

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
CÂMPUS DE BOTUCATU

**NÍVEIS DE INCLUSÃO DE SORGO E ADIÇÃO DE ENZIMAS
EXÓGENAS EM DIETAS PARA FRANGOS DE CORTE**

GUILHERME AGUIAR MATEUS PASQUALI

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Zootecnia como parte dos
requisitos para obtenção do
título de mestre.

Botucatu - SP
Agosto - 2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
CÂMPUS DE BOTUCATU

**NÍVEIS DE INCLUSÃO DE SORGO E ADIÇÃO DE ENZIMAS
EXÓGENAS EM DIETAS PARA FRANGOS DE CORTE**

GUILHERME AGUIAR MATEUS PASQUALI
Zootecnista

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Sartori
Co-orientador: Dr. Vitor Barbosa Fascina

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Zootecnia como parte dos
requisitos para obtenção do
título de Mestre.

Botucatu – SP
Agosto, 2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÊC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO • CAMPUS DE BOTUCATU • UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE • CRB 8/5651

Pasquali, Guilherme Aguiar Mateus.

Níveis de inclusão de sorgo e adição de enzimas exógenas em dietas para frangos de corte / Guilherme Aguiar Mateus Pasquali. - Botucatu, 2014

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia

Orientador: José Roberto Sartori

Coorientador: Vitor Barbosa Fascina

Capes: 50403001

1. Ave - Alimento. 2. Frango de corte. 3. Enzimas digestivas. 4. Sorgo como ração. 5. Dieta em veterinária.

Palavras-chave: Aves; Enzimas; Sorgo.

Não é que a fé mova montanhas, nem que todas as estrelas estejam ao alcance. Para as coisas que não podem ser mudadas resta-nos somente paciência, porém, preferir a derrota prévia à dúvida da vitória é desperdiçar a oportunidade de merecer. Para os erros há perdão; para os fracassos, chance, para os amores impossíveis, tempo. Não deixe que a saudade sufoque, que a rotina acomode, que o medo impeça de tentar. Desconfie do destino e acredite em você. Gaste mais horas realizando que sonhando, fazendo que planejando, vivendo que esperando porque, embora quem quase morre esteja vivo, quem quase vive já morreu.

Sarah Westphal

If you want something you've never had, you must be willing to do something you've never done.

Thomas Jefferson

Ao meu avô Ênio Pasquali (*in memorian*),
que permitiu meus primeiros passos. Muito
obrigado.

DEDICO

Aos meus pais pela educação, apoio e por
terem contribuído imensamente na formação do
meu caráter e minha índole, essenciais para que
eu seguisse o caminho que percorro.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. José Roberto Sartori, pelos ensinamentos, pela oportunidade e confiança durante todo o período em que estive em Botucatu.

Ao meu co-orientador Dr. Vitor Barbosa Fascina, pela parceria, imensa contribuição intelectual e profissional, e por ser um grande exemplo a ser seguido.

Aos meus pais, pelo apoio e contribuição na formação do meu caráter.

A toda equipe do Laboratório de Nutrição de Aves pelo auxílio no desenvolvimento das atividades.

À Hinglidj, pelo apoio e pela atenção nos momentos mais difíceis, pela paciência nos momentos de fúria e por ter se tornado tão especial em tão pouco tempo.

Aos funcionários da fábrica de ração, pelo grande auxílio proporcionado na elaboração das rações experimentais.

À Érika e ao Nilson, pela participação e disponibilidade durante o experimento conduzido na APTA, em Brotas.

À DSM[®], em especial a Rafael Gustavo Hermes, pela disponibilidade, contribuição no desenvolvimento do projeto e fornecimento dos produtos enzimáticos e à Tortuga[®], pela doação dos premixes utilizados nas rações experimentais.

A todos os amigos moradores e ex-moradores da República Domina & Cama.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP – processo nº 2012/18419-5), pela concessão da bolsa de estudos durante o mestrado.

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO I	1
CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	2
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
1.1. Produção de sorgo	4
1.2. Características do grão de sorgo	5
1.2.1. Kafirina	5
1.2.2. Tanino	7
1.2.3. Fitato	10
1.3. Uso de enzimas exógenas em dietas para frangos de corte.....	12
1.3.1. Protease	14
1.3.2. Xilanase.....	17
1.3.3. Fitase	19
2.JUSTIFICATIVA E OBJETIVO	21
3.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21
CAPÍTULO II	35
SUBSTITUIÇÃO DE MILHO POR SORGO E ENZIMAS EXÓGENAS EM DIETAS PARA FRANGOS DE CORTE.....	36
Resumo.....	36
Abstract	37
Introdução	38
Material e métodos.....	40
Resultados	47
Discussão	53
Conclusões	59
Referências.....	59
CAPÍTULO III	65
IMPLICAÇÕES	66

LISTA DE TABELAS

Página

CAPÍTULO I

Tabela 1. Composição bromatológica dos grãos de milho e sorgo.....	3
Tabela 2. Uso de diferentes enzimas exógenas sobre o aproveitamento de energia e nutrientes em dietas à base de sorgo para frangos de corte.....	4

CAPÍTULO II

Tabela 1. Composição centesimal e nutricional calculada das rações pré-inicial e inicial.....	42
Tabela 2. Composição centesimal e nutricional calculada das rações crescimento e final.	43
Tabela 3. Níveis de substituição de milho por sorgo e uso de protease, xilanase e fitase em dietas para frangos de corte sobre o desempenho.	48
Tabela 4. Desdobramento da interação entre nível de sorgo e inclusão de enzimas exógenas sobre o consumo de ração aos 42 dias de idade.	49
Tabela 5. Sorgo e enzimas exógenas sobre a metabolizabilidade de energia e nutrientes da dieta.	50
Tabela 6. Desdobramento da interação entre nível de sorgo e inclusão de enzimas exógenas sobre os coeficientes de metabolizabilidade de matéria seca (CMMS) e energia bruta (CMEB) de 11 a 21 dias.....	51
Tabela 7. Peso relativo de órgãos (g/100g de peso corporal) de frangos alimentados com dietas contendo sorgo em substituição ao milho e enzimas exógenas.	51
Tabela 8. Umidade de cama (%) de frangos de corte alimentados com dietas contendo sorgo em substituição ao milho e enzimas exógenas	52
Tabela 9. Análise econômica do uso de sorgo e enzimas exógenas em dietas para frangos de corte.....	53

LISTA DE FIGURAS

Página

CAPÍTULO I

Figura 1. Estrutura do grão de sorgo: relação entre proteínas e amido.....	7
Figura 2. Complexo entre fitato e proteína.	11
Figura 3. Degradação do fitato (mio-inositol hexafosfato) pela enzima fitase.	19

CAPÍTULO I

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A avicultura brasileira vem se desenvolvendo de forma expressiva nos últimos anos, registrando altos índices de crescimento e produtividade, se destacando no cenário mundial, produzindo cerca de 12,308 milhões de toneladas de carne de frango no ano de 2013. Desta forma, o Brasil manteve-se como o terceiro maior produtor mundial de carne de frango, atrás apenas dos Estados Unidos, que produziram 16,958 milhões, e China, com 13,500 milhões de toneladas. No Brasil, cerca de 68,4% da produção foram destinados ao consumo interno, enquanto 31,6% foram para as exportações. Com um volume total exportado de 3,918 milhões de toneladas, o país manteve sua posição de líder mundial em exportações de carne de frango (UBABEF, 2014).

Apesar do crescimento da avicultura nos últimos anos, a produção brasileira de carne de frango recuou em 2,67% no ano de 2013 (UBABEF, 2014), devido principalmente à redução na oferta de pintainhos, ocasionada pelo menor alojamento de matrizes em 2012 (SINDIRAÇÕES, 2014), devido aos altos custos com ingredientes que compõem a base das rações na avicultura, como milho e soja, prejudicando toda a cadeia produtiva da avicultura de corte (SINDIRAÇÕES, 2013).

Além disso, o preço do milho apresenta grande variação ao longo do ano, sendo maior principalmente nas entressafras, gerando assim oportunidade para intensificação da utilização de ingredientes energéticos alternativos nas dietas das aves, como o sorgo (*Sorghum bicolor*). Os preços médios da saca de 60 kg de milho no início de março de 2013 atingiram mais de R\$ 32,00, enquanto no mês de outubro de 2013 a média chegou a menos de R\$ 24,00 (CEPEA, 2013). O custo da saca de 60 kg de sorgo, entretanto, apresentou valores médios em torno de R\$ 15,00 em agosto de 2013, período de início de colheita, variando até R\$ 18,50 no mês de dezembro, mesmo no estado de São Paulo, que apresenta produção relativamente pequena no cenário nacional (CONAB, 2014), demonstrando que o custo do sorgo é inferior ao do milho mesmo em períodos em que o preço do milho está relativamente baixo.

As semelhanças entre as composições destes dois grãos (Tabela 1) aparentemente tornam viável a substituição de milho por sorgo nas dietas para frangos de corte. Alguns autores consideram que o valor nutricional do sorgo, de modo geral, está em torno de 95% em relação ao milho (SEDGHI et al., 2011).

Tabela 1. Composição bromatológica dos grãos de milho e sorgo para aves

	Milho	Sorgo baixo tanino	Diferença (%)
Energia metabolizável (kcal/kg)	3.381	3.189	-5,7
Proteína bruta (%)	7,88	8,97	13,8
Extrato etéreo (%)	3,65	2,96	-18,9
Amido (%)	62,66	63,24	0,9
Lisina digestível (%)	0,19	0,17	-10,5
Metionina digestível (%)	0,15	0,13	-13,3
Metionina+cistina digestível (%)	0,29	0,26	-10,3
Treonina digestível (%)	0,27	0,25	-7,4

Adaptado de Rostagno et al. (2011).

Mesmo com as pequenas diferenças entre as composições dos grãos, vários trabalhos demonstraram que a substituição do milho por sorgo nas dietas de frangos em até 100% não prejudicou o desempenho das aves (MORAIS et al., 2002; GARCIA et al., 2005; SANTOS et al., 2006; BOZUTTI, 2009; TORRES et al., 2013; TANCHAROENRAT et al., 2014). Ainda assim, alguns estudos apresentaram prejuízo ao desempenho, com queda do ganho de peso nas primeiras semanas com a substituição total de milho por sorgo nas dietas (ROCHA et al., 2008; THOMAS & RAVINDRAN, 2008).

Os efeitos negativos do uso de sorgo nas dietas sobre a produtividade de frangos de corte estão relacionados principalmente à baixa qualidade proteica do grão (DUODU et al., 2003), presença de tanino condensado (BRYDEN et al., 2009a) e fitato (DOHERTY et al., 1982).

Devido às propriedades inerentes ao grão de sorgo que prejudicam sua qualidade nutricional, o uso de enzimas exógenas em dietas à base de sorgo para frangos de corte tem sido bastante avaliado e muitos estudos demonstram diversos benefícios com a inclusão de diferentes enzimas nas dietas que resultam em melhora do aproveitamento de nutrientes e energia (Tabela 2).

Tabela 2. Uso de diferentes enzimas exógenas sobre o aproveitamento de energia e nutrientes em dietas à base de sorgo para frangos de corte

Referência	Enzima	Melhora na digestibilidade
Sultan et al. (2011a)	Protease	Aminoácidos
Liu et al. (2013)		
Sultan et al. (2011b)	Protease	Energia metabolizável aparente (EMA)
Selle et al. (2013)	Protease	Amido
Selle et al. (2010a)	Xilanase	Nitrogênio
Sultan et al. (2010)	Xilanase	EMA
Sultan et al. (2011a)	Xilanase	Amido
Ravindran et al. (1999)	Fitase	Aminoácidos
Sultan et al. (2011a)	Fitase	Proteína e amido
Selle et al. (2012)	Fitase	EMA e aminoácidos

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1. Produção de sorgo

O grão de sorgo é o quinto cereal mais produzido no mundo, registrando produção de 61,560 milhões de toneladas em 2013, apresentando crescimento de 7,4% em relação ao ano anterior. A produção brasileira representou 3,4% do total produzido, com 2,100 milhões de toneladas (USDA, 2014). A produção nacional de sorgo está concentrada na região centro-oeste, principalmente no Estado de Goiás, responsável por cerca de 43% da produção referente ao ano de 2013. A estimativa para 2014 é de que a produção apresente um crescimento entre 9,3% e 9,6%, chegando a cerca de 2,300 milhões de toneladas. A produção de milho, por outro lado, tem expectativa de queda entre 1,4% e 3,1% na safra 2014, que pode acarretar em elevações de preço ainda mais significativas (CONAB, 2013).

Cerca de dois terços da produção mundial de sorgo são utilizados para o consumo humano em países africanos e na Índia. O restante é produzido em países da América do Sul, Austrália e Estados Unidos, e é basicamente utilizado na alimentação animal (BRYDEN et al., 2009a).

Por ser tolerante a solos secos e de baixa fertilidade, o retorno econômico da produção do grão de sorgo é, na maioria das vezes, maior em relação a outros grãos de cereais utilizados na alimentação animal, quando produzidos em regiões de clima seco e quente (BRYDEN et al., 2009a).

1.2. Características do grão de sorgo

As razões para a limitação da utilização do sorgo na alimentação das aves têm sido cada vez mais exploradas e certas características inerentes ao grão são os principais fatores que prejudicam sua qualidade e aproveitamento pelas aves. Sabe-se que o grão de sorgo, diferentemente da maioria dos outros grãos, não apresenta película protetora resistente em seu revestimento, como a palha do milho, por exemplo. Desta maneira, para que a semente de sorgo possa sobreviver ao ataque de insetos, fungos e outros microrganismos, alguns macronutrientes, como amido e proteína, estão altamente compactados dentro das células, revestidas principalmente por celulose e arabinoxilanas (GIDLEY et al., 2011).

Uma das principais limitações do uso de sorgo nas dietas é a baixa qualidade protéica do grão, devido à deficiência em aminoácidos essenciais, baixa solubilidade e interações com o tanino (SASTRY et al., 1986).

A baixa digestibilidade da proteína do sorgo é devido a fatores exógenos, como estrutura do grão, polifenóis, fitato e componentes da parede celular, e a fatores endógenos, como ligações dissulfeto, interações hidrofóbicas e estrutura secundária da proteína (DUODU et al., 2003).

1.2.1. Kafirina

Apesar do nível proteico do sorgo ser superior ao do milho, a maior parte de sua proteína é composta por kafirina, uma proteína de reserva pertencente ao grupo das prolaminas (BELTON et al., 2006). Esta proteína é de baixa digestibilidade por apresentar características como baixa solubilidade, configuração estrutural e desbalanceamento de aminoácidos, principalmente pelo baixo conteúdo de lisina (MOSSE et al., 1988). A concentração de kafirina na proteína do sorgo apresenta grande variabilidade de acordo com o método de análise adotado e principalmente devido ao conteúdo de proteína do grão, variando de 37,5% a 72,9%, em um total de 88 amostras

analisadas por Selle et al. (2010). Entretanto, supõe-se que em média a concentração é de cerca de 54,7% de kafirina, 30,8% de glutelina, 7,5% de albumina e 7,0% de globulina na proteína do sorgo (VIRUPAKSHA & SASTRY, 1968; PAULIS & WALL, 1979; ALI et al., 2009). A variação é explicada pela correlação positiva entre a concentração de proteína e de kafirina no sorgo, demonstrando que elevações do teor de proteína do sorgo elevam a concentração de kafirina no grão, reduzindo o conteúdo de glutelina (TAYLOR et al., 1984).

A kafirina é classificada ainda em α -kafirina (82% da kafirina), β -kafirina (7,5% da kafirina) e γ -kafirina (10,5% da kafirina), de acordo com sua solubilidade e seu peso molecular (CHAMBA et al., 2005; MESA-STONESTREET et al., 2010). O perfil aminoacídico das kafirinas não é favorável à exigência das aves, principalmente por apresentar baixos teores de lisina e metionina, com exceção a β -kafirina, que apresenta dez vezes mais metionina do que a α -kafirina (SHULL et al., 1992). Desta forma, o sorgo apresenta perfil de aminoácidos longe do perfil ideal para atender às exigências de aminoácidos das aves (FARIA FILHO et al., 2005).

As moléculas de kafirina estão presentes no endosperma, sendo armazenadas como proteína de reserva do grão, e associadas aos grânulos de amido. Este complexo formado por proteína-amido está interligado à matriz protéica da glutelina (Figura 1). A forte ligação formada por estes três componentes prejudica a degradação do amido devido a interações físicas e químicas (DUODU et al., 2003). Além disso, as moléculas de β -kafirina e γ -kafirina, que possuem inúmeras ligações dissulfeto, formam camadas que envolvem o núcleo central das moléculas de α -kafirina, prejudicando sua digestão devido à formação de uma proteína insolúvel (BELTON et al., 2006). A molécula de γ -kafirina, por exemplo, pode ser resistente à degradação pela pepsina por mais de três horas em avaliações *in vitro* (WONG et al., 2010). Estudos demonstraram que o tanino se liga rapidamente à molécula de γ -kafirina, devido ao alto conteúdo de prolina em sua cadeia, formando complexos proteína-tanino, dificultando ainda mais a digestão protéica da kafirina (TAYLOR et al., 2007).

Desta forma, as kafirinas têm grande influência sobre a digestibilidade do amido, apresentando correlação negativa com a energia metabolizável aparente, com impacto negativo considerado maior que o do tanino, considerando-se a digestibilidade do amido (ELKIN et al., 1996).

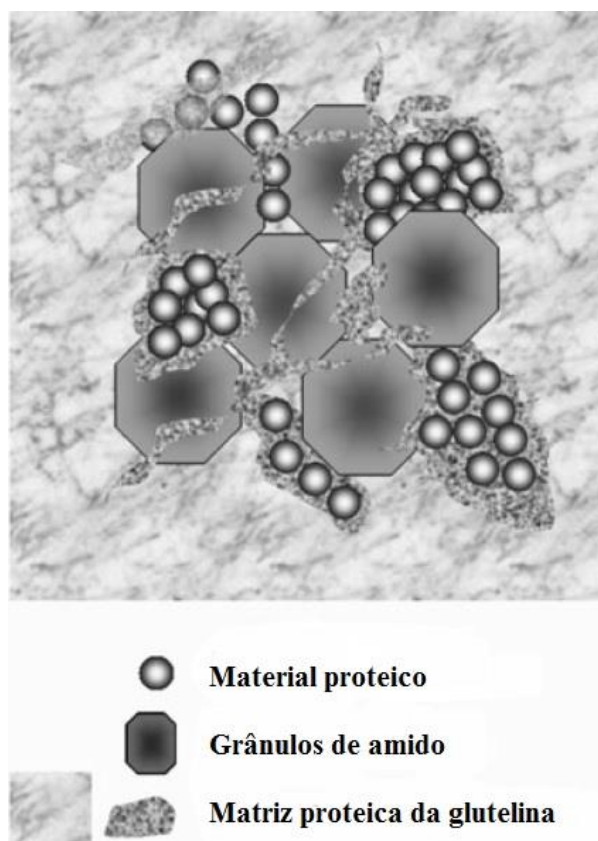


Figura 1. Estrutura do grão de sorgo: relação entre proteínas e amido (adaptado de MESA-STONESTREET et al., 2010).

