

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE VETERINÁRIA**

**UTILIZAÇÃO DE CARBOIDRASES EM DIETAS À BASE DE MILHO E FARELO
DE SOJA PARA FRANGOS DE CORTE**

Autor : Guilherme Gerhardt

**Porto Alegre
2013/1**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE VETERINÁRIA**

**UTILIZAÇÃO DE CARBOIDRASES EM DIETAS À BASE DE MILHO E FARELO
DE SOJA PARA FRANGOS DE CORTE**

Autor: Guilherme Gerhardt

**Trabalho apresentado como
requisito parcial para graduação
em Medicina Veterinária**

Orientador: Sergio Luiz Vieira

Coorientadora: Catarina Stefanello

**Porto Alegre
2013/1**

AGRADECIMENTOS

Grato a Deus pelo dom da vida e por dar a oportunidade de conhecer todas as pessoas que fazem parte da minha vida.

Agradeço a minha mãe Lucia, meu maior exemplo, e meu pai Jorge. Obrigado por cada conselho, pela dedicação, amor e carinho.

Aos meus irmãos, Gustavo, Hermano, Luciano e Juliana por todo apoio e paciência.

A minha vó Eva, por ter possibilitado a minha estadia em Porto Alegre e por todo apoio e carinho.

Ao meu grande amigo-irmão Julio pelo incentivo dado para que eu não desistisse de realizar o curso de veterinária.

Ao povo brasileiro por proporcionar um curso de Veterinária gratuito e de qualidade, oferecido pela UFRGS.

A todos os professores, em especial, o prof. Sergio Luiz Vieira por oportunizar a realização da prática dos conteúdos aprendidos dentro de sala de aula, bem como a oportunidade de me apresentar ao mercado avícola.

Aos meus amigos do Aviário de Ensino e Pesquisa: Barbara, Bruna, Catarina, Cesar, Daniel, Diogo, Fúlvio, Gabriela, Heitor, Henrique, Liliane, Natália, Natacha e Rafael por mostrar que uma tarefa difícil pode se tornar muito fácil com a ajuda e colaboração de todos. Em especial, agradeço a doutoranda Catarina Stefanello por toda ajuda e colaboração dada para realizar esse trabalho de conclusão, bem como os trabalhos de iniciação científica.

Aos meus amigos das turmas ATMV 2013/1 e 2013/2 por participarem e dividirem momentos de alegrias e preocupações nesses cinco anos e meio.

A todos os outros amigos, de São Leopoldo, Novo Hamburgo e Porto Alegre pela amizade e momentos de descontração.

RESUMO

O milho e o farelo de soja, principais componentes da dieta de frangos de corte no Brasil, apresentam algumas propriedades antinutricionais que promovem a não utilização total dos nutrientes presentes na dieta. Essas propriedades, representadas principalmente por oligossacarídeos e polissacarídeos não amiláceos, não são digeridas pelas aves e ainda podem atuar como obstáculos físicos das enzimas digestivas, reduzindo a absorção de nutrientes que normalmente seriam aproveitados. Embora o milho e o farelo de soja apresentem uma digestibilidade considerada alta, a utilização de enzimas exógenas adicionadas à alimentação pode torná-la maior, contribuindo para uma maior eficiência produtiva das aves. As amilases, por exemplo, podem melhorar o aproveitamento da energia e a utilização do amido contido nos ingredientes das rações devido ao aumento do custo da energia e da variabilidade na composição dos ingredientes utilizados na alimentação das aves. As fibras vegetais solúveis e insolúveis ingeridas pelas aves nesses alimentos cria uma oportunidade para o uso de outras carboidrases, como as xilanases e pectinases, para degradação dessas fibras durante o trânsito no trato gastrointestinal. Pesquisas tem demonstrado que carboidrases diminuem os efeitos das propriedades antinutricionais, possibilitando a produção de dietas mais balanceadas, eficientes, de menor custo e ainda contribuindo com a redução da poluição ambiental. Portanto, este estudo visa reunir publicações relevantes e demonstrar os efeitos de carboidrases na alimentação à base de milho e farelo de soja para frangos de corte.

