (2010). Strategic selection od exogenous enzymes for corn/soy-based poultry diets. Journal of Poultry Science, 47, 1–7.

Englyst, H. (1989). Classification and Measurement of plant polysaccharides. Animal Feed Science and Technology, 23(1-3), 27–42.

Farrel, D.J. (1994). Utilization of rice bran in diets for domestic fowl and ducklings. World's Poultry Science Journal, 50(2),115-131.

Farrel, D.J., Martin, E. A. (1998). Strategies to improve the nutritive value of rice bran in poultry diets. I. The addition of food enzymes to target the non- starch polysaccharide fractions in diets of chickens and ducks gave no response. Strategies to improve the nutritive value of rice. British Poultry Science, 39(4), 549–554.

Ferket, P. R. (1993). Pratical use of feed enzymes for turkeys and broilers. Journal Applied of Poultry Research, 2, 75–81.

Gallinger, C. I., Suárez, D. M., Irazusta, A. (2004). Effects of rice bran inclusion on performance and bone mineralization in broiler chicks. The Journal of Applied Poultry Research, 13, 183–190.

Jourdian, G., Dean, L., Roseman, S. (1971). A periodate-resorcinol method for the quantitative estimation of free siálico acids and their glycosides. The Journal of Biological Chemistry, 246, 430-435.

Kratzer, F., Earl, L., Chiaravanont, C. (1974). Factors influencing the feeding value of rice bran for chickens. *Poultry Science*, *53*, 1795–1800.

Maes, C., Vangeneugden, B., Delcour, J. (2004). Relative activity of two endoxylanases towards water-unextractable arabinoxylans in wheat bran. Journal of Cereal Science, 39(2), 181-186.

Meng, X., Slominski, B. A. (2005). Nutritive values of corn, soybean meal, canola meal, and peas for broiler chickens as affected by a multicarbohydrase preparation of cell wall degrading enzymes. Poultry Science, 84(8), 1242–51.

Olukosi, O. A., Cowienson, A. J., Adeola, O. (2007). Age-related influence of a coktail of xylanase, amylase and protease or phytase individually or in combination in broilers. Poultry Science, 86, 77-86.

Pirgozliev, V. R., Oduguwa, O., Acamovic, T., Bedford, M. R. (2005). Effect of dietary phytase on performance, metabolizable energy and endogenous losses of broiler chickens. In in Proc. 15th Eur. Symp. Poult. Nutr., Balatonfured, Hungary, September 25–29. (pp. 319–321).

Pirgozliev, V., Oduguwa, O., Acamovic, T., Bedford, M. R. (2007). Diets containing Escherichia coli-derived phytase on young chickens and turkeys: effects on performance, metabolizable energy, endogenous secretions, and intestinal morphology. Poultry Science, 86(4), 705–13.

Pirgozliev, V., Bedford, M. R., Acamovic, T., Allim ehr, M. (2011). The effects of supplementary bacterial phytase on dietary true metabolisable energy, nutrient digestibility and endogenous losses in precision fed turkeys. British Poultry Science, 52(2), 214-220.

Regina, R. (2010). Principais ingredientes da nutrição animal. In: Nutrição animal, principais ingredientes e manejo de aves e suínos. (1 ed p. 413). São Paulo-SP, Fundação Cargil.

Rhodes, L., Broderick, A. (1989). Bioconvesion of nitrogen supplemented wheat pollard and bran by filamentous fungi. Biological Wastes, 30, 101-109.

Roberts J. R., Choct, M. (2006). Effects of commercial enzyme preparations on egg and eggshell quality in laying hens. British Poultry Science, 47(4), 501–510.

Ross (2007). Ross 308 broiler: nutrition speficification. (6p.) Scotland, UK. www.aviagen.com.

Rostagno, H. R., Albino, L. F. T., Donzele, J. L., Gomes, P. C., Oliveira, R. F., Lopes, D. C., Euclides, R. F. (2011). Tabelas Brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. (H. S. Rostagno, Ed.) (3 ed., p. 252). Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa.