1.2.2. Tanino

O grão de sorgo possui tanino em seu pericarpo, substância capaz de formar complexos com proteínas da dieta e precipitá-las, reduzindo assim sua disponibilidade para as aves. O tanino faz parte do grupo de compostos polifenólicos, moléculas que possuem anéis enzimáticos com grupos hidroxilas, capazes de formar ligações com proteínas e outras macromoléculas. O sorgo é o único cereal capaz de produzir grandes quantidades de tanino condensado (BRYDEN et al., 2009a), enquanto milho, trigo e cevada apresentam quantidade de tanino irrelevante para a nutrição animal (BRAVO, 1998).

Os taninos condensados são oligômeros ou polímeros formados por flavonóides ligados por átomos de carbono resistentes à hidrólise. Normalmente, a ligação entre tanino e proteína é feita pela interação entre átomos de hidrogênio, quando o tanino condensado doa um átomo de hidrogênio ao grupo carboxila das proteínas, tornando-se hidrofóbico e, portanto não hidrolisável. Esta ligação pode ser favorecida por altas

temperaturas e uma maior relação entre tanino e proteína, elevando a capacidade hidrofóbica deste complexo nestas condições (HAGERMAN et al., 1998). A formação do complexo proteína-tanino também é favorecida pela presença de proteínas com alto peso molecular e com altos conteúdos de prolina e pelo pH referente ao ponto isoelétrico de várias proteínas presentes no grão, isto é, o pH em que a proteína apresenta carga elétrica igual a zero, que é próximo de 5,5 (HAGERMAN & BUTLER, 1978; ASQUITH & BUTLER, 1986).

Os taninos condensados podem formar complexos com carboidratos e proteínas por meio de pontes de hidrogênio, tornando-se insolúveis e estáveis na faixa de pH entre 3,5 e 7,0, liberando as moléculas de proteína apenas em pH menor que 3,0 ou maior que 8,0 (JONES & MANGAN, 1977). Sabe-se que uma molécula de tanino pode precipitar até 12 vezes o seu peso em proteínas (JANSMAN, 1993). Dessa forma, é possível que algumas enzimas endógenas do trato digestivo sejam complexadas com o tanino, resultando assim em menor atividade enzimática no intestino delgado. Assim, frangos de corte alimentados com dietas à base de sorgo podem ter suas atividades enzimáticas de amilase e tripsina no intestino delgado reduzidas, contribuindo para queda de desempenho das aves (NYAMAMBI et al., 2000). Diante disso, novos cultivares de sorgo com baixos teores de tanino foram desenvolvidas e atualmente predominam no Brasil (GARCIA et al., 2005). Entretanto, sabe-se que mesmo com a utilização de sorgo de baixo tanino em dietas de aves, pode ocorrer grande variação de digestibilidade de nutrientes e energia metabolizável (ELKIN et al., 1996).

A determinação do conteúdo de compostos fenólicos, como o tanino, em grãos de sorgo é difícil, uma vez que diferentes metodologias de avaliação podem apresentar resultados variáveis para o conteúdo de tanino no sorgo, pois os métodos adotados analisam diferentes componentes do complexo fenólico (HAGERMAN et al., 1997).

A presença de taninos condensados no sorgo depende da expressão de um par de genes (HAGERMAN et al., 1997). Desta forma, o sorgo pode apresentar ou não taninos em sua composição, sendo que apenas cultivares que apresentam testa pigmentada, tecido localizado abaixo do pericarpo, contêm tanino em sua composição. A presença dos compostos fenólicos modifica a pigmentação do pericarpo e da testa do grão, pois são controlados por cinco pares de genes dominantes. Assim, é possível estimar o conteúdo de compostos fenólicos no sorgo por meio de métodos colorimétricos.

Entretanto, os resultados são bastante variáveis entre as metodologias adotadas. Com isso, recentemente tem sido desenvolvido um método de análise por imagens, com o objetivo de correlacionar as intensidades de certos parâmetros como teor de luminosidade (L^*), teor de vermelho (a^*) e teor de amarelo (b^*) com o conteúdo de tanino no grão de sorgo, porém, ainda são necessárias análises de mais cultivares de sorgo de forma a estabelecer com precisão a relação entre os parâmetros cor e tanino (SEDGHI et al., 2012).

O sorgo pode ainda ser dividido em três categorias, de acordo com seu genótipo, conforme descrito por Asquith et al. (1983), sendo o tipo I os grãos sem conteúdo de tanino e sem testa pigmentada; tipo II os que apresentam testa pigmentada com presença de taninos condensados; e os que se enquadram no tipo III possuem taninos tanto na testa como no pericarpo. Os teores de tanino condensado nas diferentes categorias de sorgo estão entre: tipo I, de zero a 0,18%; tipo II, de 0,64% a 1,55%; e tipo III, de 1,10% a 5,63%, de acordo com dados compilados por Dykes & Rooney (2006). De acordo com Pour-reza & Edriss (1997), grãos de sorgo contendo até 0,10% de tanino podem substituir o milho em dietas para frangos de corte sem prejudicar o desempenho.

O conteúdo de tanino no sorgo pode estar relacionado com a composição aminoácida do grão, isto é, grãos com maior conteúdo de tanino podem apresentar menor valor nutricional devido a alterações no perfil de aminoácidos do grão. Os níveis de tanino no grão também afetam a disponibilidade de aminoácidos para as aves. De modo geral, considerando-se todos os aminoácidos, o uso de sorgo com 0,19% de tanino em rações para aves, em comparação a um sorgo com 0,09% de tanino, pode reduzir a disponibilidade em até 10%, enquanto o sorgo com 0,37% de tanino diminui drasticamente a disponibilidade, chegando a 50% de redução. A lisina, aminoácido limitante para frangos de corte, apresenta redução de cerca de 18% com uso de dietas contendo sorgo com 0,19% (EBADI et al., 2005). A metionina, o primeiro aminoácido limitante para aves, tem grande afinidade por tanino, e por isso, tem sua excreção mais elevada quando há presença de tanino na dieta, quando comparada a outros aminoácidos (MANSOORI & ACAMOVIC, 2007). Com a menor disponibilidade dos aminoácidos, o desempenho pode ser prejudicado principalmente nas duas primeiras semanas de vida dos frangos (ODUHO & BAKER, 2005).

1.2.3. Fitato

Fitato é o nome mais comum dado à substância que ocorre naturalmente nos vegetais, porém três terminologias são comumente utilizadas: 1) fitato, sal misto de ácido fítico; 2) fitina, forma que se apresenta nas plantas, armazenado na forma de complexo entre ácido fítico e potássio, magnésio e cálcio; e 3) ácido fítico, forma livre (SELLE & RAVINDRAN, 2007).

O ácido fítico (mio-inositol hexafosfato), um composto que possui propriedades antinutritivas, está presente em todos os alimentos de origem vegetal e possui capacidade de reduzir a biodisponibilidade de fósforo, cálcio, zinco e ferro (SELLE et al., 2003). O fósforo presente nos grãos é o principal mineral quelatado pelo fitato, apresentando-se entre 81% e 83% na forma do complexo fósforo-fitato em amostras de sorgo (DOHERTY et al., 1982; SELLE et al., 2003), sendo considerado o cereal com maiores concentrações de fitato em valores absolutos e relativos (SELLE et al., 2010b). Em um compilado de estudos realizados nos últimos quarenta anos, Selle & Ravindran (2007) verificaram que a proporção de fósforo ligado ao fitato em relação ao conteúdo total de fósforo foi em média de 72,6% no sorgo e 71,6% no milho. O fósforo total do grão está parcialmente disponível, cerca de um terço, aos animais monogástricos devido a sua incapacidade em hidrolisar o fitato (BRYDEN et al., 2009a). Apesar de produzir fitase endógena (KORNEGAY, 2001), a utilização do fósforo fítico pelos monogástricos é desprezível devido à baixa solubilidade do fitato no intestino delgado, que dificulta a atuação das enzimas produzidas pelos animais (ADEOLA & COWIESON, 2011). O conteúdo de fitato nos grãos pode variar de acordo com a variedade do ingrediente utilizado e a época de colheita (STEINER et al., 2007).

Com a redução do aproveitamento de fósforo pelos animais, ocorre maior excreção deste mineral, contribuindo para aumento nos níveis de poluição ambiental. Além disso, o desperdício de fósforo ocasionado pela formação do complexo fósforo-fitato pode comprometer a rentabilidade econômica da produção, devido à elevação do custo de produção pelo uso de ingredientes contendo fontes de fósforo inorgânico, já que o fósforo é considerado o terceiro nutriente mais caro em dietas para aves (WOYENGO & NYACHOTI, 2011).

A carga negativa do ácido fítico possibilita sua interação com substâncias carregadas positivamente como cátions, carboidratos de baixo peso molecular e

proteínas em pH abaixo do seu ponto isoelétrico (SELLE, 2000). Quando a molécula do fitato chega ao intestino delgado, torna-se solúvel devido ao baixo pH, permitindo a interação com outras moléculas, como algumas proteínas que estão abaixo do seu ponto isoelétrico devido ao pH baixo, tornando-se carregadas positivamente (Figura 2). No entanto, alguns estudos indicam que esta ligação não é feita diretamente entre proteína e fitato, e sim por meio de cátions bivalentes (MAENZ, 2001; ADEOLA & SANDS, 2003). Estudos recentes demonstram que a redução da digestão protéica causada pelo fitato também está relacionada à ligação formada por enzimas proteolíticas endógenas e fitato no trato digestivo das aves (COWIESON et al., 2006; SELLE et al., 2006). Acredita-se que um grama de fitato possa precipitar até 10 gramas de proteína, porém esta relação depende de fatores como concentração de fitato e cálcio na dieta, pH e características físico-químicas da proteína (COWIESON et al., 2009).

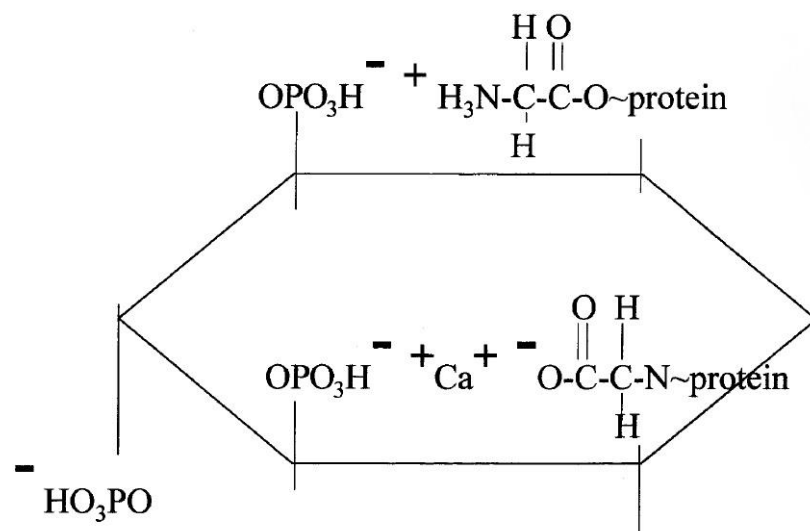


Figura 2. Complexo entre fitato e proteína (adaptado de SELLE et al., 2000).

O fitato também pode estar relacionado com a redução do aproveitamento de energia das dietas por formar complexos com enzimas digestivas e até minerais que têm função de cofator em algumas enzimas envolvidas na digestão de nutrientes com alto teor energético (SELLE & RAVINDRAN, 2007).

Recentemente, estudos têm demonstrado que a molécula de fitato não atua apenas como um fator antinutricional no trato digestivo das aves, mas também promove efeitos negativos em termos fisiológicos. O fitato proveniente da dieta pode se ligar à

pepsina presente no proventrículo das aves, formando um complexo pepsina-fitato no trato digestivo, que resulta em hipersecreção de ácido clorídrico e pepsina, porém, reduzindo a atividade de pepsina no proventrículo devido à ligação com o fitato (LIU et al., 2008a). Desta forma, quando a digesta chega ao intestino delgado, o pH está reduzido devido à hipersecreção do ácido clorídrico. Este quadro prejudica a digestão e absorção de proteínas e aminoácidos, já que o baixo pH reduz a atividade das enzimas pancreáticas e da borda em escova. Como resposta fisiológica do organismo, o trato gastrointestinal passa a secretar maiores quantidades de mucina e bicarbonato de sódio no lúmen intestinal, elevando a secreção de aminoácidos endógenos e de sódio, respectivamente. Assim, ocorrem maiores perdas endógenas de aminoácidos que poderiam ser aproveitados pela ave, além de redução da atividade de transporte de nutrientes que dependem da bomba Na-K-ATPase, como peptídeos e glicose (LIU et al., 2008a; COWIESON et al., 2009).

Com isso, muitos estudos demonstraram que o fitato é capaz de prejudicar o desempenho das aves, sendo que pequenas concentrações de ácido fítico na dieta são suficientes para reduzir o ganho de peso (LIU et al., 2008b) e a digestibilidade ileal de vários aminoácidos (LIAO et al., 2005).

1.3. Uso de enzimas exógenas em dietas para frangos de corte

Considerando que os principais fatores que limitam o aproveitamento máximo dos nutrientes do sorgo em dietas para aves estão relacionados principalmente a características inerentes ao grão, surge a necessidade do uso de ferramentas que possam atenuar os efeitos negativos provocados pelas propriedades do grão.

O sorgo pode substituir em totalidade o milho nas dietas para frangos de corte, mesmo com suas limitações, sem prejudicar o desempenho e com isso o uso de aditivos zootécnicos, como as enzimas exógenas (MAPA, 2004), pode ser explorado na alimentação das aves com a finalidade de maximizar o desempenho, evitando que as propriedades inerentes ao grão de sorgo impeçam a produtividade máxima das aves.

Dentre todos os aditivos zootécnicos utilizados na nutrição de aves e suínos, as enzimas exógenas foram os que mais apresentaram avanços nos últimos 10 anos. Estima-se que a utilização de enzimas nas rações reduza os custos das rações em cerca de 3 a 5 bilhões de dólares por ano às indústrias. Este mercado é amplamente dominado

pela fitase, que representa cerca de 60% da comercialização total de produtos enzimáticos, seguida das carboidrases (30%) e demais enzimas (10%), como as proteases. As carboidrases mais utilizadas são xilanases e celulasas, porém enzimas como amilase, pectinase, entre outras, também são utilizadas nas rações (ADEOLA & COWIESON, 2011).

As enzimas exógenas são produzidas a partir da fermentação de microrganismos como bactérias e fungos geneticamente modificados, principalmente dos gêneros *Bacillus* e *Aspergillus*, respectivamente. Os microrganismos são alterados para produzir entre 50 e 100 gramas de proteína ativa por litro de líquido fermentativo. As proteínas são então purificadas e resíduos indesejáveis são removidos do conteúdo produzido (ADEOLA & COWIESON, 2011).

As respostas ao uso de enzimas como carboidrases e proteases em dietas para aves são pouco consolidadas quando comparadas com a utilização da fitase, que apresenta diversos efeitos positivos e respostas bastante conclusivas, principalmente em dietas à base de milho e farelo de soja. A ausência de benefícios ao uso de enzimas exógenas, ou complexos enzimáticos, ou mesmo a inconsistência dos resultados, pode ser causada por fatores como valorização nutricional incorreta da enzima utilizada e principalmente pela qualidade e composição dos ingredientes utilizados na dieta (BAO et al., 2013).

Conhecer o substrato de atuação das enzimas é fundamental para que a atuação seja máxima, sendo, portanto, importante que se tenha conhecimento a respeito da composição dos ingredientes utilizados na ração, de modo que haja substrato disponível para a atuação da enzima exógena específica adicionada à dieta, de forma a maximizar seu aproveitamento e evidenciar seu benefício (BAO et al., 2013).

Considera-se que o uso das enzimas exógenas nas dietas apresenta diversas funções, entre elas: complementação de enzimas endógenas produzidas pelas aves, como proteases, amilase e lipase, que em frangos de corte podem apresentar atividade limitada devido à imaturidade do trato digestivo (SAKOMURA et al., 2004; MORAES et al., 2009); hidrólise de ligações químicas específicas que não são suficientemente degradadas por enzimas endógenas, como moléculas de ácido fítico, por exemplo; rompimento e degradação de polissacarídeos estruturais componentes da parede celular, melhorando a disponibilidade de nutrientes como aminoácidos, minerais e amido;

eficiente degradação de fatores antinutricionais presentes nos ingredientes que compõem as dietas, como inibidores de tripsina, fitato e polissacarídeos não amiláceos (PNAs) solúveis; melhor aproveitamento de energia via fermentação nos cecos, devido à solubilização de PNAs insolúveis (KIARIE et al., 2013).

Com o avanço no desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao uso de enzimas exógenas na alimentação de aves, muitos nutricionistas têm adotado o uso de dietas à base de milho e farelo de soja com níveis nutricionais e energéticos reduzidos, de forma a diminuir o custo das rações, mantendo-se o desempenho das aves semelhantes aos de uma dieta padrão (COWIESON et al., 2010; BARBOSA et al., 2012; KARIMI et al., 2013). Desta forma, as rações são formuladas considerando-se uma valorização nutricional das enzimas. Porém, sabe-se que o uso de enzimas exógenas pode apresentar efeitos variados em diferentes ingredientes (WU et al., 2004; SHAKOURI et al., 2009). Em relação ao sorgo, existem poucos estudos disponíveis na literatura que mostram os efeitos do uso de enzimas exógenas em dietas com níveis nutricionais adequados, sendo necessárias mais avaliações para que futuramente possa se estabelecer uma matriz nutricional relativa às enzimas utilizadas.

1.3.1. Protease

Proteases são enzimas digestivas que degradam proteínas e podem ser utilizadas de forma exógena na nutrição animal, permitindo a degradação de proteínas de reserva e de fatores antinutricionais inibidores de enzimas. De forma natural, os animais monogástricos produzem algumas proteases de forma endógena, como pepsina, tripsina, quimotripsina e carboxipeptidases (GLITSØ et al., 2012). Porém, como parte da proteína proveniente da dieta não é aproveitada, acaba sendo excretada devido a diversos fatores, entre eles, taxa de passagem da digesta, idade do animal, composição da dieta e qualidade dos ingredientes, grau de moagem da ração, entre outros. Desta forma, o uso de proteases na nutrição animal pode ser viável com o objetivo de melhorar a utilização da proteína da dieta. Além disso, as exigências nutricionais das aves têm sido cada vez maiores devido ao melhoramento genético, que reflete em maior deposição muscular e, conseqüentemente, eleva a exigência de aminoácidos (ADEOLA & COWIESON, 2011).