Palavras-chave: amido, amilase, digestibilidade, xilanase, frango de corte

ABSTRACT

Corn and soybean meal, main ingredients of poultry diets in Brazil, feature anti-nutritional factors that hinder complete utilization of nutrients. These factors, mainly represented as oligosaccharides and nonstarch polysaccharides, are not digested by birds and may act as physical obstacles to digestive enzymes, reducing nutrients absorption. Although corn and soybean meal have high digestibility, the utilization of exogenous enzymes added to the feed may improve it, contributing to better broiler performance. Amylases, for example, may improve energy and starch usage, which is important because of high cost of energetic ingredients and composition variability of these ingredients. Soluble and insoluble vegetable fiber represent an opportunity to the use of carbohydrases, such as xylanase and pectinase, that break down fibers during digestion. Research has shown that carbohydrases diminish the effect of anti-nutritional factors, allowing production of more balanced, efficient and economical diets and contributing to reduction of environmental pollution. Therefore, this review aims to gather relevant research and demonstrate the effect of carbohydrases in diets based on corn and soybean meal to broilers.

Keywords: starch, amylase, digestibility, xylanase, broiler

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
2	MILHO.....	9
2.1	Estrutura.....	9
2.2	Composição e propriedades físicas.....	9
2.3	Importância do milho na avicultura brasileira.....	10
3	SOJA.....	11
3.1	Soja “in natura”	11
3.2	O Farelo de soja e sua importância na avicultura.....	12
4	CARBOIDRATOS.....	14
4.1	Polissacarídeos.....	15
4.1.1	Amido.....	15
4.1.2	Polissacarídeos não amiláceos.....	16
4.1.2.1	Polissacarídeos não amiláceos insolúveis.....	17
4.1.2.2	Polissacarídeos não amiláceos solúveis.....	17
5	FISIOLOGIA DIGESTÓRIA DOS CARBOIDRATOS.....	20
5.1	Absorção dos produtos da digestão dos carboidratos.....	21
6	ENZIMAS.....	22
6.1	Produção industrial de enzimas para a alimentação animal.....	22
6.2	Objetivos da inclusão de enzimas na alimentação de animais.....	23
6.3	Carboidrases e seus efeitos na alimentação de frangos de corte.....	24
7	CONSIDERAÇÕES.....	27
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a maioria das rações utilizadas na nutrição avícola é produzida à base de milho e farelo de soja, ingredientes que entram na formulação por serem fontes de energia e proteína, respectivamente. Mesmo considerados de alta digestibilidade eles apresentam em suas composições substâncias que não são eficientemente digeridas pelas enzimas endógenas das aves, o que requer a utilização de enzimas exógenas específicas para melhorar o aproveitamento dos nutrientes (COWIESON; ADEOLA, 2005; SORBARA *et al.*, 2009).

Os frangos de corte apresentam alto aproveitamento dos nutrientes presentes no milho, entretanto parte do conteúdo nutricional desse ingrediente não é aproveitada. De forma semelhante, o farelo de soja apresenta em sua composição substâncias antinutricionais, como os polissacarídeos não amiláceos (PNAs) que também não são absorvidos pelas aves. Os estudos de Matalathi e Devegowda (2001) relatam que o milho e o farelo de soja apresentam 9% e 29% de PNAs, respectivamente.

Ao contrário da realidade brasileira, os países europeus utilizam ingredientes ricos em PNAs na elaboração das dietas das aves, tais como, aveia, cevada, farelo de trigo e farelo de arroz. Devido a isso, pesquisadores desses países vêm demonstrando que a utilização de enzimas exógenas possuem efeitos benéficos, com melhoria da digestibilidade dos nutrientes e conseqüentemente redução da sua excreção.

Os avanços obtidos na área de biotecnologia têm contribuído com a nutrição animal, por meio da elaboração de aditivos que possibilitam aperfeiçoar a produção, auxiliando a atingir melhores resultados econômicos e produzir alimentos de qualidade, com maior segurança aos consumidores. Neste contexto, as enzimas são os aditivos alimentares comumente utilizados nas rações avícolas e que são incorporadas às dietas objetivando melhorar o desempenho zootécnico, atuando como catalisadores biológicos agindo no metabolismo dos animais (SLOMINSKI, 2011).