Santos, M. S. V, Espíndola, G. B., Fuentes, M. F. F., Freitas, E. R., & Carvalho, L. E. (2006). Utilização de complexo enzimático em dietas à base de sorgo-soja para frangos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *3*, 811–817.

Sayre, R. N., Earl, L., Kratzer, F. H., Saunders, R. M. (1987). Nutritional qualities of stabilized and raw rice bran for chicks. Poultry Science, 66(3), 493–499.

Selle, P. H., Ravindran, V., Caldwell, R.A., Bryden, W. L. (2000). Phytate and phytase: consequences for protein utilization. Nutrition Research Reviews, 13, 352-358.

Short, F. J., Gorton, P., Wiseman, J., Boorman, K. N., (1996). Determination of titanium dioxide as an inert marker in chicken digestibility studies. Animal Feed Science and Technology, 59, 215-221.

Singh, P. K. (2008). Significance of phytic acid and supplemental phytase in chicken nutrition: a review. World's Poultry Science Journal, 64(04), 553-580.

Slominski, B. A. (2011). Recent advances in research on enzymes for poultry diets. Poultry Science, 90(9), 2013–2023.

Tejedor, A. A., Albino, L. F. T., Rostagno, H. R., & Vieites, F. M. (2001). Efeito da adição da enzima fitase sobre o desempenho e a digestibilidade ileal de nutrientes. Revista Brasileira de Zootecnia, 30(3), 802–808.

Wang, Z. R., Qiao, S. Y., Lu, W. Q., Li, D. F. (2005). Effects of enzyme supplementation on performance, nutrient digestibility, gastrointestinal morphology, and volatile fatty acid profiles in the hindgut of broilers fed wheat-based diets. Poultry Science, 84(6), 875–81.

Warren, B. E., Farrell, D. J. (1990). The nutritive value of full-fat and defatted Australian rice bran. I. Chemical composition. Animal Feed Science and Technology, 27(3), 219–228.

Warren, B. E., Farrell, D. J. (1991). The nutritive value of full-fat and defatted Australian rice bran. V. The apparent retention of minerals and apparent digestibility of amino acids in chickens and adult cockerels fitted with ileai cannulae. *A*nimal Feed Science and Technology, 34, 323–342.

Yegani, M., & Korver, D. R. (2013). Effects of corn source and exogenous enzymes on growth performance and nutrient digestibility in broiler chickens. Poultry Science, 92(5), 1208–1220.

Zou, J., Zheng, P., Zhang, K., Ding, X., & Bai, S. (2013). Effects of exogenous enzymes and dietary energy on performance and digestive physiology of broilers. Journal of Animal Science and Biotechnology, 4(1), 14.

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os avanços alcançados pelo setor avícola nas últimas décadas se devem em parte aos trabalhos desenvolvidos no campo do melhoramento genético. É impressionante comparar o desempenho zootécnico de frangos de corte da década de 50 com as atuais linhagens comerciais destes animais. Entretanto, atualmente a evolução dos programas de melhoramento genético não avançam a passos largos como o campo da nutrição animal. Tal afirmação pode ser confirmada a partir da busca e visualização das inúmeras pesquisas publicadas anualmente em seções de revistas avícolas avaliando ingredientes, enzimas, ácidos orgânicos, pre e probióticos, processamento de ração, granulometria das partículas, entre outros.

A nutrição animal é uma ciência complexa que engloba e integra conceitos de bioquímica, fisiologia, bromatologia, tecnologia de produção de rações, matemática, formulação de dietas e bom senso. A frase mais difundida nos trabalhos de nutrição de aves é: “mais de 70% dos custos de produção na avicultura podem ser atribuídos a alimentação”, frase que reflete a realidade vivida pelo setor avícola. A elevação nos custos de formulação de rações tem sido consequência do aumento expressivo no preço de mercado dos ingredientes atualmente empregados na produção de biocombustíveis ou na indústria alimentícia.