As proteases podem ser classificadas de acordo com o tipo de reação catalisada, a natureza química da porção catalítica de sua cadeia química, entre outros, sendo divididas em exopeptidases e endopeptidases. As exopeptidases atuam na quebra das ligações peptídicas próximas aos grupos amino ou carboxílico terminal da proteína, enquanto as endopeptidases promovem a lise de ligações distantes dos grupos amino ou carboxílico terminais (RAO et al., 1998).

O uso de protease como aditivo na alimentação animal se iniciou entre os anos de 1950 e 1960, e atualmente ainda não foi explorado de forma extensiva como a fitase. Além disso, na maioria dos estudos com enzimas, a protease é avaliada como parte de misturas enzimáticas ou complexos enzimáticos provenientes da fermentação feita por diferentes microrganismos, dificultando uma avaliação precisa e confiável dos efeitos causados pelo uso desta enzima em dietas para animais. Isso se deve à falta de uma protease monocomponente específica para a indústria de alimentação animal, que foi desenvolvida e inserida ao mercado em 2008, produzida pelo microrganismo *Bacillus licheniformis* (GLITSØ et al., 2012). Com a inclusão de novos produtos à base de protease monocomponente na indústria, um novo perfil enzimático foi estabelecido, e a partir de então novos mecanismos de ação tem sido propostos (ADEOLA & COWIESON, 2011).

O uso de protease proveniente de *Bacillus licheniformis* complementa a ação de enzimas digestivas endógenas das aves, como pepsina e proteases produzidas pelo pâncreas, aumentando a solubilização de proteínas de diversos ingredientes que compõem a dieta, como milho e sorgo (SMITH, 2011).

As proteases produzidas por *Bacillus licheniformis* são classificadas como serina proteases, enzimas que atuam sobre as ligações peptídicas das proteínas e possuem resíduo do aminoácido serina em seu sítio ativo. As serina proteases são altamente eficientes na hidrólise de peptídeos e abrangem outras classes de enzimas específicas extremamente diversificadas como tripsina, quimotripsina e subtilisina, por exemplo (HEDSTROM, 2002).

A atividade das proteases exógenas é definida por unidades de protease (PROT), sendo que um PROT corresponde à quantidade da enzima que libera um mmol de p-nitroanilina a partir de um mM de substrato (Suc-Ala-Ala-Pro-Phe-pNA) por minuto em pH igual a 9,0 à 37° C (GLITSØ et al., 2012).

Estudos *in vitro* com uso de protease exógena produzida por *Bacillus licheniformis* demonstram que parâmetros como grau de hidrólise, solubilidade e digestibilidade da proteína bruta são melhorados com a inclusão desta protease em solução contendo pepsina e enzimas pancreáticas. Estes efeitos são confirmados pelo uso de protease *on top* (15.000 PROT/kg de ração), ou seja, sem considerar a valorização da matriz nutricional do produto enzimático, em dietas para frangos de corte à base de milho e farelo de soja, melhorando parâmetros de digestibilidade e desempenho das aves, principalmente nas duas primeiras semanas de vida (FRU-NJI et al., 2011). O uso de 15.000 PROT/kg desta protease em dietas com conteúdo proteico reduzido melhora os parâmetros de desempenho de frangos de corte, se assemelhando ao de aves alimentadas com dieta padrão, isto é, sem redução nutricional, devido a maior digestibilidade de aminoácidos (ANGEL et al., 2011). De acordo com estudos desenvolvidos por Freitas et al. (2011), os efeitos de uma protease exógena (15.000 PROT/kg de ração) produzida por *Bacillus licheniformis* sobre a digestibilidade de proteína e gordura são mais expressivos em dietas com alto teor de proteína.

Os impactos ambientais decorrentes da produção de frangos de corte podem ser reduzidos com a inclusão de 15.000 PROT/kg de protease produzida por *Bacillus licheniformis* na ração, demonstrando que diversos benefícios são encontrados, principalmente em relação à redução na emissão de amônia, mesmo com o uso *on top* da enzima, apesar deste efeito ser mais pronunciado quando se faz a valorização nutricional do produto enzimático nas dietas (OXENBOLL et al., 2011).

Devido à baixa qualidade protéica do sorgo, a digestibilidade dos aminoácidos é menor em comparação ao milho (BRYDEN et al., 2009b), principalmente de aminoácidos essenciais como metionina, lisina, arginina e histidina (KAMISOYAMA et al., 2011), o que indica que a resposta positiva ao uso de proteases em dietas à base de sorgo possa ser mais expressiva em relação a dietas à base de milho. A inclusão de protease em dietas à base de sorgo melhora o desempenho das aves e existem indícios de que esta enzima exógena possui um *feedback* negativo com a secreção de quimotripsina pelo pâncreas das aves, que pouparia o gasto energético da síntese de quimotripsina, favorecendo os parâmetros de desempenho (MAHAGNA et al., 1995).

As proteínas de reserva dos vegetais são produzidas e armazenadas no grão como fonte de nitrogênio durante a germinação, e normalmente estão associadas a

grânulos de amido. Desta forma, as proteases podem hidrolisar as proteínas de reserva, liberando moléculas de amido que podem então ser digeridas pelos animais (BARLETTA, 2010). Assim, o uso de protease exógena pode melhorar também o aproveitamento da energia proveniente da dieta (FRU-NJI et al., 2011).

1.3.2. Xilanase

As xilanases são produzidas a partir de diferentes microrganismos e, industrialmente há preferência por origens bacterianas devido à facilidade de manipulação genética das bactérias, diversidade metabólica e menor período de incubação (VERMA & SATYANARAYANA, 2012).

A xilanase é uma enzima normalmente utilizada isoladamente ou em combinação com outras enzimas como parte de um complexo enzimático. Esta enzima tem a capacidade de degradar as principais moléculas que compõem os PNAs, como as arabinoxilanas, tornando estes carboidratos muito mais digestíveis. Como estas moléculas compõem a parede celular, também pode ocorrer melhora na utilização de outros nutrientes provenientes da dieta, como de proteína, devido à liberação pelo rompimento de parte da estrutura da parede celular (ESMAEILPOUR et al., 2011).

Os PNAs presentes nas células vegetais podem ser classificados em solúveis e insolúveis: os PNAs solúveis elevam a viscosidade da digesta, dificultando a ação de diversas enzimas digestivas aos seus substratos; os PNAs insolúveis presentes na parede celular da célula vegetal dificultam a ação de enzimas como protease e amilase a seus substratos, presentes dentro das células vegetais (CHOCT, 2006).

Mesmo com o vasto conhecimento a respeito dos efeitos causados pelo uso de xilanase em dietas para aves, como revisado por Adeola & Cowieson (2011), os estudos que investigaram o uso desta enzima em dietas à base de sorgo são poucos quando comparados aos relacionados à dieta à base de milho.

A xilanase purificada (1,4- β -xilanase) produzida pelo fungo *Thermomyces lanuginosus* tem sido bastante utilizada na nutrição animal devido a sua maior estabilidade frente a variações de pH amplas, além de apresentar atividade máxima em pH 7,0 (CESAR & MRŠA, 1996), valor próximo ao do conteúdo da digesta presente no intestino delgado de frangos de corte, em condições normais (STURKIE, 1986). Sua atividade é mensurada pela unidade padrão das xilanases, Farbe Xylanase Units (FXU),

determinada por meio da incubação da xilanase com um substrato de remazol-xilana, em pH igual a 6,0 à 50° C por 30 minutos e comparada à atividade de padrão de referência, da xilanase produzida por *Humicola insolens* (JENSEN, 2002).

A xilanase derivada de *Thermomyces lanuginosus* atua sobre PNAs solúveis e insolúveis, diferentemente da maioria das outras xilanases utilizadas na nutrição de aves. A atuação sobre PNAs solúveis e insolúveis é desejável, pois permite a utilização dos PNAs insolúveis como fonte de nutrientes, devido a sua degradação, além de promover redução da viscosidade da digesta pela degradação dos PNAs solúveis (CHOCT et al., 2004).

A inclusão de xilanase (*Thermomyces lanuginosus*; 200 FXU/kg de ração) em dietas à base de trigo com níveis nutricionais adequados é suficiente para reduzir a umidade da excreta e melhorar o desempenho de frangos de corte (CHOCT et al., 2004). A melhora do desempenho pode ser atribuída ao aumento da energia metabolizável e da digestibilidade de amido e gordura (KALMENDAL & TAUSON, 2012).

Em dietas à base de milho e farelo de soja contendo ainda farelo de trigo e de canola (3% e 5% da dieta, respectivamente), o uso de 100 FXU/kg de xilanase (*Thermomyces lanuginosus*) na ração, associada à amilase e β -glucanase, melhora a energia metabolizável da dieta e a digestibilidade de vários aminoácidos, como metionina, lisina, treonina e arginina, por exemplo (RUTHERFURD et al., 2007).

De acordo com Cowieson & Masey-O'Neill (2013), a inclusão da xilanase na ração deve ser feita desde o primeiro dia de vida da ave, na forma *on top*, para que ocorra uma modificação benéfica e gradual das populações microbianas presentes no intestino grosso, de forma a se estabelecer um perfil microbiano vantajoso para utilização e recuperação de nutrientes, e manter a integridade do trato gastrintestinal, favorecendo assim o desempenho de frangos de corte.

Estudos recentes demonstram que o uso da xilanase pode aumentar a concentração no soro sanguíneo do peptídeo YY, hormônio produzido por células endócrinas no íleo e cólon. Este hormônio promove uma redução da taxa de esvaziamento gástrico, elevando o tempo de permanência da digesta no trato gastrintestinal da ave, melhorando o aproveitamento de nutrientes (SINGH et al., 2012).

1.3.3. Fitase

Fitases são enzimas que catalisam as reações da quebra das moléculas de fosfato ligadas ao ácido fítico. Algumas fitases iniciam o rompimento no grupo fosfato ligado ao Carbono-6 (C₆) do anel do inositol enquanto outras começam o processo pelo Carbono-3 (C₃). As fitases que iniciam a hidrólise pelo C₆ são conhecidas como 6-fitases e as que começam pelo C₃ chamadas de 3-fitases. As reações sucessivas catalisadas pelas fitases são feitas por etapas e promovem a desfosforilação dos ésteres de mio-inositol fosfato (IP₆) até a liberação de cinco grupos fosfatos, restando apenas uma molécula de mio-inositol fosfato ligada a um grupo fosfato (mio-inositol monofosfato), no C₂, por ser resistente à hidrólise enzimática (IP₁) (Figura 3). Entretanto, as fitases exógenas utilizadas na nutrição animal não atingem este estágio de degradação por dependerem de características como temperatura adequada, pH, conteúdo de minerais, entre outros (SELLE & RAVINDRAN, 2007).

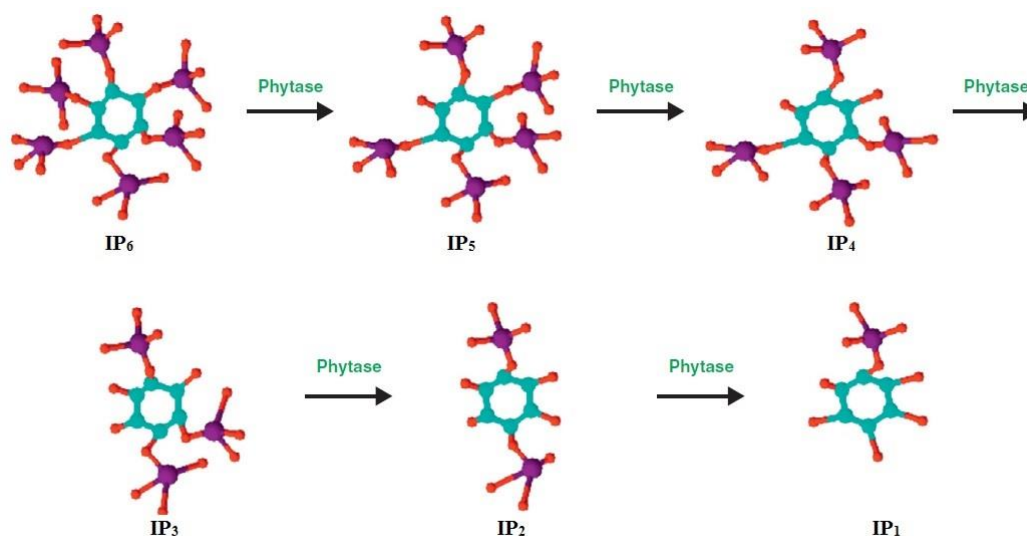


Figura 3. Degradação do fitato (mio-inositol hexafosfato) pela enzima fitase (adaptado de KEBREAB et al., 2012).

A mucosa intestinal dos animais é capaz de produzir pequenas quantidades de fitases, principalmente no duodeno, como no caso das aves, em resposta à presença de ácido fítico no intestino. Entretanto, sua capacidade de contribuição na hidrólise do fitato é considerada insignificante devido à falta de estímulo à mucosa intestinal para produzir fitase, pois o ácido fítico presente nos ingredientes que compõem as dietas está

no material proteico e dificilmente entra em contato com a mucosa intestinal (LOPEZ et al., 2000).

As fitases podem ser produzidas principalmente por microrganismos, como bactérias e fungos, sendo a maioria produzida na forma de 3-fitases, enquanto algumas espécies de plantas, fungos e bactérias como *Escherichia coli* podem produzir 6-fitases (WOYENGO & NYACHOTI, 2011).

Apesar de não existir uma unidade internacional padrão para quantificar a atividade das fitases, é comum a utilização do termo unidades de fitase (FTU), que também pode se apresentar nas abreviações FYT, U e PU. Esta unidade se refere à quantidade de fitase que libera 1 μ mol de ortofosfato inorgânico por minuto a partir de 0,0051 mol por litro de fitato de sódio em pH 5,5 e temperatura de 37° C (ENGELN et al., 1994).

Recentemente, uma fitase derivada de *Aspergillus oryzae* foi introduzida na indústria de aditivos. A eficiência de produção de 6-fitase por este fungo é maior do que na maioria dos outros fungos, e a enzima produzida é resistente à ação da protease, além de ser estável em pH ácido (SINGH, 2013). Esta enzima é considerada a primeira fitase bacteriana comercialmente produzida a partir da introdução de genes sintéticos, que simulam um gene responsável pela produção de fitase presente na bactéria *Citrobacter braakii* ATCC 51113, que expressam o produto (fitase) codificado em *Aspergillus oryzae*. A fitase produzida por bactérias do gênero *Citrobacter* apresentam atividade elevada em pH ácido (LICHTENBERG et al., 2011).

O uso da 6-fitase derivada de *Aspergillus oryzae* tem demonstrado efeitos benéficos em termos de desempenho e utilização de nutrientes. Em estudo conduzido por Aureli et al (2011), o uso de dietas à base de milho e farelo de soja com níveis de fósforo total reduzidos (4,1% vs. 5,6%), contendo 1000 FTU/kg da fitase, elevou a utilização de cálcio e fósforo e manteve o desempenho de frangos de corte na fase inicial (8 a 22 dias) semelhante à dieta basal.

De acordo com Naves (2012), o uso de 1.500 FTU/kg de fitase derivada de *Aspergillus oryzae* na ração proporciona o maior aproveitamento do fósforo fítico da dieta. Entretanto, a utilização de dietas com níveis de fósforo disponível reduzidos (de 3,9g/kg para 2,0g/kg) deve ser feita apenas no período de 8 a 21 dias, quando se utiliza 1.500 FTU/kg de fitase na ração, mantendo-se os níveis adequados de fósforo nos

demaís períodos de criação, sem a inclusão de fitase, de forma a manter o desempenho e a formação óssea semelhantes aos de aves alimentadas com dieta basal, reduzindo o custo com alimentação (NAVES et al., 2014).

2. JUSTIFICATIVA E OBJETIVO

O uso de sorgo em dietas para aves tem demonstrado potencial como alimento alternativo ao milho, porém algumas de suas propriedades podem limitar seu aproveitamento máximo, tornando possível uma resposta positiva ao uso de enzimas exógenas nas dietas, definidas de acordo com a qualidade do grão de sorgo e principais limitações. O uso de enzimas exógenas nas dietas considerando a valorização nutricional proporcionada pela matriz do produto enzimático é comum, porém, a base das pesquisas utilizadas para definição das reduções nutricionais e energéticas está relacionada ao uso de dietas de milho e farelo de soja. Com isso, são necessárias avaliações do uso de enzimas na forma *on top*, isto é, sem considerar a valorização nutricional promovida pela inclusão das enzimas, em dietas em que as respostas positivas ainda não estão totalmente estabelecidas, de forma a servir como ponto de partida para investigações das possíveis valorizações nutricionais promovidas pela inclusão de enzimas exógenas nas rações.

Diante disto, o Capítulo II, intitulado “SUBSTITUIÇÃO DE MILHO POR SORGO E ENZIMAS EXÓGENAS EM DIETAS PARA FRANGOS DE CORTE“, foi adequado de acordo com as normas estabelecidas pelo periódico **Animal Production Science**. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da substituição parcial ou total de milho por sorgo, com a inclusão ou não de protease, xilanase e fitase, em dietas para frangos de corte sobre a metabolizabilidade dos nutrientes da dieta, desempenho, viabilidade econômica e peso relativo de órgãos do trato digestivo.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEOLA, O.; COWIESON, A. J. Board-Invited Review: Opportunities and challenges in using exogenous enzymes to improve nonruminant animal production. **Journal of Animal Science**, v.89, p.3189-3218, 2011.

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

ALI, N. M. M. et al. Effect of alkaline pretreatment and cooking on protein fractions of a high-tannin sorghum cultivar. **Food Chemistry**, v.114, p.646-648, 2009.

ANGEL, C. R. et al. Effects of a monocomponent protease on performance and protein utilization in 7- to 22-day-old broiler chickens. **Poultry Science**, v.90, p.2281-2286, 2011.

ASQUITH, T. N.; BUTLER, L. G. Interactions of condensed tannins with selected proteins. **Phytochemistry**, v.25, p.1591-1593, 1986.

ASQUITH, T. N.; IZUNO, C. C.; BUTLER, L. G. Characterization of the condensed tannin (proanthocyanidin) from a group II sorghum. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.31, p.1299-1303, 1983.

AURELI, R. et al. The efficacy of a novel microbial 6-phytase expressed in *Aspergillus oryzae* on the performance and phosphorus utilization in broiler chickens. **International Journal of Poultry Science**, v.10, p.160-168, 2011.

BAO, Y. M.; ROMERO, L. F.; COWIESON, A. J. Functional patterns of exogenous enzymes in different feed ingredients. **World's Poultry Science Journal**, v.69, p.759-774, 2013.

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

BARLETTA, A. Introduction: Current Markets and Expected Development. In: **Enzymes in Farm Animal Nutrition**, 2nd ed., pp. 1-11 (M. Bedford and G Partridge, eds.). Wallingford, UK: CAB International, 2010.

BELTON, P. S. et al. Kafirin structure and functionality. **Journal of Cereal Science**, v.44, p.272-286, 2006.

BOZUTTI, S. R. A. **Avaliação de ingredientes alternativos na alimentação de frangos de corte com a adição de enzimas**. 78f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2009.