A suplementação de enzimas exógenas na alimentação das aves apresenta como principais objetivos, complementar a ação de enzimas endógenas produzidas pelo animal, como ocorre com as amilases e proteases e também fornecer enzimas que não sintetizadas pelo organismo, por exemplo as xilanases e glucanases (COWIESON; ADEOLA, 2005). O uso de enzimas exógenas na ração pode contribuir para a maior eficiência produtiva das aves devido à melhoria da digestão de produtos considerados de baixa qualidade, além de contribuir com a redução da perda de nutrientes fecais, sendo possível obter respostas positivas na digestibilidade dos alimentos e reduzir os níveis nutricionais da ração,

possibilitando maior retorno econômico ao produtor (MARQUARDT *et al.*, 1996; YU *et al.*, 2007).

Dessa forma, os motivos considerados para a utilização de enzimas exógenas incluem a agregação de valor à energia e aos nutrientes dos ingredientes da dieta, uma vez que elas podem melhorar a eficiência das enzimas endógenas (SCHAIBLE, 1970; CLASSEN, 1996). É neste contexto, também, que as carboidrases podem melhorar o aproveitamento da energia e a utilização do amido contido nos ingredientes das rações. Assim, em função dos altos custos energéticos e da alta variabilidade na composição, qualidade e custo dos ingredientes utilizados na alimentação de não ruminantes, as carboidrases vem alcançando espaço representativo no mercado e tornam-se cada vez mais pesquisadas nas dietas avícolas. O presente estudo visa reunir dados expressivos que demonstram os efeitos da utilização de carboidrases em dietas à base de milho e farelo de soja para frangos de corte.

2 MILHO

2.1 Estrutura

O milho é basicamente composto por uma camada protetora, chamada de pericarpo, um tecido meristemático ou eixo embrionário e um tecido de reserva endospermático e cotiledonar. O pericarpo consiste na estrutura externa que delimita a semente e apresenta a função de proteção (barreira à entrada de microrganismos), regulação e delimitação entre as partes internas do grão. Já o tecido meristemático apresenta a capacidade de se desenvolver por meio das divisões celulares (SILVA, 2008).

O tecido de reserva é constituído de endosperma e cotilédones, e é graças às substâncias acumuladas nestes tecidos que o eixo embrionário, por ocasião da germinação, consegue energia e material metabolizado para se desenvolver. No endosperma o componente mais comumente armazenado é o amido, podendo armazenar outros carboidratos e ainda óleos e proteínas. Na parte externa do endosperma é encontrada uma camada de aleurona que é rica em proteínas, que se encontram na forma de glúten ou de grãos. O cotilédone origina-se do zigoto, fazendo parte do embrião, e pode armazenar substâncias de reserva e/ou sintetizá-las (SILVA, 2008).

2.2 Composição e propriedades físicas do milho

As principais substâncias armazenadas pelas sementes são carboidratos (64%), lipídeos (5%) e proteínas (10%). O endosperma representa aproximadamente 83% do peso seco do grão, tendo cerca de 88% de amido (PAES, 2008). Ainda no endosperma e na camada de aleurona estão presentes os carotenoides, substâncias lipídicas que conferem a cor aos grãos de milho. Os principais carotenoides são a zeaxantina, luteína, beta-criptoxantina, alfa e beta-carotenos (TOSELLO, 1987). As proteínas de reserva encontradas em abundância no grão de milho são ricas nos aminoácidos metionina e cisteína, mas pobres em lisina e triptofano, que também são essenciais à nutrição das aves. No pericarpo, representando cerca de 5% do grão, há camadas de células constituídas de PNAs, principalmente do tipo hemicelulose (67%) e celulose (23%) (SILVA, 2008).

2.3 Importância do milho na avicultura brasileira

O milho fornece aproximadamente 65% de energia e 20% da proteína das dietas (COWIESON; ADEOLA, 2005). O amido é o principal carboidrato de reserva do grão de milho e também a principal fonte de energia do cereal. Entretanto, pesquisas demonstram que existem diferenças significativas na variação da composição bromatológica do milho (FREITAS *et al.*, 2000; LAJOLO; MENEZES, 2006) e que diferentes híbridos ou variedades de milho de uma mesma região, ao serem submetidos à avaliação, podem apresentar diferenças na digestibilidade dos nutrientes para aves sem que sejam evidentes variações na composição percentual dos nutrientes (RODRIGUES *et al.*, 2001).