Diante deste cenário, surge a necessidade e oportunidade de utilização dos co-produtos fabricados a partir do processamento de matérias-primas de outros segmentos da indústria. Para tanto, o conhecimento da qualidade e composição nutricional destas matérias-primas, bem como entender de que maneira a presença de fatores antinutricionais dos ingredientes afetam o animal como um todo, é premissa básica para se obter resultados produtivos satisfatórios e possibilita ao nutricionista utilizar os ingredientes “alternativos” de maneira mais eficiente.

É evidente que a manutenção da saúde do TGI é altamente complexa e depende da integridade e do equilíbrio entre macro e micro-estruturas do intestino, tecido linfóide associado ao intestino e da microbiota intestinal. Todavia, a integridade e equilíbrio dependem grandemente da qualidade da dieta ofertada à ave, pois é a partir desta que o TGI vai realizar os processos de digestão e absorção dos nutrientes. A inclusão de ingredientes de má qualidade ou que contenham concentrações significativas de fatores antinutricionais afetarão negativamente a integridade da mucosa intestinal e saúde animal, fatores esses que influenciam de maneira direta o desempenho zootécnico,

produtividade e bem-estar animal.

A indúsria avícola tem buscado constantemente novos ingredientes que possam reduzir os custos de formulação sem reduzir a saúde e aproveitamento dos nutrientes. Diante disso, o presente estudo buscou contribuir demonstrando de que maneira co-produtos de origem vegetal e animal podem afetar a morfologia intestinal e digestibilidade dos nutrientes. Percebemos por meio dos resultados apresentados no segundo capítulo que o processamento do grão da soja exerce grande influência sobre a morfologia intestinal e pancreática e aproveitamento dos nutrientes das dietas. Os resultados aqui apresentados demonstram evidências claras que tanto a falta de processamento quanto o superprocessamento resultam em efeitos negativos sobre o organismo animal, os quais são reflexo da redução na qualidade nutricional ou presença de fatores antinutricionais no ingrediente. A falta de processamento do grão afetou de maneira negativa a morfologia intestinal e pancreática de aves recebendo dietas contendo soja crua. No outro extremo, o superprocessamento do grão de soja resultou em efeitos negativos sobre o aproveitamento dos nutrientes, possivelmente pela sua indisponibilização ou destruição.

O terceiro capítulo evidenciou que a inclusão do óleo ácido de soja na formulação de rações para frangos de corte foi uma alternativa que não apresentou efeitos negativos sobre a morfologia intestinal ou digestibilidade dos nutrientes. Como único resultado desfavorável ao uso do OAS, atribui-se a contagem superior no número de células caliciformes, que não foi acompanhado pela elevação na concentração de ácido siálico. Outra preocupação levantada pelos poucos trabalhos encontrados na literatura é quanto a qualidade e padrões do OAS. Como se trata de um co-produto do refino de óleo de soja para consumo humano, o controle nos padrões de fabricação muitas vezes é negligenciado, fator esse que reflete na redução de sua qualidade nutricional e valor energético.

A inclusão de farinha de penas (FP), mesmo que em níveis baixos, demonstrou efeitos desfavoráveis sobre a morfologia intestinal e digestibilidade dos nutrientes. Trabalhos utilizando farinha de penas na alimentação de frangos de corte são escassos, não sendo encontrado trabalhos com utilização de FP sobre a morfologia intestinal de frangos. É amplamente difundido na literatura que ingredientes de origem animal com alto teor protéico são altamente suceptíveis a degradação e formação de compostos prejudiciais, dentre estes estão as aminas biogênicas. As aminas biogênicas são produtos resultantes da degradação microbiana de aminoácidos que podem influenciar o metabolismo e saúde animal. Diante dos resultados obtidos, assim como a FP, a inclusão

farelo de trigo não é recomendada em dietas de frangos de corte. Além da redução na altura das vilosidades, a digestibilidade da MS e PB também foram prejudicadas pela inclusão de FT.