BRAVO, L. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. **Nutrition Reviews**, v.56, p.317-333, 1998.

BRYDEN, W. L. et al. A review of the nutritive value of sorghum for broilers. RIRDC Publication 09/077. **Rural Industries Research and Development Corporation**, Barton, ACT. 2009a.

BRYDEN, W. L. et al. Ileal digestible amino acid values in feedstuffs for poultry. RIRDC Publication 09/071. **Rural Industries Research and Development Corporation**, Barton, ACT. 2009b.

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – ESALQ/USP. Indicadores de Preços. Disponível em: <http://cepea.esalq.usp.br/milho/?page=861>, Acesso em: 10/01/2014. 2014.

CESAR, T.; MRŠA, V. Purification and properties of the xylanase produced by *Thermomyces lanuginosus*. **Enzyme and Microbial Technology**, v.19, p.289-296, 1996.

CHAMBA, E. B. et al. Molecular cloning of β -kafirin, a methionine-rich protein of sorghum grain. **Journal of Cereal Science**, v.41, p.381-383, 2005.

CHOCT, M. Enzymes for the feed industry: past, present and future. **World's Poultry Science Journal**, v.62, p.5-16, 2006.

CHOCT, M. et al. A comparison of three xylanases on the nutritive value of two wheats for broiler chickens. **British Journal of Nutrition**, v.92, p.53-62, 2004.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_11_08_09_29_24_boletim_graos_novembro_2013.pdf. Acesso em: 10/01/2014. 2013.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Preços Médios Mensais. Disponível em: <http://sisdep.conab.gov.br/precosiagroweb/>. Acesso em: 10/01/2014. 2014.

COWIESON, A. J.; ACAMOVIC, T.; BEDFORD, M. R. Supplementation of corn–soy-based diets with an *Escherichia coli*-derived phytase: effects on broiler chick performance and the digestibility of amino acids and metabolizability of minerals and energy. **Poultry Science**, v.85, p.1389-1397, 2006.

COWIESON, A. J. et al. Phytate and microbial phytase: implications for endogenous nitrogen losses and nutrient availability. **World's Poultry Science Journal**, v.65, p.401-418, 2009.

COWIESON, A. J.; BEDFORD, M. R.; RAVINDRAN, V. Interactions between xylanase and glucanase in maize-soy-based diets for broilers. **British Poultry Science**, v.51, p.246-257, 2010.

COWIESON, A. J.; MASEY-O'NEILL, H. V. Effects of exogenous xylanase on performance, nutrient digestibility and caecal thermal profiles of broilers given wheat-based diets. **British Poultry Science**, v.54, p.346-354, 2013.

DOHERTY, C., FAUBION, J. M., ROONEY, L. W. Semiautomated determination of phytate in sorghum and sorghum products. **Cereal Chemistry**, v.59, p.373–377, 1982.

DUODU, K. G. et al. Factors affecting sorghum protein digestibility. **Journal of Cereal Science**, v.38, p.117-131, 2003.

DYKES, L.; ROONEY, L. W. Sorghum and millet phenols and antioxidants. **Journal of Cereal Science**, v.44, p.236-251, 2006.

EBADI, M. R. et al. Amino acid content and availability in low, medium and high tannin sorghum grain for poultry. **International Journal of Poultry Science**, v.4, p.27-31, 2005.

ELKIN, R. G. et al. Condensed tannins are only partially responsible for variations in nutrient digestibilities of sorghum grain cultivars. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.44, p.848-853, 1996.

ENGELLEN, A. J. et al. Simple and rapid determination of phytase activity. **Journal of AOAC International**, v.77, p.760-764, 1994.

ESMAEILPOUR, O. et al. Effects of xylanase and citric acid on the performance, nutrient retention, and characteristics of gastrointestinal tract of broilers fed low-phosphorus wheat-based diets. **Poultry Science**, v.90, p.1975-1982, 2011.

FARIA FILHO, D. E. et al. Ingredient classification according to the digestible amino acid profile: an exploratory analysis. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v.7, p.185-193, 2005.

FREITAS, D. M. et al. Performance and nutrient utilization of broilers fed diets supplemented with a novel mono-component protease. **The Journal of Applied Poultry Research**, v.20, p.322-334, 2011.

FRU-NJI, F. et al. A feed serine protease improves broiler performance and increases protein and energy digestibilidade. **Journal of Poultry Science**, v.48, p.239-246, 2011.

GARCIA, R. G. et al. Desempenho e qualidade da carne de frangos de corte alimentados com diferentes níveis de sorgo em substituição ao milho. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.57, p.634-643, 2005.

GIDLEY, M. J. et al. Sorghum grain starch digestibility: effects of particle size and enzyme treatment. In: ANNUAL AUSTRALIAN POULTRY SCIENCE SYMPOSIUM, 22, Sydney, New South Wales. **Proceedings...** Sydney: The Poultry Research Foundation and The World's Poultry Science Association, 2011. p.139-146.

GLITSØ, V. et al. Development of a Feed Protease. **Industrial Biotechnology**, v.8, p.172-175, 2012.

HAGERMAN, A. E.; BUTLER, L. G. Protein precipitation method for the quantitative determination of tannins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.26, p.809-812, 1978.

HAGERMAN, A. E.; RICE, M. E.; RITCHARD, N. T. Mechanisms of protein precipitation for two tannins, pentagalloyl glucose and epicatechin16 (4→ 8) catechin

(procyanidin). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.46, p.2590-2595, 1998.

HAGERMAN, A. E.; ZHAO, Y.; JOHNSON, S. Methods for determination of condensed and hydrolyzable tannins. In: ACS symposium series. Washington, DC: **American Chemical Society**, p. 209-222, 1997.

HEDSTROM, L. Serine protease mechanism and specificity. **Chemical Reviews**, v.102, p.4501-4524, 2002.

JANSMAN, A. J. M. Tannins in feedstuffs for simple-stomached animals. **Nutrition Research Reviews**, v.6, p.209–263, 1993.

JENSEN, B.R. Mixed β -glucanase, xylanase enzyme preparation, produced by a strain of *Humicola insolens*. Ultraflo™ L. Relatório não publicado n° 2002-37749-01 de Novozymes A/S, Bagsvaerd, Dinamarca. Submetido a WHO por Novozymes A/S, Bagsvaerd, Dinamarca, 2002.

JONES, W. T.; MANGAN, J. L. Complexes of the condensed tannins of sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop.) with fraction 1 leaf protein and with submaxillary mucoprotein, and their reversal by polyethylene glycol and pH. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.28, p.126-136, 1977.

KALMENDAL, R.; TAUSON, R. Effects of a xylanase and protease, individually or in combination, and an ionophore coccidiostat on performance, nutrient utilization, and intestinal morphology in broiler chickens fed a wheat-soybean meal-based diet. **Poultry Science**, v.91, p.1387-1393, 2012.

KAMISOYAMA, H.; HONDA, K.; HASEGAWA, S. Comparison of amino acid digestibility of dietary cereals at different sites of chicken intestine. **Journal of Poultry Science**, v.48, p.19-24, 2011.

KARIMI, A. et al. Assessment of potential enhancing effects of a carbohydrase mixture on phytase efficacy in male broiler chicks fed phosphorus-deficient diets from 1 to 18 days of age. **Poultry Science**, v.92, p.192-198, 2013.

KEBREAB, E.; HANSEN, A. V.; STRATHE, A. B. Animal production for efficient phosphate utilization: from optimized feed to high efficiency livestock. **Current Opinion in Biotechnology**, v.23, p.872-877, 2012.

KIARIE, E.; ROMERO, L. F.; NYACHOTI, C. M. The role of added feed enzymes in promoting gut health in swine and poultry. **Nutrition Research Reviews**, v.26, p.71-88, 2013.

KORNEGAY, E. T. Digestion of phosphorus and other nutrients: the role of phytases and factors influencing their activity. In: Bedford M. R., Patridge G. G. **Enzymes in farm animal nutrition**. Londres: Cab International, p.237-271, 2001.

LIAO, S. F. et al. Effect of phytase supplementation to a low-and a high-phytate diet for growing pigs on the digestibilities of crude protein, amino acids, and energy. **Journal of Animal Science**, v.83, p.2130-2136, 2005.

LICHTENBERG, J. et al. Toxicological studies on a novel phytase expressed from synthetic genes in *Aspergillus oryzae*. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v.60, p.401-410, 2011.

LIU, N. et al. Effect of diet containing phytate and phytase on the activity and messenger ribonucleic acid expression of carbohydrase and transporter in chickens. **Journal of Animal Science**, v.86, p.3432-3439, 2008a.

LIU, N. et al. Effect of dietary phytate and phytase on proteolytic digestion and growth regulation of broilers. **Archives of Animal Nutrition**, v.63, p.292-303, 2008b.

LIU, S. Y. et al. Protease supplementation of sorghum-based broiler diets enhances amino acid digestibility coefficients in four small intestinal sites and accelerates their rates of digestion. **Animal Feed Science and Technology**, v.183, p.175-183, 2013.

LOPEZ, H. W. et al. Dietary phytic acid and wheat bran enhance mucosal phytase activity in rat small intestine. **The Journal of Nutrition**, v.130, p.2020-2025, 2000.

MAENZ, D. D. Enzymatic characteristics of phytases as they relate to their use in animal feeds. In: Bedford M. R., Patridge G.G. **Enzymes in farm animal nutrition**. Londres: Cab International, p. 61-84, 2001.

MAHAGNA, M. et al. Effect of age and exogenous amylase and protease on development of the digestive tract, pancreatic enzyme activities and digestibility of nutrients in young meat-type chicks. **Reproduction Nutrition Development**, v.35, p.201-212, 1995.

MANSOORI, B.; ACAMOVIC, T. The effect of tannic acid on the excretion of endogenous methionine, histidine and lysine with broilers. **Animal Feed Science and Technology**, v.134, p.198-210, 2007.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa** nº 13/04, de dezembro de 2004.

MESA-STONESTREET, D. et al. Sorghum proteins: the concentration, isolation, modification, and food applications of kafirins. **Journal of Food Science**, v.75, p.90-104, 2010.

MORAES, G. H. K. et al. Perfil enzimático de α -amilase, lipase e tripsina do pâncreas e crescimento do fígado, intestino e pâncreas de frangos de corte na fase de 1 a 21 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.2188-2192, 2009.

MORAIS, E.; FRANCO, S. G.; FEDALTO, L. M. Efeitos da substituição do milho pelo sorgo, com adição de enzimas digestivas, sobre o ganho médio de peso de frangos de corte. **Archives of Veterinary Science**, v.7, p.109-114, 2002.

MOSSE, J.; HUET, J. C.; BAUDET, J. The amino acid composition of whole sorghum grain in relation to its nitrogen content. **Cereal Chemistry**, v.65, p.271-277, 1988.

NAVES, L. P. **Metodologias para quantificar fitato e uso de fitases em rações para frangos de corte**. 152p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

NAVES, L. P. et al. Redução de fósforo em dietas para frangos com base em valores de equivalência da fitase. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, p.71-77, 2014.

NYAMAMBI, B. et al. The effects of sorghum proanthocyanidins on digestive enzyme activity in vitro and in the digestive tract of chicken. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.80, p.2223-2231, 2000.

ODUHO, G. W.; BAKER, D. H. Some tropical high tannin sorghums and their effects on broiler performance. **Agricultura Tropica et Subtropica**, v.38, p.3-4, 2005.

OXENBOLL, K. M.; PONTOPPIDAN, K.; FRU-NJI, F. Use of a protease in poultry feed offers promising environmental benefits. **International Journal of Poultry Science**, v.10, p.842-848, 2011.

PAULIS, J. W.; WALL, J. S. Distribution and electrophoretic properties of alcohol-soluble proteins in normal and high-lysine sorghums. **Cereal Chemistry**, v.56, p.20-23, 1979.

POUR-REZA, J.; EDRISS, M. A. Effects of dietary sorghum of different tannin concentrations and tallow supplementation on the performance of broiler chicks. **British Poultry Science**, v.38, p.512-517, 1997.

RAO, M. B. et al. Molecular and biotechnological aspects of microbial proteases. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v.62, p.597-635, 1998.

RAVINDRAN, V. et al. Influence of microbial phytase on apparent ileal amino acid digestibility of feedstuffs for broilers. **Poultry Science**, v.78, p.699-706, 1999.

ROCHA, V. R. R. A. et al. Substituição total do milho por sorgo e óleo de abatedouro avícola em dietas de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.95-102, 2008.

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

RUTHERFURD, S. M.; CHUNG, T. K.; MOUGHAN, P. J. The effect of a commercial enzyme preparation on apparent metabolizable energy, the true ileal amino acid digestibility, and endogenous ileal lysine losses in broiler chickens. **Poultry Science**, v.86, p.665-672, 2007.

SAKOMURA, N. K. et al. Efeito da idade dos frangos de corte na atividade enzimática e digestibilidade dos nutrientes do farelo de soja e soja integral. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, p.924-935, 2004.

SINGH, A. et al. Effects of xylanase supplementation on performance, total volatile fatty acids and selected bacterial population in caeca, metabolic indices and peptide YY concentrations in serum of broiler chickens fed energy restricted maize–soybean based diets. **Animal Feed Science and Technology**, v.177, p.194-203, 2012.

SINGH, B. Improved production of protease-resistant phytase by *Aspergillus oryzae* and its applicability in the hydrolysis of insoluble phytates. *Journal of industrial microbiology & biotechnology*, v. 40, n. 8, p. 891-899, 2013.

SANTOS, M.S.V. et al. Utilização de complexo enzimático em dietas à base de sorgo-soja para frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.811-817, 2006.

SASTRY, L. V. S. et al. Genetic variation of storage proteins in sorghum grain: Studies by isoelectric focusing and high-performance liquid chromatography. **Cereal Chemistry**, v.63, p.420-427, 1986.

SEDGHI, M. et al. Estimation and modeling true metabolizable energy of sorghum grain for poultry. **Poultry Science**, v.90, p.1138-1143, 2011.

SEDGHI, M. et al. Relationship between color and tannin content in sorghum grain: application of image analysis and artificial neural network. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v.14, p.57-62, 2012.

SELLE, P. H. et al. Phytate and phytase: consequences for protein utilisation. **Nutrition Research Reviews**, v.13, p.255-278, 2000.

SELLE, P. H.; WALKER, A. R.; BRYDEN, W. L. Total and phytate-phosphorus contents and phytase activity of Australian-sourced feed ingredients for pigs and poultry. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.43, p.475-479, 2003.

SELLE, P. H. et al. Influence of dietary phytate and exogenous phytase on amino acid digestibility in poultry: a review. **Journal of Poultry Science**, v.43, p.89-103, 2006.

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

SELLE, P. H. et al. Impact of exogenous enzymes in sorghum-or wheat-based broiler diets on nutrient utilization and growth performance. **International Journal of Poultry Science**, v.9, p.53-58, 2010a.

SELLE, P. H. et al. Implications of sorghum in broiler chicken nutrition. **Animal Feed Science and Technology**, v.156, p.57–74, 2010b.

SELLE, P. H. et al. Phytase Supplementation of Sorghum-Based Broiler Diets with Reduced Phosphorus Levels. ANNUAL AUSTRALIAN POULTRY SCIENCE SYMPOSIUM, 21, Sydney, New South Wales. **Proceedings...** Sydney: The Poultry Research Foundation and The World's Poultry Science Association, 2012. p.70-73.

SELLE, P. H. et al. Steam-pelleting temperatures, grain variety, feed form and protease supplementation of mediumly ground, sorghum-based broiler diets: influences on growth performance, relative gizzard weights, nutrient utilisation, starch and nitrogen digestibility. **Animal Production Science**, v.53, p.378-387, 2013.

SHAKOURI, M. D. et al. Intestinal function and gut microflora of broiler chickens as influenced by cereal grains and microbial enzyme supplementation. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.93, p.647-658, 2009.

SHULL, J. M.;WATTERSON, J. J.; KIRLEIS, A. W. Purification and immunocytochemical localization of kafirins in *Sorghum bicolor* (L. Moench) endosperm. **Protoplasma**, v.171, p.64-74, 1992.

SINDIRAÇÕES. Boletim Informativo do Setor. Setor de Alimentação Animal. Disponível em: http://sindiracoes.org.br/wp-content/uploads/2013/12/sindiracoes-boletim_dezembro_05122013_site.pdf, Acesso em: 10/01/2014. 2013.

SINDIRAÇÕES. Boletim Informativo do Setor. Setor de Alimentação Animal. Disponível em: http://sindiracoes.org.br/wp-content/uploads/2014/05/boletim-informativo-do-setor_vs-portugues_site-08052014.pdf, Acesso em: 29/05/2014. 2014

SINGH, A. et al. Effects of xylanase supplementation on performance, total volatile fatty acids and selected bacterial population in caeca, metabolic indices and peptide YY

concentrations in serum of broiler chickens fed energy restricted maize–soybean based diets. **Animal Feed Science and Technology**, v.177, p.194-203, 2012.

SMITH, A. Using proteases in broiler diets - careful selection is key. **International Poultry Production**, v.19, p.15-17, 2011.

STEINER, T. et al. Distribution of phytase activity, total phosphorus and phytate phosphorus in legume seeds, cereals and cereal by-products as influenced by harvest year and cultivar. **Animal Feed Science and Technology**, v.133, p.320-334, 2007.

STURKIE, P. D. **Avian Physiology**. 4ed. New York: Springer Verlag, 1986. 516p.

SULTAN, A. et al. Dietary enzymes alter sorghum protein digestibility and AME content. In: ANNUAL AUSTRALIAN POULTRY SCIENCE SYMPOSIUM, 21, Sydney, New South Wales. **Proceedings...** Sydney: The Poultry Research Foundation and The World's Poultry Science Association, 2010, p.94.

SULTAN, A. et al. Dietary enzyme combinations improve sorghum ileal protein and starch digestibility during the broiler starter phase. In: ANNUAL AUSTRALIAN POULTRY SCIENCE SYMPOSIUM, 22, Sydney, New South Wales. **Proceedings...** Sydney: The Poultry Research Foundation and The World's Poultry Science Association, 2011a, p.82.

SULTAN, A. et al. Feed enzymes improve ileal protein, starch and mineral digestibility of sorghum by broilers. **Recent Advances in Animal Nutrition – Australia**, v.18, p.143-144, 2011b.

TANCHAROENRAT, P.; RAVINDRAN, V.; RAVINDRAN, G. Influence of cereal type and fat source on the performance and fat utilisation of broiler starters. **Animal Production Science**, [Just Accepted]. 2014.

TAYLOR, J. et al. Preferential binding of sorghum tannins with γ -kafirin and the influence of tannin binding on kafirin digestibility and biodegradation. **Journal of Cereal Science**, v.46, p.22-31, 2007.

TAYLOR, J.R.N.; SCHÜSSLER, L.; VAN DER WALT, W.H. Fractionation of proteins from low-tannin sorghum grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.32, p.149–154, 1984.