3 SOJA

3.1 Soja “in natura”

A soja “in natura” não é usualmente utilizada em dietas para aves, devido à presença de fatores antinutricionais em sua composição. Os principais fatores antinutricionais que devem ser levados em consideração são:

- Inibidores de tripsina e quimiotripsina (Kunitz e Bowman-Birk); inibem a digestão proteica;
- Lecitinas, que tem como principal modo de ação combinar-se com as células da parede intestinal e com isso pode gerar interferências na absorção de nutrientes (JAFFÉ, 1980);
- Lipase e lipoxigenase que promovem a oxidação e rancificação da gordura da soja;
- Oligossacarídeos de baixa digestibilidade, tais como rafinose e estaquiose. De uma maneira geral, as aves não secretam a enzima alfa-galactosidase, responsável por transformar estes oligossacarídeos em monossacarídeos passíveis de absorção (GOLDFLUS, 2001);
- Polissacarídeos não amiláceos (PNAs), que causam diminuição no desempenho dos animais. Os principais grupos de PNAs são celulose, pentosanos, arabinoxilanos, xilanos, beta-glucanos, glicomananos, galactomananos, xiloglucanos e galactanos, entre outras moléculas. A atividade antinutritiva dos PNAs pode ser eliminada ou reduzida com o uso de enzimas na dieta, as quais poderão despolimerizar estas moléculas, auxiliando a digestão dos polissacarídeos. A capacidade digestiva das aves limita-se a absorção de monômeros de açúcares e as enzimas existentes possuem ação limitada na digestão, conforme foi constatado por Marsman *et al.* (1997). Portanto, pesquisas devem se concentrar na obtenção dessas enzimas melhoradas ou em modificações no processamento da soja para aumento da energia metabolizável do farelo (CHOCT, 1997).

Os processamentos térmicos da soja permitem a destruição da maioria das moléculas inibidoras da digestão. Contudo, existem alguns fatores antinutricionais e constituintes de baixa digestibilidade que não podem ser melhorados, total ou parcialmente, por estes tipos de tratamento, como as pectinas, a hemicelulose e os oligossacarídeos (OPALINSKI *et al.*, 2006). Os principais processamentos para beneficiamento da soja são a extração de óleos com solventes, a tostagem, a micronização e a extrusão da soja. No processamento da soja são produzidos vários ingredientes com aplicação em nutrição animal, entre os quais: farelos de

soja 44 ou 48 % de proteína bruta, óleo de soja refinado e degomado, lecitinas, borra, casca e concentrado proteico de soja (BELLAVÉR, 1999).

3.2 O Farelo de soja e sua importância na avicultura

O processo de beneficiamento da soja mais utilizado para obter o farelo de soja é através da extração de óleos com solvente. O farelo obtido da soja expandida pelo extrator de hexano é levado ao “toaster” que tem duas funções: recuperar parte do hexano ainda presente no farelo e desativar os fatores antinutricionais do farelo de soja não tostado. A seguir, o material é peletizado para facilitar armazenagem e transporte, sendo após utilizado na formulação de rações. A porcentagem de proteína bruta deste produto pode ser ajustada através da retirada ou adição de casca (Said, s.d).

Após o adequado processamento, o farelo de soja é altamente palatável e digestível e apresenta alto conteúdo de proteína bruta (entre 42 e 50%), bom balanço de aminoácidos, baixa concentração de fibras e energia digestível relativamente alta (SWICK, 1998). Entretanto, o ponto crítico na avaliação da qualidade do farelo de soja é determinar se o processamento pelo calor foi adequado. O superaquecimento com aparecimento da reação de Maillard produz uma coloração caramelada que é devida ao pigmento melanodina. Já o subaquecimento também é prejudicial, pois o farelo contém fatores antinutricionais que interferem no processo digestivo de aves e suínos, (SWICK, 1996).

O conteúdo de energia do farelo de soja pode ser variável, podendo ser afetado pelo conteúdo de fibra bruta, pois o farelo composto por maior quantidade de casca apresenta menor conteúdo de energia digestível quando comparado ao farelo sem casca. Esta também pode ser afetada pelo conteúdo residual de óleo. Muitos farelos de soja, obtidos através de extração com solvente, contém entre 0,75 e 1,5% de óleo residual e lecitinas (SWICK, 1996).