No quarto capítulo verificou-se que a inclusão de 25% de FA ou FT reduziu o aproveitamento de nutrientes e o desempenho de frangos aos 21 dias de idade. Já inclusão do *blend* enzimático e fitase demonstrou exercer efeitos positivos sobre o desempenho e digestibilidade dos nutrientes em frangos alimentados com dietas contendo FA, sem efeitos expressivos nos frangos alimentados com dietas com FT. No entanto, a adição de enzimas à dieta de maneira combinada torna impossível associar quais efeitos são decorrentes de cada enzima, sendo os resultados encontrados nas condições deste experimento considerados como uso combinado das enzimas.

O processamento, variedade do vegetal, solo, clima são fatores que podem resultar na variabilidade na composição dos cereais, tanto no que diz respeito ao valor nutricional quanto ao conteúdo de fatores antinutricionais, afetando de maneira direta a digestibilidade da dieta. Esta variabilidade entre ingredientes com a mesma classificação dificulta a comparação entre resultados, principalmente quando outro fator é adicionado as dieta, que no caso do terceiro capítulo foi a adição de enzimas. A comparação entre resultados de trabalhos contendo adição de uma única enzima como fator isolado é complicada, pois tais respostas podem depender de inúmeros outros fatores associados à este aditivo (unidade, fontes, termoestabilidade) e aos demais fatores envolvidos em um experimento (ingredientes, linhagens das aves, manejo, etc). Quando um *blend* de enzimas é avaliado, a interpretação dos resultados se torna ainda mais complexa, pois existem efeitos complementares resultantes da interação entre enzimas. Desta forma, experimentos devem ser planejados com delineamentos que permitam identificar os efeitos isolados e/ou combinados das enzimas pesquisadas.

Ao desenvolver a revisão de literatura e a discussão dos artigos fica claro que a interação entre dieta e microbiota é tão importante quanto a manutenção da estrutura física do TGI. O desequilíbrio da microbiota e/ou crescimento de organismos patogênicos podem ser grandemente influenciados pela dieta, alterando completamente as respostas do hospedeiro e as conclusões de uma pesquisa. Infelizmente, diante do tempo e estrutura disponíveis durante o desenvolvimento desta tese não foi possível a realização de análises que quantificassem ou classificassem a microbiota e sua atividade frente a diferentes ingredientes. A duração do experimento é outro fator importante a ser considerado na interpretação das respostas de estudos. É importante que sejam

realizados experimentos até 42 dias de idade, pois as respostas em animais com 21 dias de idade podem ser completamente diferentes das observadas em animais mais velhos.

Assim como as análises voltadas para microbiota são essenciais na explicação de determinados resultados, a quantificação dos polissacarídeos não-amiláceos e suas frações, tanto nos ingredientes como nas dietas acabadas, são de extrema importância na caracterização da dieta fornecida. Ressaltando que a proporção entre PNA solúveis ou insolúveis alteram completamente as respostas do animal em relação a viscosidade e digestibilidade da dieta, tempo de trânsito, desempenho produtivo e características da microbiota presente no TGI, entre outros.

Aos futuros estudantes de graduação e pós-graduação que trabalharem com linhas de pesquisa com fibras, processamento, digestibilidade e enzimas sugiro que busquem o desenvolvimento de metodologias e protocolos que sejam capazes de mensurar a atividade, desenvolvimento e variedade da microbiota intestinal, bem como a quantificação e classificação de polissacarídeos não-amiláceos e suas diferentes frações.

Já com relação a utilização de enzimas em experimentos de nutrição animal, proponho que sejam realizados delineamentos capazes de identificar os efeitos do uso isolado e/ou combinado das enzimas sobre o metabolismo animal.

Para finalizar, acredito que o ponto importante na contribuição desta tese para os experimentos futuros foi realizada a partir da busca incessante na implementação e ajuste de uma ferramenta que pudesse complementar as análises existentes da linha de pesquisa em saúde intestinal. Assim como todas as demais análises laboratoriais, a análise de ácido siálico demandou paciência, tempo e dinheiro até ser adequada com sucesso às condições estruturais as quais dispomos. Mas hoje podemos dizer como grupo de pesquisa que a análise foi, está sendo e será utilizada em muitos experimentos como ferramenta importante na interpretação de resultados.