THOMAS, D. V.; RAVINDRAN, V. Effect of cereal type on the performance, gastrointestinal tract development and intestinal morphology of the newly hatched broiler chick. **Journal of Poultry Science**, v.45, p.46-50, 2008.

TORRES, K. A. A. et al. Effects of corn replacement by sorghum in broiler diets on performance and intestinal mucosa integrity. **Poultry Science**, v.92, p.1564-1571, 2013.

UBABEF – União Brasileira de Avicultura. Publicações. Disponível em: <http://www.ubabef.com.br/files/publicacoes/8ca705e70f0cb110ae3aed67d29c8842.pdf>, Acesso em: 29/05/2014. 2014.

USDA – United States Department of Agriculture. Data & Analysis. World Agricultural Production. Disponível em: <http://www.fas.usda.gov/data/world-agricultural-production>. Acesso em: 11/02/2014.

VERMA, D.; SATYANARAYANA, T. Cloning, expression and applicability of thermo-alkali-stable xylanase of *Geobacillus thermoleovorans* in generating xylooligosaccharides from agro-residues. **Bioresource Technology**, v.107, p.333-338, 2012.

VIRUPAKSHA, T. K.; SASTRY, L. V. S. Protein content and amino acid composition of some varieties of grain sorghum. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.16, p.199-203, 1968.

WONG, J. H. et al. Principal component analysis and biochemical characterization of protein and starch reveal primary targets for improving sorghum grain. **Plant Science**, v.179, p.598-611, 2010.

WOYENGO, T. A.; NYACHOTI, C. M. Review: Supplementation of phytase and carbohydrases to diets for poultry. **Canadian Journal of Animal Science**, v.91, p.177-192, 2011.

WU, Y. B.; RAVINDRAN, V.; HENDRIKS, W. H. Influence of exogenous enzyme supplementation on energy utilisation and nutrient digestibility of cereals for broilers. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.84, p.1817-1822, 2004.

CAPÍTULO II

SUBSTITUIÇÃO DE MILHO POR SORGO E ENZIMAS EXÓGENAS EM DIETAS PARA FRANGOS DE CORTE

Resumo. Este estudo foi conduzido para avaliar o efeito da substituição parcial ou total e a inclusão de protease, xilanase e fitase em dietas para frangos de corte. O esquema fatorial utilizado foi 3×2 , com três níveis de substituição de milho por sorgo (0, 50% e 100%) e inclusão ou não das enzimas exógenas. O ganho de peso foi elevado com o uso de enzimas exógenas na dieta. A substituição total de milho por sorgo nas dietas prejudicou o ganho de peso aos 14 e 35 dias, porém não afetou o desempenho das aves considerando-se os períodos de um a 21 e um a 42 dias. Houve interação entre nível de sorgo e inclusão de enzimas sobre a metabolizabilidade de matéria seca e energia bruta da dieta. A inclusão de enzimas melhorou a metabolizabilidade de matéria seca e energia bruta na fase de 11 a 21 dias apenas em dietas à base de sorgo. A substituição de milho por sorgo reduziu os coeficientes de metabolizabilidade de proteína bruta nas fases de 11 a 21 dias e de 25 a 35 dias. Na fase de 11 a 21 dias, a inclusão de enzimas melhorou a metabolizabilidade da proteína bruta e aos 21 dias diminuiu os pesos relativos de moela e intestino delgado. O uso de enzimas melhorou a metabolizabilidade da energia bruta de 25 a 35 dias. Não houve efeito das dietas sobre o peso de órgãos aos 42 dias. A substituição de milho por sorgo reduziu a umidade da cama e a adição de enzimas exógenas nas dietas aumentou a umidade da cama. A substituição de milho por sorgo e o uso de enzimas diminuiu o custo da ração e melhorou a lucratividade. Portanto, a substituição total de milho por sorgo é viável e a inclusão de protease, xilanase e fitase nas dietas para frangos de corte melhora o desempenho considerando-se o período de 1 a 42 dias.

Palavras-chave: energia metabolizável aparente, retenção de proteína bruta, carboidrases, viabilidade econômica.

MAIZE REPLACEMENT WITH SORGHUM AND EXOGENOUS ENZYMES IN BROILER DIETS

Abstract. A study was conducted to determine the influence of replacing maize with sorghum without or with a combination of exogenous protease, xylanase and phytase on broiler performance. The experimental design was a 3×2 factorial arrangement of treatments, which included three replacement levels of maize with sorghum (0, 50% and 100%) without or with exogenous enzymes. Weight gain was improved with enzymes supplementation. Total maize replacement with sorghum impaired weight gain from one to 14- and from one to 35-days post-hatch but did not affect performance at 21 and 42 days post-hatch. There was interaction between maize replacement level and enzyme supplementation for dry matter and gross energy metabolizability. Exogenous enzymes improved dry matter and gross energy metabolizability from 11 to 21 days post-hatch only in sorghum-based diet. Maize replacement with sorghum reduced crude protein metabolizability from 11 to 21 days and 25 to 35 days post-hatch. From 11 to 21 crude protein and from 25 to 35 days post-hatch gross energy metabolizability were improved and at day-21 post-hatch, relative gizzard and small intestine weights were decreased by exogenous enzymes. Litter moisture was decreased by maize replacement with sorghum and increased by exogenous enzymes. Maize replacement with sorghum and enzymes inclusion decreased feed cost and increased profitability. Overall, the results suggest that sorghum can replace maize and a combination of exogenous protease, xylanase and phytase improve broiler performance from one to 42 days post-hatch.

Key-words: apparent metabolizable energy, crude protein retention, carbohydrases, economic profitability.

Introdução

Apesar de o milho ser um dos principais ingredientes energéticos das rações para aves, as variações e altas de preço do grão no Brasil durante o ano têm estimulado a busca por cereais alternativos que possam contribuir de forma semelhante em termos nutricionais, com menores custos ao produtor e sem prejudicar o desempenho das aves.

Além disso, a tendência é que a produção brasileira de milho no próximo ano seja menor, com diminuição de até 3,1% em relação ao ano atual, reduzindo de 81 milhões de toneladas para 78,5 milhões de toneladas. A estimativa de queda de produção é atribuída a maior competição por área entre milho e soja no país, o que eleva os custos do milho para avicultura, principalmente em estados considerados grandes produtores de frangos de corte do Brasil, como o Paraná, que apresentou redução de 25% de área plantada de milho no último ano (Conab, 2013).

Com isso, a utilização de sorgo (*Sorghum bicolor*) como alternativa ao milho na alimentação de frangos de corte tem sido bastante explorada nos últimos anos, devido ao menor custo do sorgo e à semelhança entre as composições dos grãos. Porém, estudos têm demonstrado resultados pouco consistentes quanto ao nível de substituição, com recomendações de substituição parcial (Singh *et al.*, 2011; Torres *et al.*, 2013) ou total (Garcia *et al.*, 2005; Santos *et al.*, 2006; Rocha *et al.*, 2008; Garcia *et al.*, 2013; Tancharoenrat *et al.*, 2014) de milho por sorgo nas dietas, sem que a produtividade das aves seja negativamente afetada.

A substituição de milho por sorgo nas dietas pode ser viável pois as composições nutricionais de ambos os grãos são muito próximas. O milho apresenta maiores valores de energia metabolizável e extrato etéreo, enquanto o sorgo possui maior conteúdo de proteína bruta, apesar dos níveis de aminoácidos essenciais digestíveis, como lisina, metionina e treonina serem menores no sorgo (Rostagno *et al.*, 2011). Além disso, mesmo os menores custos do milho durante o ano são superiores aos maiores preços do sorgo no Brasil, tornando-o uma potencial alternativa viável também em termos econômicos (Conab, 2014).

O menor conteúdo de aminoácidos digestíveis do sorgo é devido principalmente a propriedades inerentes ao grão que prejudicam sua digestibilidade. Diferentemente do milho, que apresenta uma espécie de película protetora durante seu desenvolvimento, os grãos de sorgo não possuem revestimento e com isso mecanismos de defesa celular

proporcionaram ao grão características que dificultam sua degradação por insetos, fungos e outros microrganismos (Gidley *et al.*, 2011).

A kafirina é a principal proteína presente no sorgo e suas características físico-químicas são uma das principais responsáveis pela baixa digestibilidade do sorgo em frangos de corte. A estrutura do material proteico do sorgo controla a digestibilidade do grão, e as kafirinas, principais componentes deste material, são ricas em cisteína e com isso capazes de formar ligações dissulfeto com outras moléculas, criando um complexo resistente à ação da protease (Oria *et al.*, 2000). Além disso, a matriz protéica do grão está intimamente ligada aos grânulos de amido presentes no endosperma, dificultando o acesso da amilase aos seus substratos (Wong *et al.*, 2009).

Outras substâncias presentes no grão de sorgo são tanino e fitato, capazes de prejudicar a digestibilidade de diversos nutrientes. O tanino tem capacidade de formar complexos com macromoléculas, como as proteínas, e promover maiores perdas endógenas de aminoácidos nas aves (Mansoori e Acamovic, 2007), enquanto o fitato se liga principalmente aos minerais provenientes da dieta, prejudicando sua disponibilidade às aves (Woyengo e Nyachoti, 2013).

Devido às características do sorgo que prejudicam principalmente sua digestibilidade, o uso de enzimas exógenas pode ser explorado na alimentação das aves com a finalidade de maximizar o desempenho, de forma a minimizar os efeitos negativos ocasionados pelas propriedades inerentes ao grão que impedem a produtividade máxima das aves. A utilização de complexo enzimático composto por protease, xilanase e amilase associado à enzima fitase em dietas à base de sorgo e farelo de soja para frangos de corte, melhora a digestibilidade de aminoácidos essenciais e amido, energia metabolizável aparente da dieta e promove maior ganho de peso das aves (Cadogan *et al.*, 2005).

Em estudos conduzidos por Leite *et al.* (2011), a inclusão de um complexo multienzimático *on top*, ou seja, sem considerar a valorização nutricional promovida pelas enzimas exógenas, constituído de amilase, pectinase, beta-glucanase, pentosanase, celulase, protease e fitase em dietas à base de sorgo e farelo de soja, aumentou os coeficientes de digestibilidade de matéria seca, gordura, nitrogênio e energia metabolizável.

O efeito aditivo promovido pelo uso de uma combinação enzimática de protease, xilanase e fitase no sorgo potencializou o aumento dos coeficientes de digestibilidade de proteína e amido, aos 21 dias (Sultan *et al.*, 2011), e de proteína e fósforo, além de melhorar a energia metabolizável aparente, aos 42 dias de idade das aves (Sultan *et al.*, 2010).

O uso de um complexo enzimático contendo xilanase, beta-glucanase e fitase em dietas à base de sorgo e farelo de soja para frangos de corte aumentou o peso vivo e reduziu o consumo de ração, melhorando a conversão alimentar das aves aos 46 dias de idade (Avila *et al.*, 2012). De acordo com Teixeira (2013), a utilização de dietas à base de milho para frangos de corte apresentou maiores coeficientes de digestibilidade de matéria seca, extrato etéreo e proteína bruta, em relação a dietas à base de sorgo. Entretanto, o coeficiente de digestibilidade do extrato etéreo foi elevado com o uso da combinação das enzimas protease e xilanase nas dietas contendo sorgo.

Alguns estudos demonstram que a inclusão de enzimas nas dietas pode afetar o peso relativo de órgãos do trato gastrointestinal (Barekatin *et al.*, 2013; Masey-O'Neill *et al.*, 2014) e elevar a umidade de cama (Farahat *et al.*, 2013). O peso relativo de órgãos como moela pode estar relacionado à digestibilidade da proteína da dieta (Svihus, 2011). A elevada umidade de cama está associada a diversos problemas relacionados à produtividade e bem-estar das aves, podendo elevar a incidência de pododermatites, calos de peito, doenças respiratórias, aumento da sobrevivência de vírus na cama, entre outros (Francesch e Brufau, 2004).

Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a substituição parcial ou total de milho por sorgo, e a inclusão de uma combinação das enzimas exógenas protease, xilanase e fitase em dietas para frangos de corte, sobre o desempenho, peso relativo de órgãos do trato digestivo, metabolizabilidade de matéria seca, proteína bruta e tempo de trânsito intestinal, umidade de cama e viabilidade econômica.

Material e métodos

Todos os procedimentos realizados neste estudo foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais – CEUA/FMVZ, protocolo nº 04/2013.

Dois experimentos foram realizados, sendo o Experimento I realizado na Unidade de Pesquisa de Brotas da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios

(APTA), para obtenção dos dados de desempenho, peso relativo de órgãos, umidade de cama e viabilidade econômica, e o Experimento II, no Laboratório de Nutrição de Aves da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, UNESP, Campus de Botucatu, onde foram realizados os ensaios de metabolismo nas fases de 11 a 21 e de 25 a 35 dias.

Delineamento e Dietas experimentais

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 3 × 2 (0%, 50% e 100% de substituição de milho por sorgo × inclusão ou não de protease, xilanase e fitase exógenas). Os tratamentos consistiram de: 0% de sorgo; 0% de sorgo com enzimas; substituição de 50% do milho por sorgo; substituição de 50% do milho por sorgo com enzimas; substituição de 100% do milho por sorgo; substituição de 100% do milho por sorgo com enzimas. A inclusão de sorgo foi feita em substituição ao milho e a adição das enzimas nas dietas na forma *on top*, ou seja, sem considerar a valorização nutricional promovida pelo uso das enzimas exógenas. Nas dietas sem inclusão de enzimas exógenas, utilizou-se caulim como material inerte em substituição aos produtos enzimáticos. Todas as dietas foram isonutritivas e isoenergéticas (Tabelas 1 e 2), formuladas de acordo com as recomendações de Rostagno *et al.* (2011) para frangos de corte machos de desempenho médio e divididas em quatro fases: pré-inicial (1 a 7 dias), inicial (8 a 21 dias), crescimento (22 a 35 dias) e final (36 a 42 dias). O uso de amido e farelo de glúten de milho (60% PB) nas dietas contendo sorgo teve como objetivo torná-las isonutritivas e isocalóricas às dietas à base de milho.

Os níveis de inclusão dos produtos enzimáticos nas rações foram de acordo com as recomendações do fabricante, e as enzimas exógenas utilizadas foram: Protease, serina endopeptidase (RONOZYME® ProAct), produzida por *Bacillus licheniformis*, com atividade de 75.000 PROT/g do produto, inclusão de 200 g/ton de ração, que corresponde a 15.000 PROT/kg de ração; Xilanase (RONOZYME® WX), produzida por *Thermomyces lanuginosus spp.*, com atividade de 1.000 FXU/g do produto, inclusão de 150 g/ton, que corresponde a 150 FXU/kg de ração; 6-fitase, produzida por genes sintéticos de *Citrobacter braakii* expressados em *Aspergillus oryzae* (RONOZYME® HiPhos GT), com atividade de 10.000 FTU/g, inclusão de 100 g/ton, que corresponde a 1.000 FXU/kg de ração. O conteúdo de tanino condensado no sorgo utilizado nas rações foi de 0,11%, valor determinado por espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS).

Tabela 1. Composição centesimal e nutricional calculada das rações pré-inicial e inicial

Ingrediente (%)	Pré-inicial (1-7 dias)			Inicial (8-21 dias)		
	0%	50%	100%	0%	50%	100%
Milho	54,89	28,29	-	59,08	30,38	-
Sorgo ^A	-	28,29	55,89	-	30,38	59,88
Farelo de soja 45%	38,36	34,43	32,37	34,83	30,85	28,19
Óleo de soja	2,26	2,34	2,80	2,21	2,35	2,72
Glúten de milho 60%	-	2,00	3,00	-	2,00	3,40
Amido de milho	-	-	1,19	-	-	1,63
Fosfato bicálcico	1,91	1,91	1,90	1,51	1,51	1,51
Calcário calcítico	0,91	0,93	0,96	0,92	0,95	0,96
Sal	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
DL-Metionina 99%	0,36	0,36	0,37	0,28	0,29	0,30
L-Lisina HCl 79%	0,28	0,39	0,45	0,21	0,32	0,40
L-Treonina 98,5%	0,10	0,13	0,15	0,06	0,08	0,11
Bicarbonato de sódio	0,23	0,23	0,23	0,19	0,19	0,19
Premix ^{**}	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Cloreto de colina 70%	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Enzimas/Caulim ^B	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
Composição calculada						
EM (kcal/kg)	2.950	2.950	2.950	3.000	3.000	3.000
PB (%)	22,20	22,20	22,20	20,80	20,80	20,80
Ca (%)	0,92	0,92	0,92	0,82	0,82	0,82
P disponível (%)	0,47	0,47	0,47	0,39	0,39	0,39
Metionina dig. (%)	0,65	0,65	0,66	0,56	0,57	0,57
Met+Cis dig. (%)	0,94	0,94	0,94	0,85	0,85	0,85
Lisina dig. (%)	1,31	1,31	1,31	1,20	1,20	1,20
Treonina dig. (%)	0,85	0,85	0,85	0,76	0,76	0,76
Sódio (%)	0,22	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21
Cloro (%)	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
Potássio (%)	0,86	0,81	0,79	0,81	0,76	0,72

^AConcentração de tanino condensado no sorgo (0,11%) determinada por NIRS.

^BEnzimas: nível de inclusão total da combinação das enzimas protease, xilanase e fitase; Caulim: inerte.

^{**}Premix vitamínico e mineral para frangos de corte, níveis de garantia por kg de ração: Vit. A, 11.092 UI; Vit. D3, 2.678 UI; Vit. E, 24,86 UI; Ácido Fólico, 0,99 mg; Ácido Pantotênico, 11,78 mg; Vit. B6, 2,49 mg; Biotina, 0,1 mg; Niacina, 30,0 mg; Vit. B2, 4,5 mg; Vit. B1, 2,01 mg; Vit. B12, 12,00 µg; Vit. K3, 1,89 mg; Fe, 49,60 mg; Cu, 8,56 mg; Mn, 66,6 mg; Zn, 51,36 mg; I, 1,0 mg; Se, 0,3 mg; BHT, 2 mg; Salinomicina, 60 ppm e Virginiamicina, 16,5 ppm nas fases pré-inicial e inicial.