Devido à importância de qualidade do farelo de soja, existem vários métodos para avaliar o grau de processamento térmico no farelo de soja, entre os quais o índice de atividade ureática, a solubilidade da proteína em hidróxido de potássio (KOH), a atividade inibidora de tripsina e a capacidade de coloração da proteína processada. Na prática, apenas os dois primeiros tem sido relevantes devido à facilidade de execução e ao baixo custo laboratorial.

Dessa forma, o farelo de soja é a fonte de proteína mais utilizada na nutrição animal, porém a presença de PNAs resulta na menor digestão e menor aproveitamento dos carboidratos presentes. A energia metabolizável do farelo de soja é baixa em relação à energia bruta, principalmente, devido à presença de carboidratos não digestíveis, como a rafinose e a

estaquiose, o que está diretamente relacionado ao nível de inclusão de casca na sua obtenção (CHOCT, 1997).

Dependendo da solubilidade dos seus constituintes, os PNAs são classificados em solúveis e insolúveis, em que as chamadas fibras insolúveis são celulosas, ligninas e algumas hemicelulosas e as solúveis são compostas por pectinas, gomas e principalmente pela hemicelulose. A hemicelulose, por sua vez, é constituída por arabinosilanos, beta-glucanos, D-xilanos, D-mananos, entre outros (ANNISON; CHOCT, 1991). O milho contém cerca de 0,9% de PNAs solúveis e 6% de PNAs insolúveis, enquanto o farelo de soja contém, aproximadamente, 6% de PNAs solúveis e 16 a 18% de insolúveis (KNUDSEN, 1997). Segundo Malathi e Devegowda (2001), o milho e farelo de soja possuem, respectivamente, 9,32 e 29,02% de PNAs totais. A solubilidade dos PNAs é determinada pela sua estrutura molecular primária, mas também pela forma com que estes compostos estão ligados a outros componentes da parede celular (SMITS; ANNISON, 1996).

4 CARBOIDRATOS

Os carboidratos são divididos em monossacarídeos, oligossacarídeos e polissacarídeos. São os componentes mais importantes das plantas, constituindo 75% da matéria seca das mesmas. No organismo animal, a síntese de glicose e glicogênio se dá pela gliconeogênese, porém esta é quantitativamente limitada fazendo com que os animais necessitem receber carboidratos em suas dietas para obtenção de glicose.

Os carboidratos são a principal fonte de energia utilizada em dietas para animais não ruminantes e incluem uma grande variedade de compostos orgânicos que possuem diferentes perfis de fermentação e digestão. Os monossacarídeos são carboidratos simples, representados pela glicose e frutose; os oligossacarídeos são carboidratos de cadeia curta, sacarose e celobiose; e os polissacarídeos incluem carboidratos com cadeias longas, representados pelo amido e pelos PNAs (EVERS *et al.*, 1999). Os carboidratos compõem mais de 80% dos grãos de cereais, dos quais 70% a 80% são constituídos por amido, 10% a 30% são PNAs e 1% a 3% são açúcares simples (mono e oligossacarídeos), sendo o amido a principal fonte energética para a nutrição animal (SILVA, 2002).

O amido é produzido pelos vegetais como reserva nutricional, depositando-se no endosperma dos grãos e na forma de grânulos insolúveis compostos de alfa-amilose, amilopectina e alfa-glucanos. A alfa-amilose é um polímero linear de resíduos de glicose em ligações alfa-1,4. Já a amilopectina é um polímero maior, bastante ramificado e suas moléculas de glicose estão unidas por ligações do tipo alfa-1,4, possuindo ligações alfa-1,6 (TESTER *et al.*, 2004). A relação entre amilose e amilopectina varia entre as variedades, condições de cultivo da planta e espécies de grãos vegetais (VIEIRA, 2002). Essa relação também pode exercer influência sobre digestibilidade dos carboidratos, uma vez que a amilopectina é mais facilmente digerida que a amilose (ROONEY; PFLUGFELDER, 1986).