Tabela 2. Composição centesimal e nutricional calculada das rações crescimento e final

Ingrediente (%)	Crescimento (22-35 dias)			Final (36-42 dias)		
	0%	50%	100%	0%	50%	100%
Milho	61,74	31,71	-	66,49	34,00	-
Sorgo ^A	-	31,71	64,61	-	34,00	69,78
Farelo de soja	31,61	27,59	24,35	27,40	23,57	19,23
Óleo de soja	3,18	3,36	3,77	2,99	3,30	3,55
Glúten de milho 60%	-	2,00	3,48	-	1,84	3,97
Fosfato bicálcico	1,27	1,27	1,27	1,07	1,07	1,07
Calcário calcítico	0,86	0,89	0,91	0,77	0,79	0,82
Sal	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
DL-Metionina 99%	0,25	0,26	0,27	0,24	0,24	0,25
L-Lisina 79%	0,19	0,30	0,39	0,23	0,34	0,46
L-Treonina 98,5%	0,04	0,07	0,09	0,05	0,08	0,11
Bicarbonato de sódio	0,16	0,16	0,16	0,14	0,14	0,14
Premix ^{**}	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Cloreto de colina 70%	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
Enzimas/Caulim ^B	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
Composição calculada						
EM (kcal/kg)	3.100	3.100	3.100	3.150	3.150	3.150
PB (%)	19,50	19,50	19,50	18,00	18,00	18,00
Ca (%)	0,73	0,73	0,73	0,64	0,64	0,64
P disponível (%)	0,34	0,34	0,34	0,30	0,30	0,30
Metionina dig. (%)	0,52	0,52	0,53	0,49	0,49	0,50
Met+Cis dig. (%)	0,79	0,79	0,79	0,74	0,74	0,74
Lisina dig. (%)	1,08	1,08	1,08	1,01	1,01	1,01
Treonina dig. (%)	0,70	0,70	0,70	0,66	0,66	0,66
Sódio (%)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Cloro (%)	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
Potássio (%)	0,76	0,71	0,67	0,69	0,65	0,59

^AConcentração de tanino condensado no sorgo (0,11%) determinada por NIRS.

^BEnzimas: nível de inclusão total da combinação das enzimas protease, xilanase e fitase; Caulim: inerte.

^{**}Premix vitamínico e mineral para frangos de corte, níveis de garantia por kg de ração: Vit. A, 11.092 UI; Vit. D3, 2.678 UI; Vit. E, 24,86 UI; Ácido Fólico, 0,99 mg; Ácido Pantotênico, 11,78 mg; Vit. B6, 2,49 mg; Biotina, 0,1 mg; Niacina, 30,0 mg; Vit. B2, 4,5 mg; Vit. B1, 2,01 mg; Vit. B12, 12,00 µg; Vit. K3, 1,89 mg; Fe, 49,60 mg; Cu, 8,56 mg; Mn, 66,6 mg; Zn, 51,36 mg; I, 1,0 mg; Se, 0,3 mg; BHT, 2 mg; Salinomicina, 60 ppm e Virginiamicina, 16,5 ppm na fase de crescimento.

Uma unidade de protease (PROT) corresponde à quantidade da enzima que libera um mmol de p-nitroanilina a partir de um mM de substrato (Suc-Ala-Ala-Pro-Phe-pNA) por minuto em pH igual a 9,0 à 37° C. A atividade da xilanase (FXU) é determinada por meio da incubação da xilanase com um substrato de remazol-xilana, em pH igual a 6,0 à 50° C por 30 minutos e comparada à atividade de padrão de referência, da xilanase produzida por *Humicola insolens*. Uma unidade FTU de fitase se

refere à quantidade de fitase que libera 1 μ mol de ortofosfato inorgânico por minuto a partir de 0,0051 mol por litro de fitato de sódio em pH 5,5 e temperatura de 37° C.

Experimento I: desempenho, peso relativo de órgãos, umidade de cama e viabilidade econômica

Foram utilizados 1.152 pintos de corte machos de um dia de idade, da linhagem Cobb, vacinados no incubatório contra as doenças de Marek e Gumboro, distribuídos em 36 boxes, com seis tratamentos e seis repetições com 32 aves cada. As aves foram alojadas em boxes de 2,0 m², com cama de maravalha de 15 cm de espessura, equipados com comedouros tubulares e bebedouros tipo *nipple*. O galpão experimental utilizado foi do tipo convencional sem climatização.

Os parâmetros de desempenho avaliados semanalmente foram: peso corporal (PC), ganho de peso (GP), consumo de ração (CR) e conversão alimentar corrigida para mortalidade (CA), obtidos por meio da pesagem das aves e rações. As avaliações foram feitas em períodos acumulados de 1 a 7; 1 a 14; 1 a 21; 1 a 28; 1 a 35; e 1 a 42 dias de idade. A mortalidade de cada unidade experimental foi registrada diariamente para determinação da viabilidade. Ao final do período de criação (42 dias de idade) foi determinado o fator de produção (FEP) utilizando-se a fórmula: $FEP = ((PC \times VB) / (CA \times idade)) \times 100$.

Aos 21 e 42 dias, uma e duas aves por unidade experimental, respectivamente, foram retiradas de acordo com o peso médio do box, pesadas e sacrificadas por deslocamento cervical após jejum de duas horas. Posteriormente foram retirados e pesados: proventrículo, moela, intestino delgado, intestino grosso, fígado e pâncreas. Foram então calculados os pesos relativos em relação ao peso corporal das aves em jejum. Antes de serem pesados, os intestinos foram esvaziados e as gorduras de proventrículo e moela foram retiradas.

A umidade de cama foi determinada semanalmente por meio da coleta de material de cama de cinco diferentes pontos de todos os boxes, da superfície até o solo, de áreas afastadas da linha do *nipple* e do comedouro. As amostras de cama foram armazenadas em sacos plásticos, homogeneizadas e, imediatamente, alíquotas de 70 gramas foram retiradas e pesadas em bandeja de alumínio. As amostras foram submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada a 55° C por 24 horas, de acordo

com metodologia descrita por AOAC (2000). Após este período, as amostras foram retiradas da estufa e permaneceram em temperatura ambiente por 30 minutos antes de serem novamente pesadas.

Para a determinação dos índices econômicos foram feitas cotações atualizadas dos preços médios do quilograma de frango vivo e dos ingredientes utilizados nas rações junto a empresas brasileiras de nutrição animal, a CEPEA/ESALQ e a CONAB. As avaliações econômicas foram feitas em dois períodos de acordo com a variação do preço do milho. Os preços do milho considerados altos referem-se à média de preço no período de fevereiro a abril de 2014 (R\$0,55/kg) e baixos no período de agosto a outubro de 2013 (R\$0,42). Os preços do quilograma do frango vivo e do sorgo foram ajustados para os períodos avaliados junto a CONAB. Com isso, calculou-se o custo por quilograma de ração, que representa a relação entre o custo total de ração produzido por tratamento em todas as fases de criação e o volume total em quilogramas destas rações, somando-se todos os ingredientes utilizados. O custo por quilograma de frango produzido foi estimado com base na planilha disponibilizada pela Embrapa (2014) para apuração do custo de produção de frangos em janeiro de 2014 no estado de São Paulo, e representa a estimativa do custo total para produção de um quilograma de frango vivo, considerando-se que a soma dos custos com ração e pintinhos representa 83,12% do custo total de produção em galpão convencional. Para o cálculo deste índice faz-se a relação entre o custo total de produção do tratamento e a produção total de frango vivo do tratamento. O lucro final por ave representa a relação entre receita por ave (receita da venda de todas as aves do tratamento/número de aves) e custo por ave (custo total do tratamento/número de aves). O índice de lucratividade, que representa a porcentagem da receita disponível ao final da criação, foi calculado pela relação entre o lucro total do tratamento (receita total do tratamento - custo total do tratamento) e a receita total do tratamento.

Experimento II: ensaios de metabolismo - fases inicial e de crescimento

Foram realizados dois ensaios de metabolismo, na fase de 11 a 21 dias (inicial) e 25 a 35 dias (crescimento). As aves utilizadas nos ensaios foram alimentadas com dieta padrão à base de milho e farelo de soja desde o primeiro dia de vida até o início do respectivo período experimental. Portanto, no ensaio inicial, 150 pintos de corte (Cobb),

e no ensaio de crescimento, 120 pintos de corte (Cobb), foram alimentados com ração basal do primeiro até o 10º e do primeiro até o 24º dia de vida, respectivamente. A partir destes períodos, as dietas experimentais foram fornecidas às aves até o fim dos ensaios de metabolismo. Nos períodos dos ensaios, as aves foram alojadas em gaiolas de metabolismo, sendo cinco repetições por tratamento, com cinco aves por gaiola no ensaio inicial, e quatro aves por gaiola no ensaio de crescimento.

Os ensaios de metabolismo foram conduzidos durante dez dias, sendo cinco dias de adaptação das aves às dietas experimentais e cinco dias para coleta de excretas, realizada duas vezes ao dia, às 8 horas e 17 horas, utilizando-se o método de coleta total de excretas. As excretas coletadas de cada unidade experimental foram armazenadas e congeladas a -20° C e posteriormente homogeneizadas. As rações foram pesadas no início e ao fim do período de coleta para determinação do consumo de ração.

Após a homogeneização das excretas, alíquotas foram retiradas e submetidas à pré-secagem em estufa de ventilação forçada a $65 \pm 5^\circ\text{C}$ por 72 horas e moídas em moinhos tipo Willey. Em estufa a 105°C foi determinado o conteúdo de matéria seca total das amostras. O teor de nitrogênio total das rações experimentais e excretas foi determinado utilizando-se o método de micro-Kjeldahl, conforme metodologia proposta por Silva e Queiroz (2002), e a energia bruta por meio de bomba calorimétrica (IKA® - Werke). A partir destes dados foram calculados os coeficientes de metabolizabilidade aparente de matéria seca (CMMS), proteína bruta (CMPB) e energia bruta (CMEB), determinado pela razão do valor de EMAN e de energia bruta (EB) das dietas, de acordo com a fórmula:

$$CMNT(\%) = \left[\frac{(NTCON - NTEXC)}{NTCON} \right] \times 100, \text{ onde:}$$

CMNT: coeficiente de metabolizabilidade de nutriente/energia;

NTCON: quantidade de nutriente/energia consumido em gramas;

NTEXC: quantidade de nutriente/energia excretado em gramas

Os valores de energia metabolizável aparente corrigida para nitrogênio (EMAN) foram calculados utilizando-se as equações propostas por Matterson *et al.* (1965) e expressos em kcal/kg com base na matéria natural, calculados pela seguinte fórmula:

$$\text{EMAN da ração (kcal/kg MS)} = \frac{\text{EB ingerida} - (\text{EB excretada} \pm 8,22 \times \text{BN})}{\text{MS ingerida}}$$

Em que:

EB = Energia Bruta.

MS = Matéria Seca.

BN = Balanço de nitrogênio = N ingerido – N excretado.

O tempo de trânsito intestinal foi determinado de acordo com o tempo decorrido entre o início do consumo de ração até o aparecimento das primeiras excretas marcadas com óxido de ferro.

Análise estatística

Os resultados obtidos nos experimentos foram tabulados e submetidos à análise de variância com dois fatores ($P < 0,05$) e complementados pelo teste de comparações múltiplas de Tukey pelo procedimento General Lineal Model (GLM) com auxílio do programa estatístico SAS (2002).

Resultados

Desempenho

O uso de sorgo em substituição parcial ou total ao milho nas dietas reduziu ($P < 0,05$) o consumo de ração no período de um a sete dias de idade (Tabela 3). O peso corporal e o ganho de peso dos frangos foram reduzidos com a substituição parcial ou total de milho por sorgo do primeiro aos 14 dias ($P < 0,01$), e com a substituição total de um a 35 dias em relação às aves alimentadas com rações à base de milho ($P < 0,05$). Entretanto, a substituição parcial ou total de milho por sorgo nas rações não afetou o peso corporal e o ganho de peso das aves em comparação à dieta à base de milho, considerando-se o período de um a 42 dias ($P > 0,05$). A conversão alimentar das aves foi afetada pela inclusão de sorgo apenas na fase de um a 28 dias, quando o uso de dietas contendo 50% de sorgo foi superior ao uso de dietas com 100% de substituição de milho por sorgo ($P < 0,05$), se assemelhando, no entanto, às aves alimentadas com dietas à base de milho ($P > 0,05$).

A adição da combinação das enzimas exógenas protease, xilanase e fitase nas dietas melhorou o ganho de peso em todos os períodos acumulados avaliados. O peso corporal e ganho de peso das aves foram aumentados com a inclusão das enzimas nas rações em quase todos os períodos avaliados ($P < 0,05$), com exceção do peso corporal

aos sete dias, que não foi incrementado pelo uso das enzimas ($P = 0,06$). A conversão alimentar das aves que receberam enzimas exógenas na ração foi melhor do primeiro ao 14° dia ($P < 0,05$) e do primeiro ao 21° dia ($P < 0,01$) de idade, não apresentando efeitos nos demais períodos avaliados ($P > 0,05$). Não houve efeito dos níveis de sorgo e enzimas sobre a viabilidade e o fator de produção nos períodos analisados ($P > 0,05$).

Tabela 3. Níveis de substituição de milho por sorgo e uso de protease, xilanase e fitase em dietas para frangos de corte sobre o desempenho

Dias		Sorgo			Enzima		Significância			EPM
		0%	50%	100%	Sem	Com	Sorgo	Enzima	SxE	
1-7	PC ¹	180	177	176	176	179	ns	0,06	ns	0,90
	GP	134	132	130	130b	134a	ns	*	ns	0,82
	CR	169a	160b	159b	163	163	*	ns	ns	1,46
	CA	1,26	1,21	1,22	1,25	1,22	ns	ns	ns	0,01
	VIAB	98,4	99,0	99,0	98,3	99,3	ns	ns	ns	0,32
1-14	PC	495a	481b	473b	474b	491a	**	**	ns	2,75
	GP	448a	436b	427b	429b	446a	**	**	ns	2,66
	CR	581	560	565	573	565	ns	ns	ns	6,25
	CA	1,30	1,28	1,32	1,34b	1,27a	ns	*	ns	0,01
	VIAB	98,4	97,9	97,1	97,9	97,7	ns	ns	ns	0,45
1-21	PC	954	950	931	908b	982a	ns	**	ns	7,88
	GP	908	904	885	862b	936a	ns	**	ns	7,89
	CR	1279	1260	1247	1250	1278	ns	ns	ns	9,67
	CA	1,41	1,39	1,41	1,46b	1,37a	ns	**	ns	0,01
	VIAB	98,4	96,9	96,4	97,1	97,4	ns	ns	ns	0,51
1-28	PC	1586	1577	1547	1532b	1608a	ns	**	0,08	10,56
	GP	1539	1532	1501	1486b	1563a	ns	**	0,08	10,53
	CR	2386	2320	2379	2322	2366	ns	ns	ns	19,04
	CA	1,55ab	1,51a	1,59b	1,56	1,51	*	ns	ns	0,01
	VIAB	97,4	95,1	95,8	96,0	96,2	ns	ns	ns	0,63
1-35	PC	2264a	2243ab	2199b	2193b	2278a	*	**	ns	12,68
	GP	2218a	2198ab	2154b	2148b	2232a	*	**	ns	12,66
	CR	3488	3382	3467	3409	3458	ns	ns	ns	23,26
	CA	1,57	1,54	1,61	1,59	1,55	0,05	ns	ns	0,01
	VIAB	97,4	94,3	95,8	95,7	96,0	ns	ns	ns	0,68
1-42	PC	2825	2818	2751	2767b	2829a	ns	*	ns	14,99
	GP	2779	2773	2706	2721b	2784a	ns	*	ns	14,98
	CR	4672	4562	4603	4594	4630	ns	ns	**	28,22
	CA	1,68	1,65	1,70	1,69	1,66	0,06	ns	ns	0,01
	VIAB	95,3	92,4	95,3	94,4	94,3	ns	ns	ns	0,70
	FEP	365	362	351	352	366	ns	ns	ns	4,29

^{a,b}Médias seguidas por letras distintas na mesma linha diferem entre si.

¹PC, peso corporal (g); GP, ganho de peso (g); CR, consumo de ração (g); CA, conversão alimentar (g/g); VIAB, viabilidade (%); FEP, fator de produção.

SxE, sorgo vs. enzimas; EPM, erro padrão das médias; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; ns, não significativo.

Houve interação entre níveis de sorgo e enzimas sobre o consumo de ração dos frangos de um a 42 dias de idade ($P < 0,01$) (Tabela 4). Frangos alimentados com dietas sem enzimas apresentaram redução no consumo de ração quando 50% do milho foram substituídos por sorgo. Entretanto, o uso de dietas com substituição total de milho por sorgo sem inclusão de enzimas não apresentou diferença no consumo de ração em relação às dietas à base de milho e com substituição parcial, sem o uso de enzimas exógenas. Aves alimentadas com dietas contendo 50% de sorgo em substituição ao milho apresentaram aumento do consumo de ração quando houve inclusão das enzimas nas dietas.

Tabela 4. Desdobramento da interação entre nível de sorgo e inclusão de enzimas exógenas sobre o consumo de ração aos 42 dias de idade

Enzimas	Níveis de sorgo (%)		
	0	50	100
Sem	4726a	4428Bb	4628ab
Com	4618	4694A	4578

^{a,b}Médias seguidas por letras minúsculas distintas na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,01$); ^{A,B}Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na mesma coluna diferem entre si pelo teste F ($P < 0,01$).

Metabolizabilidade de energia e nutrientes e tempo de trânsito intestinal

Houve interação entre os níveis de sorgo e inclusão de enzimas nas dietas sobre os coeficientes de metabolizabilidade de matéria seca e energia bruta na fase de 11 a 21 dias (Tabelas 5 e 6). A substituição total de milho por sorgo reduziu o coeficiente de metabolizabilidade da matéria seca ($P < 0,05$), porém, o uso das enzimas exógenas nestas dietas elevou este parâmetro na fase inicial. No mesmo período, a inclusão de enzimas exógenas elevou o coeficiente de metabolizabilidade de energia bruta ($P < 0,05$) apenas em dietas com substituição total de milho por sorgo.

A inclusão de enzimas exógenas nas dietas elevou os coeficientes de metabolizabilidade de matéria seca ($P < 0,05$), proteína bruta ($P < 0,05$) e energia bruta ($P < 0,01$) na fase inicial. Na fase de crescimento, apenas o coeficiente de

metabolizabilidade de energia bruta foi melhorado com o uso de enzimas exógenas nas dietas ($P < 0,01$).

A substituição parcial ou total de milho por sorgo nas dietas reduziu os coeficientes de metabolizabilidade da proteína bruta na fase inicial, e a substituição total de milho por sorgo reduziu este coeficiente na fase de crescimento, em relação à dieta à base de milho ($P < 0,01$). Os coeficientes de metabolizabilidade de energia bruta não foram afetados pela substituição total de milho por sorgo em nenhum dos períodos avaliados ($P > 0,05$).

A substituição de milho por sorgo nas dietas não afetou a energia metabolizável aparente corrigida para nitrogênio (EMAn) em nenhum dos períodos avaliados ($P > 0,05$). A inclusão de enzimas nas dietas melhorou a EMAn nas fases de 11 a 21 e 25 a 35 dias ($P < 0,01$).

O tempo de trânsito intestinal não foi afetado pelo nível de sorgo ou uso de enzimas em nenhum dos períodos avaliados neste estudo ($P > 0,05$).

Tabela 5. Sorgo e enzimas exógenas sobre a metabolizabilidade de energia e nutrientes da dieta

Dias		Sorgo			Enzimas		Significância			
		0%	50%	100%	Sem	Com	Sorgo	Enzima	SxE	EPM
11-21	CMMS ¹	73,5	73,0	72,7	72,6b	73,5a	0,10	*	*	0,21
	CMPB	60,7a	57,9b	57,6b	58,0b	59,5a	**	*	0,08	0,48
	CMEB	71,2	70,9	70,1	70,0	71,4	0,08	**	*	0,26
	EMAn	2.855	2.844	2.856	2.818b	2.885a	ns	**	ns	9,53
	TTI	160	163	165	165	160	ns	ns	ns	3,55
25-35	CMMS	76,4	76,7	77,1	76,6	76,9	ns	ns	ns	0,13
	CMPB	57,3a	55,0ab	52,4b	54,3	55,5	**	ns	ns	0,65
	CMEB	77,0	76,8	77,3	76,6b	77,5a	ns	**	ns	0,16
	EMAn	3.165	3.158	3.212	3.150b	3.206a	ns	**	ns	9,43
	TTI	185	185	202	184	197	ns	ns	ns	4,73

¹CMMS, coeficiente de metabolizabilidade de matéria seca (%); CMPB, coeficiente de metabolizabilidade de proteína bruta (%); CMEB, coeficiente de metabolizabilidade de energia bruta (%); TTI, tempo de trânsito intestinal (minutos); EMAn, energia metabolizável aparente corrigida para nitrogênio (kcal/kg).

^{a,b}Médias seguidas por letras distintas na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey

SxE, sorgo vs. enzimas; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; ns, não significativo; EPM, erro padrão das médias.

Tabela 6. Desdobramento da interação entre nível de sorgo e inclusão de enzimas exógenas sobre os coeficientes de metabolizabilidade de matéria seca (CMMS) e energia bruta (CMEB) de 11 a 21 dias

Enzimas	Níveis de sorgo (%)		
	0	50	100
		CMMS (%)	
Sem	73,4a	72,9ab	71,7Bb
Com	73,6	73,2	73,7A
		CMEB (%)	
Sem	70,5ab	70,8a	68,8bB
Com	71,8	71,0	71,4A

^{a,b}Médias seguidas por letras minúsculas distintas na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); ^{A,B}Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na mesma coluna diferem entre si pelo teste F ($P < 0,05$).

Peso relativo de órgãos

Não houve interação entre nível de sorgo e uso de protease, xilanase e fitase sobre o peso relativo de órgãos aos 21 e 42 dias ($P > 0,05$).

Frangos alimentados com dietas contendo enzimas exógenas apresentaram pesos relativos de moela ($P < 0,05$) e intestino delgado ($P < 0,01$) reduzidos aos 21 dias de idade (Tabela 7). Não houve efeito da substituição de milho por sorgo sobre os pesos relativos de órgãos aos 21 e 42 dias, e do uso de enzimas exógenas aos 42 dias ($P > 0,05$).

Tabela 7. Peso relativo de órgãos (g/100g de peso corporal) de frangos alimentados com dietas contendo sorgo em substituição ao milho e enzimas exógenas

Idade	Órgão	Sorgo			Enzima		Significância			
		0%	50%	100%	Sem	Com	Sorgo	Enzima	SxE	EPM
21 dias	Proventrículo	0,49	0,52	0,51	0,53	0,49	ns	ns	ns	0,02
	Moela	2,12	1,95	1,99	2,09a	1,95b	ns	*	ns	0,04
	ID	4,98	4,58	4,65	5,22a	4,26b	ns	**	ns	0,14
	IG	0,81	0,76	0,77	0,82	0,74	ns	0,09	ns	0,02
	Fígado	2,43	2,50	2,67	2,50	2,56	ns	ns	ns	0,05
	Pâncreas	0,33	0,35	0,33	0,35	0,32	ns	0,08	ns	0,01
42 dias	Proventrículo	0,27	0,28	0,27	0,28	0,27	ns	ns	ns	0,01
	Moela	1,19	1,16	1,19	1,18	1,17	ns	ns	ns	0,02
	ID	1,80	1,85	1,82	1,82	1,82	ns	ns	ns	0,03
	IG	0,42	0,40	0,40	0,41	0,40	ns	ns	ns	0,01
	Fígado	1,64	1,64	1,73	1,69	1,65	ns	ns	ns	0,03
	Pâncreas	0,15	0,14	0,16	0,16	0,15	ns	ns	ns	0,01

^{a,b}Médias seguidas por letras distintas na mesma linha diferem entre si; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; ns, não significativo; EPM, erro padrão das médias.

Umidade de cama

A adição de enzimas exógenas aumentou a umidade de cama (Tabela 8) aos sete ($P < 0,01$) e aos 42 dias de idade ($P < 0,05$). A substituição total de milho por sorgo nas dietas promoveu redução da umidade de cama em relação à dieta à base de milho aos 14 dias ($P < 0,01$), e o uso de 50% ou 100% de sorgo nas dietas reduziu a umidade da cama aos 35 dias ($P < 0,05$) e aos 42 dias de idade ($P < 0,01$) quando comparados com ração à base de milho.

Tabela 8. Umidade de cama (%) de frangos de corte alimentados com dietas contendo sorgo em substituição ao milho e enzimas exógenas

Dias	Sorgo			Enzima		Significância			
	0%	50%	100%	Sem	Com	Sorgo	Enzima	SxE	EPM
7	9,83	10,94	9,59	9,40b	10,84a	ns	**	0,05	0,31
14	17,70a	16,38ab	14,71b	16,29	16,23	**	ns	ns	0,37
21	21,22	20,90	20,69	20,78	21,09	ns	ns	ns	0,42
28	25,65	24,50	25,12	24,86	25,31	ns	ns	ns	0,52
35	28,92a	26,37b	26,27b	27,15	27,22	*	ns	ns	0,42
42	30,39a	25,93b	27,38b	26,99b	28,81a	**	*	ns	0,49

^{a,b}Médias seguidas por letras distintas na mesma linha diferem entre si; EPM, erro padrão das médias; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; ns, não significativo.

Análise econômica

O custo do quilograma de ração foi reduzido com o aumento do nível de substituição de milho por sorgo nas dietas tanto em períodos de alta como de baixa no preço do milho e o uso de enzimas exógenas elevou o custo das rações (Tabela 9). A inclusão de sorgo nas dietas reduziu o custo de produção do quilograma de frango vivo em períodos de preço alto e baixo do milho. A adição de enzimas exógenas em dietas à base de milho ou à base de sorgo reduziu o custo de produção do quilograma do frango vivo, porém elevou o custo de produção em dietas com substituição parcial de milho por sorgo, em ambos os períodos avaliados. O lucro final por ave foi elevado com o aumento do nível de sorgo nas dietas. O lucro final por ave foi elevado em todos os períodos com a inclusão de enzimas nas dietas, porém o uso de enzimas em dietas com substituição parcial de milho por sorgo no período de alta do preço milho reduziu o

lucro por ave. A substituição parcial e total de milho por sorgo aumentou o índice de lucratividade em ambos os períodos avaliados e o uso de enzimas melhorou a lucratividade em dietas à base de milho e à base de sorgo, mas diminuiu este índice em dietas com substituição parcial de milho por sorgo.

Tabela 9. Análise econômica do uso de sorgo e enzimas exógenas em dietas para frangos de corte

Nível de sorgo	Enzimas	Custo/kg de ração ¹		Custo/kg de frango		Lucro/ave		Lucratividade (%)	
		Alto ²	Baixo ³	Alto	Baixo	Alto	Baixo	Alto	Baixo
Preço do milho									
0% sorgo	Sem	0,85	0,77	2,17	2,00	0,68	2,04	10,0	26,6
0% sorgo	Com	0,87	0,79	2,15	1,99	0,75	2,11	11,0	27,2
50% sorgo	Sem	0,80	0,74	2,02	1,92	1,07	2,25	16,1	29,8
50% sorgo	Com	0,82	0,76	2,06	1,93	1,01	2,29	14,6	29,2
100% sorgo	Sem	0,76	0,72	2,01	1,92	1,10	2,21	16,7	29,8
100% sorgo	Com	0,78	0,74	2,00	1,91	1,15	2,28	17,2	30,1

¹Custo/kg de ração, custo para produção de um quilograma de ração considerando o preço de todos os ingredientes, em reais; Custo/kg de frango, custo total para produção de um quilograma de frango vivo, calculado de acordo com planilha disponibilizada pela EMBRAPA (2014), em reais; Lucro/ave, receita total por ave – custo total por ave, em reais; Lucratividade, relação entre lucro líquido e receita da venda dos frangos vivos.

²Média de preços de fevereiro a abril de 2014: milho (R\$0,55/kg); sorgo (R\$0,33/kg); frango vivo (R\$2,41/kg).

³Média de preços de agosto a outubro de 2013: milho (R\$0,42/kg); sorgo (R\$0,26/kg); frango vivo (R\$2,73/kg).

Discussão

No presente estudo observou-se que o uso de protease, xilanase e fitase nas dietas promoveu melhoras progressivas no ganho de peso das aves até os 21 dias, e a partir deste período os efeitos positivos foram reduzidos gradativamente até o período final de criação. Aves alimentadas com dietas contendo enzimas exógenas apresentaram ganhos de peso 3,1% (1-7 dias), 3,9% (1-14 dias), 8,6% (1-21 dias), 5,2% (1-28 dias), 3,9% (1-35 dias), 2,3% (42 dias) superiores às aves que não receberam suplementação enzimática, demonstrando que em termos de desempenho a resposta positiva à inclusão de enzimas exógenas nas dietas é mais expressiva na fase inicial de criação. Em estudos

desenvolvidos por Selle *et al.* (2010), o uso de dietas à base de sorgo ou trigo contendo protease, xilanase e beta-glucanase exógenas aumentou a retenção de nitrogênio das aves, melhorando a conversão alimentar apenas nas primeiras semanas de idade. No presente estudo, a melhora no desempenho inicial promovida pelo uso das enzimas exógenas pode ser atribuída ao melhor aproveitamento de nutrientes da dieta, evidenciado pelo aumento nos coeficientes de metabolizabilidade de matéria seca em 1,2%, de proteína bruta em 2,6%, e de energia bruta em 2,0%. De acordo com Sakomura *et al.* (2004), as atividades de enzimas pancreáticas envolvidas na digestão como amilase, tripsina e lipase, aumentam com o avançar da idade das aves, principalmente na segunda semana de vida, quando o pâncreas atinge seu desenvolvimento máximo. Com isso, é provável que a inclusão de protease, xilanase e fitase exógenas nas dietas complementou a atividade de enzimas endógenas no trato digestivo das aves, melhorando os parâmetros de metabolizabilidade de matéria seca, proteína bruta e energia bruta nas primeiras semanas de idade, e, consequentemente, o desempenho. Este efeito é evidenciado pela melhora na conversão alimentar de aves alimentadas com dieta contendo enzimas exógenas apenas nos períodos de um a 14 e um a 21.

Os benefícios promovidos pela inclusão de protease, xilanase e fitase sobre a metabolizabilidade de energia bruta (3,8%) e matéria seca (2,8%) na fase de 11 a 21 dias apenas na dieta com 100% de sorgo, demonstram que, considerando-se o aproveitamento da dieta na fase inicial, o uso de enzimas exógenas pode atenuar os efeitos negativos ocasionados pelas características do grão de sorgo, como kafirina, tanino e fitato na fase inicial de criação, melhorando o aproveitamento de energia e nutrientes da dieta.

A substituição parcial ou total de milho por sorgo nas dietas reduziu o consumo de ração das aves na primeira semana de vida, apesar de não ter afetado as demais variáveis de desempenho neste período. Este efeito pode ser atribuído ao sabor adstringente dos taninos presentes no sorgo quando combinados com proteínas salivares, prejudicando a palatabilidade e, consequentemente, o consumo de ração (Butler *et al.*, 1984). De acordo com estudo desenvolvido por Thomas e Ravindran (2008), o ganho de peso das aves foi prejudicado pela substituição total de milho por sorgo nas dietas em 11,5% na primeira semana de idade. No presente estudo, a

substituição parcial e total de milho por sorgo aos 14 dias prejudicou o ganho de peso e o peso corporal das aves em 5%. Entretanto, aos 35 dias, apenas o uso de dietas com 100% de sorgo prejudicou o desempenho das aves, em 3%, demonstrando que frangos de corte se tornam menos susceptíveis aos efeitos negativos provocados pelas propriedades do grão de sorgo com o avançar da idade, em termos de desempenho. Estes prejuízos são atribuídos aos efeitos negativos causados pela inclusão de sorgo nas dietas sobre o aproveitamento da proteína. No presente estudo, tanto a substituição parcial como a total de milho por sorgo reduziu os coeficientes de metabolizabilidade da proteína bruta na fase inicial em 4,6% e 5,1%, respectivamente, em relação à dieta à base de milho. Entretanto, na fase de crescimento, apenas a substituição total prejudicou os coeficientes de metabolizabilidade da proteína, enquanto a substituição de 50% de milho por sorgo nas dietas não afetou este parâmetro. Esta teoria é confirmada pela ausência de efeitos negativos ocasionados pela substituição de milho por sorgo considerando-se o período total de criação das aves.

O consumo de ração de aves alimentadas com dietas sem enzimas exógenas foi reduzido quando se utilizou 50% de sorgo em comparação à dieta à base de milho, sendo que este consumo foi elevado com a inclusão das enzimas. Não existem informações disponíveis na literatura a respeito desta interação, porém este efeito sugere que existe algum mecanismo de interação entre os componentes do sorgo e do milho sobre a ingestão de alimentos.

O tempo de trânsito intestinal não foi afetado pelos níveis de sorgo nem pela inclusão de enzimas nas dietas. Em estudos conduzidos por Liu *et al.* (2013), a adição de protease em dieta à base de sorgo também não alterou o tempo de retenção da digesta em diferentes segmentos do intestino delgado. Sabe-se que o uso de cereais contendo grande quantidade de polissacarídeos não amiláceos (PNAs) em dietas para frangos de corte pode afetar o tempo de trânsito intestinal (Choct, 1996). Com isso, é provável que a ausência de efeito sobre o tempo de trânsito intestinal neste estudo possa ser atribuída ao baixo conteúdo de PNAs presente nos grãos de milho e sorgo.

O uso de sorgo em substituição ao milho nas dietas não afetou o peso relativo de órgãos aos 21 e aos 42 dias de idade, resultados semelhantes aos encontrados por Thomas e Ravindran (2008), quando o fornecimento de dietas à base de sorgo não afetou o peso de órgãos do trato digestivo das aves quando comparado a dietas à base de

milho. De acordo com Liu *et al.* (2014), o uso de dietas à base de milho ou de sorgo, contendo ou não fitase, não afetou o peso relativo da moela de frangos de corte. Singh *et al.* (2012) também não encontram diferenças entre o peso relativo de moela de frangos de corte recebendo dietas suplementadas ou não com xilanase. No presente estudo, a inclusão das enzimas exógenas nas dietas promoveu redução do peso relativo da moela aos 21 dias de idade possivelmente pelo maior aproveitamento das proteínas com o uso de protease exógena, evidenciado pela elevação do coeficiente de metabolizabilidade da proteína bruta na fase inicial. O crescimento da moela está relacionado com a maior secreção de pepsina e ácido clorídrico, com o objetivo de estimular a degradação das proteínas (Svihus, 2011). Como a inclusão de enzimas exógenas nas dietas melhorou a metabolizabilidade da proteína bruta na fase inicial, complementando a ação das enzimas proteolíticas endógenas, o desenvolvimento da moela neste período pode ter sido reduzido devido a maior degradabilidade deste nutriente e menor necessidade de secreção de enzimas endógenas.

O peso relativo do intestino delgado na fase inicial foi reduzido com a adição das enzimas exógenas nas dietas. Em estudos desenvolvidos por Barekatain *et al.* (2013), o uso de xilanase em dietas para frangos de corte também reduziu o peso relativo do intestino delgado das aves aos 21 dias de idade. De acordo com trabalho conduzido por Mahagna *et al.* (1995), a inclusão de protease e amilase nas dietas reduziu o peso relativo do intestino delgado aos sete e aos 14 dias de idade das aves. A inclusão individual ou em combinação de fitase e xilanase nas dietas também promoveu redução do peso relativo do intestino delgado das aves em estudos desenvolvidos por Wu *et al.* (2004). A redução do peso relativo de intestino é um indicativo de menor proliferação celular e, conseqüentemente, menor exigência de manutenção neste órgão (Adeola e Cowieson, 2011). No presente estudo, o uso de enzimas exógenas nas dietas melhorou o aproveitamento de energia e nutrientes na fase inicial, reduzindo assim a quantidade de substratos que passam pelo trato digestivo, que poderiam ser utilizados por microrganismos patogênicos presentes no trato, diminuindo portanto a proliferação celular no epitélio intestinal em resposta à presença de patógenos.

O uso de enzimas exógenas aumentou a umidade de cama em 15,3% aos sete e 6,7% aos 42 dias. Estes resultados foram semelhantes aos encontrados por Farahat *et al.* (2013), quando da inclusão de fitase em dietas para perus, relataram aumento da

umidade da cama em 10%. Entretanto, Bozutti (2009) não encontrou diferenças na umidade de cama entre aves alimentadas com dietas à base de sorgo ou de milho. Sabe-se que o uso de fitase pode reduzir as perdas endógenas de sódio ocasionadas pela presença do fitato no intestino das aves (Liu *et al.*, 2008). Com isso, é possível que o uso da fitase tenha elevado o conteúdo de sódio no trato digestivo, aumentando a umidade das excretas e, conseqüentemente, da cama. Outra hipótese seria o aumento da osmolaridade da digesta de aves alimentadas com fitase, devido a maior liberação de cátions do que ânions nos estágios iniciais de degradação do fitato, já que a 6-fitase atua de forma cíclica, liberando gradualmente os grupos fosfatos. Desta forma, ocorre uma liberação desproporcional de cátions e ânions, aumentando a excreção de água no intestino e a produção de urina, aumentando assim a umidade da cama (Bedford e Masey-O'Neill, 2012).

A inclusão de sorgo nas dietas reduziu a umidade de cama aos 14 dias em 16,9% com a substituição total de milho por sorgo. Aos 35 e 42 dias de idade das aves, tanto a substituição parcial como a total de milho por sorgo nas dietas promoveu diminuição da umidade de cama, sendo os efeitos mais expressivos aos 42 dias, com reduções de 14,7% e 9,9% referentes às dietas com 50% e 100% de sorgo, respectivamente. Este feito pode ter sido ocasionado pelo conteúdo de potássio nas dietas, que está proporcionalmente relacionado com a umidade de cama (Pesti *et al.*, 1999). Além disso, de acordo com Enting *et al.* (2009), este efeito se torna mais expressivo com o avançar da idade. No presente estudo, o maior nível de inclusão do farelo de soja nas dietas à base de milho em comparação às dietas contendo sorgo, foi realizado com o objetivo de balancear o nível proteico das rações devido ao menor conteúdo de proteína bruta do milho. O farelo de soja possui grande concentração de potássio em sua composição (Rostagno *et al.*, 2011), aumentando os níveis de potássio nas dietas à base de milho, prejudicando a osmolaridade da digesta e, conseqüentemente, a umidade da cama, principalmente no período final de criação, das aves alimentadas com rações à base de milho e farelo de soja.