Os monossacarídeos (3 a 9 átomos de carbono) são a unidade básica dos carboidratos e a maior fonte de energia utilizada pelo organismo animal. Participam também como componentes dos ácidos nucleicos, síntese de gorduras e vitaminas. Os oligossacarídeos (2 a 9 monossacarídeos) de importância para os animais são a lactose, maltose e isomaltose. Segundo Bobbio e Bobbio (1995), a rafinose é um trissacarídeo e é a base para a formação de um tetrassacarídeo importante, que é a estaquiase. A estaquiase é um açúcar não redutor, encontrado nos vegetais, principalmente em leguminosas (soja). Rafinose e estaquiase além de apresentarem baixa digestibilidade para aves prejudicam a absorção de outros nutrientes, pois aumentam a viscosidade da digesta (ISAKSSON *et al.*, 1982).

4.1 Polissacarídeos

Os polissacarídeos são formados por cadeias de 10 ou mais monossacarídeos e possuem estrutura linear ou ramificada. Nas plantas, os polissacarídeos mais solúveis, como o amido, formam a energia de reserva e os polissacarídeos de difícil solubilidade ou PNAs, como celulose e hemicelulose, são responsáveis pela estrutura e firmeza das mesmas. Somente as ligações alfa-1,4 e a alfa-1,6 do amido, alfa-1,2 entre a frutose da sacarose, beta-1,4 entre a glicose e galactose da lactose podem ser clivadas por enzimas endógenas de aves. Todas as outras ligações glicosídicas, incluindo os PNAs, são resistentes às enzimas digestivas, mas podem ser clivadas por enzimas derivadas de microrganismos (SMITS; ANNISON, 1996).

4.1.1 Amido

O amido, principal carboidrato presente no milho, é formado por grânulos insolúveis depositados no citoplasma das células do endosperma compostos de alfa-amilose e amilopectina. A alfa-amilase é um polímero linear de resíduos de glicose em ligações alfa-1,4, já a amilopectina consiste, principalmente, de polímeros de glicose em ligações alfa-1,4, mas com ramificações alfa-1,6 a cada 24 a 30 resíduos na cadeia linear. A relação entre amilose e amilopectina varia entre as variedades, condições de cultivo da planta e espécies de grãos vegetais (VIEIRA, 2002). Essa relação também pode ocasionar variação da digestibilidade dos carboidratos, uma vez que a amilopectina é mais facilmente digerida que a amilose. O milho, por exemplo, apresenta em média 28% de amilose e 72% de amilopectina e apresenta alta digestibilidade (PESKE, 2003).

Nos grãos de cereais, o amido está protegido pela parede celular e, por isso, são necessárias técnicas para torná-lo disponível à digestão, as quais facilitam o aproveitamento do amido pelas aves e, conseqüentemente a ação da alfa-amilase. Os principais processos, incluem a quebra e moagem dos grãos, a peletização, expansão e extrusão das dietas.

O maior contribuinte para a energia metabolizável aparente (EMA) dos grãos de cereais é o amido, existindo uma relação direta entre o valor de EMA e a digestibilidade do amido (WISEMAN, 2006). Estudos demonstraram que a digestibilidade do amido em grãos de cereais viscosos é afetada negativamente pelos PNAs solúveis (ANNISON; CHOCT, 1991; CLASSEN, 1996; WISEMAN, 2006). Resultados de pesquisa utilizando técnicas de digestibilidade aparente, coleta total de fezes e técnicas de digestibilidade ileal têm demonstrado que a digestibilidade do amido é alta (WEURDING *et al.*, 2001; BATAL;

PARSONS, 2002; GRACIA *et al.*, 2003; MENG; SLOMINSKI, 2005). Zanella *et al.* (1999) encontraram diferenças na digestibilidade do amido medida por três técnicas (Sibbald, coleta total e coleta ileal) e, em geral, não foi maior que 90%. As pesquisas de Kocher *et al.* (2002) demonstraram os efeitos benéficos da utilização de enzimas sobre a energia metabolizável e a digestibilidade dos PNAs em dietas à base de soja. Estudos de Noy e Sklan (1995) indicaram que a digestibilidade do amido do milho no final do íleo foi menor que 85%. Já Zanella *et al.* (1999) constataram que a digestibilidade ileal e fecal de amido em frangos de corte, aumentou de 91,2-93,0% para 98,2 a 98,5% quando a dieta de milho e farelo de soja foi suplementada com um complexo enzimático de protease, amilase e xilanase. Além disso, os autores verificaram que a digestibilidade ileal da dieta aumentou de 3.076 para 3.153 kcal/kg com a suplementação enzimática.

4.1.2 Polissacarídeos não amiláceos

Os PNAs são polímeros de açúcares presentes na parede celular dos vegetais e não podem ser digeridos por animais não ruminantes, pois o aparato enzimático não é capaz de clivar suas ligações. São componentes de alto peso molecular presentes nos alimentos (GRUPPEN, 1996) e podem compreender mais de 90% da parede celular das plantas (SELVENDRAN; ROBERTSON, 1990). Choct e Kocher (2000) apresentaram uma classificação que agrupa os PNAs em três grandes grupos: celulose, polímeros não celulósicos e polissacarídeos pécticos.

Segundo Malathi e Devegowda (2001), o milho e farelo de soja possuem 9,32 e 29,02% de PNAs totais, respectivamente. Ruiz *et al.* (2008) reportaram valores próximos a 9,7 e 10,3%. Já Tavernari *et al.* (2008) estimaram teores destes compostos em 8,10 e 30,30%. Os valores encontrados pelos diferentes pesquisadores demonstram grandes variações entre as frações de PNAs dentro das mesmas espécies de alimentos. Embora as rações compostas por milho e farelo de soja possuam digestibilidade relativamente alta, esses ingredientes podem apresentar alguns fatores intrínsecos com características antinutricionais (OLUKOSI *et al.*, 2007), podendo ser degradados com eficiência somente com a inclusão de enzimas exógenas nas rações. Os efeitos nutricionais dos PNAs em não ruminantes são bastante distintos e, em alguns casos, extremos. Geralmente tais efeitos estão associados à viscosidade, efeitos fisiológicos e morfológicos no sistema digestório, acarretando em alterações no tempo de trânsito intestinal, modificação na estrutura da mucosa intestinal, variação na taxa de absorção

de nutrientes (FRANCESCH, 1996; TAVERNARI *et al.*, 2008), além de levarem a uma pobre utilização dos demais nutrientes da ração (CHOCT, 2009).

Dependendo da solubilidade dos seus constituintes, as fibras (PNAs) são classificadas em insolúveis e solúveis. Opalinski *et al.* (2006) destacam que, embora os PNAs sejam classificados como solúveis e insolúveis, pela capacidade de formarem soluções homogênea ou não com a água, muitas das atividades antinutritivas são atribuídas diretamente aos PNAs solúveis.

4.1.2.1 Polissacarídeos não amiláceos insolúveis

As fibras insolúveis são as celuloses, as ligninas e algumas hemiceluloses. Níveis elevados de PNAs insolúveis na dieta afetam a taxa de passagem no intestino delgado, podendo ser decorrente da estimulação física da fibra insolúvel sobre as paredes do trato gastrointestinal, que tendem a aumentar a motilidade e a taxa de passagem. Por consequência, reduzem o tempo de permanência da digesta sobre a atuação enzimática, ocasionando redução da digestibilidade dos nutrientes (WARPECHOWSKI, 1996).

O aumento dos teores dessa fração provoca a diminuição da energia da ração e, conseqüentemente, eleva o consumo na tentativa de se compensar a baixa densidade energética da mesma. Em contrapartida, níveis moderados de PNAs insolúveis podem modular a taxa de passagem dos nutrientes deixando-a mais lenta, com isso aumentando a digestibilidade do amido. Esse efeito seria explicado pelo acúmulo das fibras na moela e também pelo tamanho da partícula, uma vez que a moagem fina diminui sua influência estimulatória sobre a moela (HETLAND *et al.*, 2004).

Os PNAs insolúveis do farelo de soja são parcialmente resistentes à fermentação microbiana no intestino grosso e são constituintes insolúveis da parede celular. A importância nutricional desses polissacarídeos como fonte de energia para não ruminantes poderia ser melhorada se esses carboidratos fossem quebrados em seus constituintes monoméricos (MOURINHO, 2006).