A substituição parcial e total de milho por sorgo reduziu o custo do quilograma da ração em ambos os períodos avaliados. Mesmo com o maior nível de inclusão de aminoácidos sintéticos nas rações contendo sorgo, devido ao menor conteúdo de aminoácidos essenciais neste cereal (Rostagno *et al.*, 2011), o custo da ração foi

reduzido com o aumento do nível de inclusão de sorgo nas dietas. As reduções no custo da ração foram mais expressivas no período em que o milho apresentou preço alto, quando a substituição parcial diminuiu o custo em 5,9%, e a total em 10,6%. Entretanto, mesmo em períodos onde o milho apresentou preço baixo, as substituições parcial e total de milho por sorgo reduziram o custo da ração em 3,9% e 6,5%, respectivamente. A adição de protease, xilanase e fitase nas dietas onerou o custo do quilograma da ração em 2,4% (R\$ 0,02) devido ao custo com os produtos enzimáticos. O custo de produção do quilograma de frango vivo foi maior com o uso de dietas à base de milho, mesmo em períodos de preço baixo deste grão. A substituição total de milho por sorgo, sem considerar o uso das enzimas, diminuiu o custo de produção do quilograma de frango em 7,4% quando o preço do milho apresentou-se alto, e em 4% com preço do milho baixo. A inclusão de enzimas exógenas reduziu o custo de produção em dietas à base de milho e à base de sorgo em um centavo (cerca de 0,5%), porém onerou o custo de produção nas rações contendo 50% de milho e 50% de sorgo. Esta elevação é atribuída à elevação do consumo de ração observada no período de um a 42 dias, quando o uso das enzimas elevou o consumo de ração das aves recebendo dietas com substituição parcial de milho por sorgo, sem elevar o ganho de peso de forma significativa. Os resultados encontrados no presente estudo são contraditórios aos encontrados por Santos et al. (2006), que observaram que o uso de sorgo em substituição ao milho não reduziu o custo do quilograma de ração e de produção do quilograma de frango. Neste estudo, o lucro por ave foi reduzido em 5,6% com o uso de enzimas nas dietas com substituição parcial de milho por sorgo, quando o milho apresentou preço alto, devido à elevação do consumo de ração com a inclusão das enzimas nesta dieta. A inclusão das enzimas nas dietas à base de milho e à base de 100% de sorgo elevou o lucro por ave no período de alta do milho em 10,3% e 4,5%, respectivamente, e o no período de baixa do milho em 3,4% e 3,2%, respectivamente. O aumento do lucro por ave com o uso de sorgo e enzimas nas rações resultou em melhora nos índices de lucratividade das dietas contendo sorgo e enzimas exógenas. Em período de preço alto do milho, o aumento do nível de substituição de milho por sorgo resultou em aumento da lucratividade, sendo que a inclusão de enzimas nas dietas à base de milho ou com 100% de sorgo elevou ainda mais a lucratividade. Considerando o período de preço baixo do milho, o uso de sorgo melhorou a lucratividade, porém, a lucratividade obtida pela substituição total foi

semelhante à substituição parcial (29,8%), sendo que o uso de enzimas nas dietas com substituição total apresentou o melhor índice de lucratividade (30,1%). Desta forma, os índices econômicos são favorecidos com o uso de enzimas em dietas à base de milho ou sorgo, principalmente em períodos de alta do milho. A substituição parcial de milho por sorgo ou a substituição total com o uso de enzimas exógenas, em períodos de baixa do milho, melhora os índices econômicos da criação.

Conclusões

Considerando-se o período de 1 a 42 dias, a substituição total de milho por sorgo em dietas para frangos de corte é viável em termos produtivos e econômicos.

A inclusão combinada de protease, xilanase e fitase em dietas para frangos de corte melhora a metabolizabilidade de matéria seca, proteína bruta e energia bruta na fase inicial e favorece o desempenho e os índices econômicos da criação.

Referências

- Adeola O, Cowieson AJ (2011) BOARD-INVITED REVIEW: Opportunities and challenges in using exogenous enzymes to improve nonruminant animal production. *Journal of Animal Science*, **89**, 3189-3218.
- AOAC (2000) 'Official methods of analysis.' 17th edn. (Association of Official Analytical Chemists: Gaithersburg, MD)
- Avila E, Arce J, Soto C, Rosas F, Ceccantini M, McIntyre DR (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**, 279-286.
- Barekattain MR, Antipatis C, Choct M, Iji PA (2013) Interaction between protease and xylanase in broiler chicken diets containing sorghum distillers' dried grains with solubles. *Animal Feed Science and Technology*, **182**, 71-81.
- Bedford MR, Masey-O'Neill HV (2012) Mythbusters – Enzymes in the spotlight. In 'Proceedings of the Australian Poultry Science Symposium'. (Ed. J Roberts) pp. 112-119. (University of Sydney: Sydney)

Bozutti SRA (2009) 'Avaliação de ingredientes alternativos na alimentação de frangos de corte com a adição de enzimas.' M.S. thesis, Universidade de São Paulo, Brasil.

Butler LG, Riedl DJ, Lebryk DG, Blytt HJ (1984) Interaction of proteins with sorghum tannin: mechanism, specificity and significance. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 61, 916-920.

Cadogan DJ, Selle PH, Creswell D, Partridge G (2005) Phytate limits broiler performance and nutrient digestibility in sorghum based diets. 'Proceedings of the Australian Poultry Science Symposium'. (Ed. TA Scott) pp. 39-41. (University of Sydney: Sydney)

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2013) Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos [Online]. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_11_08_09_29_24_boletim_graos_novembro_2013.pdf (acesso em 10 de janeiro 2014)

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2014) Preços Médios Mensais [Online]. Disponível em: <http://sisdep.conab.gov.br/precosiagroweb/> (acesso em 10 de janeiro 2014)

Choct M (2006) Enzymes for the feed industry: past, present and future. *World's Poultry Science Journal*, **62**, 5-16.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Central de Informações de Aves e Suínos. Custo de produção de frangos [Online]. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/cias/dados/custo.php> (acesso em 10 de fevereiro 2014)

Enting H, Mozos JL, Gutiérrez ADA, Ayala PP (2009) Influence of minerals on litter moisture. In: 'Proceedings of the 17th European Symposium on Poultry Nutrition.' pp.47-52 (Edinburgh: Scotland)

Farahat MH, Abdel-Razik WM, Hassanein EI, Noll SL (2013) Effect of phytase supplementation to diets varying in chloride level on performance, litter moisture, foot pad score, and gait score of growing turkeys. *Poultry Science*, **92**, 1837-1847.

Francesch M, Brufau J (2004) Nutritional factors affecting excreta/litter moisture and quality. *World's Poultry Science Journal*, **60**, 64-75.

Garcia RG, Mendes AA, Costa C, Paz ICLA, Takahashi SE, Pelícia KP, Komiyama CM, Quinteiro RR (2005) Effects on performance and meat quality of replacing corn with sorghum in a broiler diet. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, **57**, 634-643.

Garcia RG, Mendes AA, Paz ICLA, Komiyama CM, Caldara FR, Nääs IA, Mariano WS (2013) Implications of the use of sorghum in broiler production. *Brazilian Journal of Poultry Science*, **15**, 257-262.

Gidley MJ, Pluschke AM, Sopade PA, Al-Rabadi GJS, Sultan A, Gan CY, Li X, Zhang D, Bryden WL (2011) Sorghum grain starch digestibility: effects of particle size and enzyme treatment. In 'Proceedings of the Australian Poultry Science Symposium'. (Ed. J Roberts) pp. 139-146. (University of Sydney: Sydney)

Leite PRSC, Leandro NSM, Stringhini JH, Café MB, Gomes NA, Filho, RMJ (2011) Desempenho de frangos de corte e digestibilidade de rações com sorgo ou milho e complexo enzimático. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **46**, 280-286.

Liu N, Ru YJ, Li FD, Cowieson AJ (2008) Effect of diet containing phytate and phytase on the activity and messenger ribonucleic acid expression of carbohydrase and transporter in chickens. *Journal of Animal Science*, **86**, 3432-3439.

Liu SY, Péron A, Cadogan DJ, Truong HH, Selle PH (2014) Phytase supplementation of maize-, sorghum- or wheat-based broiler diets. In 'Proceedings of the Australian Poultry Science Symposium'. (Ed. P Selle) pp.41-44. (University of Sydney: Sydney)

Liu SY, Selle PH, Court SG, Cowieson AJ (2013) Protease supplementation of sorghum-based broiler diets enhances amino acid digestibility coefficients in four small intestinal sites and accelerates their rates of digestion. *Animal Feed Science and Technology*, **183**, 175-183.

Mahagna M, Nir I, Larbier M, Nitsan Z (1995) Effect of age and exogenous amylase and protease on development of the digestive tract, pancreatic enzyme activities and

digestibility of nutrients in young meat-type chicks. *Reproduction Nutrition Development*. **35**, 201-212.

Mansoori B, Acamovic T (2007) The effect of tannic acid on the excretion of endogenous methionine, histidine and lysine with broilers. *Animal feed science and technology*, **134**, 198-210.

Masey-O'Neill HV, Singh M, Cowieson AJ (2014) Effects of exogenous xylanase on performance, nutrient digestibility, volatile fatty acid production and digestive tract thermal profiles of broilers fed on wheat-or maize-based diet. *British poultry science* [Just accepted]

Matterson, LD (1965) Metabolizable energy of feed ingredients for chickens. Connecticut: UNICONN PRESS, 11p.

Oria MP, Hamaker BR, Axtell JD, Huang CP (2000) A highly digestible sorghum mutant cultivar exhibits a unique folded structure of endosperm protein bodies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **97**, 5065-5070.

Pesti GM, Cervantes H, Bakalli RI, Bafundo KW, Garcia MN (1999) Studies on semduramicin and nutritional responses: 3. Electrolyte balance. *Poultry Science*, **78**, 1552-1560.

Rocha VRR, Júnior WMD, Rabello CB, Ramalho RP, Ludke MCMM, Silva EC (2008) Substituição total do milho por sorgo e óleo de abatedouro avícola em dietas para frangos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, **37**, 95-102.

Rostagno HS, Albino LFT, Donzele JL, Gomes PC, Oliveira RF, Lopes DC, Ferreira AS, Barreto SLT, Euclides RF (Eds) (2011) 'Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais (3rd edn).' (Universidade Federal de Viçosa: Viçosa, Brasil)

Sakomura NK, Bianchi MD, Pizauro JM, Café MB, Freitas ER (2004) Efeito da idade dos frangos de corte na atividade enzimática e digestibilidade dos nutrientes do farelo de soja e soja integral. *Revista Brasileira de Zootecnia*, **33**, 924-935.

Santos MSV, Espíndola GB, Fuentes MFF, Freitas ER, Carvalho LE (2006) Utilização de complexo enzimático em dietas à base de sorgo-soja para frangos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, **35**, 811-817.

SAS (2002) 'SAS user's guide: statistics.' (SAS Institute Inc.: Cary, NC)

Selle PH, Cadogan DJ, Ru YJ, Partridge GG (2010) Impact of exogenous enzymes in sorghum-or wheat-based broiler diets on nutrient utilization and growth performance. *International Journal of Poultry Science*, **9**, 53-58.

Silva DJ, Queiroz AC (Eds) (2002) 'Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos (3rd edn).' (Universidade Federal de Viçosa: Viçosa, Brasil)

Singh A, Masey-O'Neill HV, Ghosh TK, Bedford MR, Haldar S (2012) Effects of xylanase supplementation on performance, total volatile fatty acids and selected bacterial population in caeca, metabolic indices and peptide YY concentrations in serum of broiler chickens fed energy restricted maize-soybean based diets. *Animal Feed Science and Technology*, **177**, 194-203.

Singh R, Berwal RS, Sihag ZS. (2011) Effect of replacing maize with sorghum on the performance and utilization of nutrients in broilers. *Haryana Veterinarian*, **50**, 85-88.

Sultan A, Li X, Zhang D, Cadogan DJ, Bryden WL (2010) Nutrient digestibility of sorghum by broilers is improved by exogenous enzymes. In 'Proceedings of the XIIIth European Poultry Conference'. (Ed. M Duclos) p. 67. (World's Poultry Science Association: Tours).

Sultan A, Gan CY, Li X, Zhang D, Bryden WL (2011) Dietary enzyme combinations improve sorghum ileal protein and starch digestibility during the broiler starter phase. In 'Proceedings of the Australian Poultry Science Symposium'. (Ed. J Roberts) p. 82. (University of Sydney: Sydney)

Svihus B (2011) The gizzard: function, influence of diet structure and effects on nutrient. *World's Poultry Science Journal*, **67**, 207-224.

Tancharoenrat P, Ravindran V, Ravindran G (2014) Influence of cereal type and fat source on the performance and fat utilisation of broiler starters. *Animal Production Science*, [Just accepted].

Teixeira LV (2013) 'Misturas enzimáticas em rações para frangos de corte.' M.S. thesis, Universidade Federal de Lavras, Brasil.

Thomas DV, Ravindran V (2008) Effect of cereal type on the performance, gastrointestinal tract development and intestinal morphology of the newly hatched broiler chick. *Journal of Poultry Science*, **45**, 46-50.

Torres KAA, Pizauro JM, Soares CP, Silva TGA, Nogueira WCL, Campos DMB, Furlan RL, Macari M (2013). Effects of corn replacement by sorghum in broiler diets on performance and intestinal mucosa integrity. *Poultry Science*, **92**, 1564-1571.

Wong JH, Lau T, Cai N, Singh J, Pedersen JF, Vensel WH, Hurkman WJ, Wilson JD, Lemaux PG, Buchanan BB. (2009) Digestibility of protein and starch from sorghum (*Sorghum bicolor*) is linked to biochemical and structural features of grain endosperm. *Journal of Cereal Science*, **49**, 73-82.

Woyengo TA, Nyachoti CM. (2013). Review: Anti-nutritional effects of phytic acid in diets for pigs and poultry—current knowledge and directions for future research. *Canadian Journal of Animal Science*, **93**, 9-21.

Wu YB, Ravindran V, Thomas DG, Birtles MJ, Hendriks WH (2004) Influence of phytase and xylanase, individually or in combination, on performance, apparent metabolisable energy, digestive tract measurements and gut morphology in broilers fed wheat-based diets containing adequate level of phosphorus. *British Poultry Science*, **45**, 76-84.

CAPÍTULO III

IMPLICAÇÕES

O presente estudo reforça o potencial de utilização do sorgo como alternativa ao milho nas dietas para frangos de corte, demonstrando que o uso de sorgo como único cereal energético nas rações mantém o desempenho no período total de criação semelhante ao de aves alimentadas com dietas à base de milho.

Também é importante ressaltar a atuação das enzimas exógenas sobre o desempenho das aves, melhorando principalmente os parâmetros de ganho de peso progressivamente até os 21 dias de idade, quando o maior desenvolvimento do trato gastrointestinal eleva a atividade de diversas enzimas digestivas endógenas, reduzindo assim os efeitos benéficos do uso das enzimas exógenas gradualmente até o período final da criação. É comum observar-se melhoras na conversão alimentar das aves com o uso de enzimas exógenas nas dietas, principalmente em estudos com reduções na densidade nutricional e energética das rações. Como neste estudo a inclusão das enzimas foi feita *on top*, isto é, sem modificar a matriz nutricional das dietas, o principal parâmetro de desempenho elevado foi o ganho de peso das aves.

Considerando-se que os efeitos negativos do sorgo sobre o desempenho foram mais pronunciáveis nas primeiras semanas de vida das aves, sua inclusão nas dietas pode ser avaliada em diferentes períodos de criação, de forma a se estabelecer a melhor fase da criação em que o uso de sorgo como alternativa ao milho seja viável. Da mesma forma, observou-se que apesar do uso de enzimas exógenas nas dietas terem favorecido o ganho de peso em todas as semanas, os efeitos foram mais expressivos nas três primeiras semanas de vida. Com isso, a avaliação da inclusão de enzimas apenas nas fases iniciais da criação pode ser explorada com o objetivo de determinar a viabilidade de seu uso de acordo com o período de criação.

As interações encontradas entre nível de sorgo e enzimas exógenas sobre o consumo de ração das aves aos 42 dias indicam que pode haver alguma relação entre os componentes de milho e sorgo, a qual é afetada pelo uso das enzimas exógenas, porém, este mecanismo ainda deve ser mais explorado. Este efeito prejudica os índices econômicos do uso de enzimas em dietas com substituição parcial de milho por sorgo. A utilização do *blend* de enzimas não permite tirar muitas conclusões a respeito deste efeito, porém, foi eficiente em demonstrar benefícios com seu uso tanto em dietas à base

de milho como de sorgo. A partir de então, é possível buscar os efeitos isolados de cada enzima, além de suas combinações, de modo a conhecer melhor a interação entre diferentes enzimas exógenas utilizadas na nutrição de aves.

Observou-se por meio do ensaio de metabolismo na fase inicial, que a resposta ao uso de enzimas exógenas, em termos de aproveitamento de energia e proteína da dieta, é mais expressiva em rações à base de sorgo do que de milho, devido provavelmente à estrutura e baixa qualidade da proteína do grão de sorgo.

Como os efeitos do sorgo sobre a umidade de cama podem ser hipoteticamente atribuídos ao conteúdo de farelo de soja nas dietas, é evidente a necessidade do desenvolvimento de pesquisas relacionadas à qualidade da cama, por meio da análise da composição da cama, de modo a determinar as principais substâncias que possivelmente modificam a osmolaridade no lúmen intestinal, afetando a excreção de água e outros compostos. Além disso, como o uso da combinação de protease, xilanase e fitase afetou negativamente a umidade de cama, contrariando alguns estudos, é necessária a investigação da inclusão destas enzimas isoladamente nas rações, de forma a auxiliar na caracterização dos principais mecanismos fisiológicos afetados devido ao uso das enzimas nas rações.

Portanto, este estudo serve como base para posteriormente se determinar com máxima precisão, a potencial valorização nutricional proporcionada pelo uso de enzimas exógenas em rações à base de sorgo e farelo de soja. Como é evidente que a substituição de milho por sorgo nas dietas não altera os principais parâmetros de desempenho de frangos de corte durante o período total de criação, a avaliação do uso das enzimas pode ser feita apenas em rações à base de sorgo, de forma a facilitar o estabelecimento da matriz nutricional das enzimas exógenas nestas dietas.

O potencial do uso de sorgo como alternativa ao milho é evidente, porém, considerando que a atual produção, bem como a produtividade, de sorgo no Brasil são extremamente inferiores quando comparadas ao milho, a substituição total do milho pelo sorgo nas rações de frangos de corte ainda é inviável devido à insuficiente quantidade deste cereal disponível para suprir a demanda da indústria avícola no país. Desta forma, a investigação e divulgação do sorgo como alimento alternativo nas dietas de aves tornam-se de extrema importância, de modo a quebrar conceitos antigos e preconceituosos em relação à qualidade do grão de sorgo como ingrediente das rações.