4.1.2.2 Polissacarídeos não amiláceos solúveis

Os PNAs solúveis são caracterizados por interagirem com o glicocálix da borda em escova intestinal, ocasionando aumento da espessura da camada de água na mucosa, reduzindo a eficiência da absorção dos nutrientes pela parede intestinal. Tais compostos, além

de atuarem como barreiras físicas à digestão e absorção de nutrientes, pelo aumento da viscosidade intestinal, agem modificando a secreção endógena de água, proteínas, eletrólitos e lipídios (MOURINHO, 2006). O aumento da viscosidade da digesta, pode levar a uma redução da digestibilidade aparente da proteína, do amido, e, em particular, dos lipídios (SMITS *et al.*, 1998). Além disso, Wyatt *et al.*, (2004) cita que o aumento da viscosidade contribui para o desenvolvimento de doenças intestinais, como coccidiose e enterite necrótica.

Os principais PNAs solúveis são:

a) Hemicelulose: conjunto heterogêneo de polissacarídeos, apresentando melhor digestibilidade em relação à celulose. Composta por hexoses (glicose e etc), pentose (arabinose, xilose) e ácidos urônicos (ácido glicurônico), que podem ser lineares ou ramificados. As cadeias centrais são, principalmente, formadas por xilanos, galactanos ou mananos e as cadeias laterais por arabinose ou galactose. As hemiceluloses são divididas em pentosanas e hexosanas. O aumento da viscosidade da digesta pelos PNAs solúveis ocorre, principalmente, pelas frações solúveis da hemicelulose, os beta-glucanos e arabinoxilanos.

Pentosanos (arabinoxilanos): são formados por cadeias de xilose com ligação beta-1,4 e cadeia lateral de arabinose com ligações beta-1,3. Os beta-glucanos: são polímeros lineares de glicose com ligações beta-1,4 e beta-1,3, que rompem a linearidade da molécula, impedindo a formação de fibrilas. Os D – mananos: são polímeros formados por manose em ligações beta-1,4. Os galactomananos são polímeros formados por glicose e manose, em ligações beta-1,4, sendo duas de glicose para uma de manose. Por fim, os xiloglucanos: são formados por glicose com ligações beta-1,4 e cadeia lateral de xilose com ligação beta-1,3.

b) Pectinas: o ácido D – galacturônico é o seu principal constituinte, interligado principalmente por ligações alfa-1,4. As ramificações são diversas e contêm arabinose, galactose e na maior parte esterificação. É uma molécula com alta capacidade de formar gel e possui porção insolúvel, encontrada nas paredes celulares de plantas e porção solúvel, encontrada no citosol das células vegetais (PALENZUELA *et al.*, 1998).

Para Acamovic (2001), a capacidade de formação de redes em solução aquosa e a capacidade de retenção de água dos PNAs solúveis é alta em relação aos PNAs insolúveis. Isto explica porque as fibras insolúveis como a celulose e xilanos podem reter água, comportando-se como esponjas, mas a sua viscosidade é relativamente baixa.

O farelo de soja tem em sua constituição, 30,3% de PNAs, em que predominam os polímeros complexos. O milho apresenta apenas 8,10% de PNAs, com predominância de arabinoxilanos. Malathi e Devegowda (2001), em análise de ingredientes para ração,

encontraram para o milho e farelo de soja, respectivamente, 5,35 e 4,21% de pentosanos totais (arabinoxilanos), 3,12 e 5,15 de celulose, 1 e 6,16 de pectina e 9,32 e 29,02 de PNAs totais.

À medida que aumenta a viscosidade intestinal, diminui a difusão de enzimas, o que leva a um aumento na liberação de enzimas endógenas para compensar estas deficiências digestivas, porém esta capacidade é limitada, especialmente em animais jovens. Annison e Choct (1991) relatam que a secreção endógena de água, proteínas, eletrólitos e lipídeos podem ser aumentados marcadamente quando a ração contém PNAs, o que eleva os custos metabólicos.

Como os PNAs não são digeridos por animais não ruminantes e são fermentados pela microbiota intestinal produzindo ácidos graxos voláteis, foram considerados de pouca importância para a nutrição de monogástricos. Entretanto, há atualmente evidências de que os PNAs possuem uma ação antinutritiva, por isso, hoje se buscam meios de eliminar ou reduzir estes polímeros que, de alguma maneira, encapsulam os componentes nutricionais digestíveis (TAVERNARI, 2008).

Segundo Palenzuela *et al.* (1998) a viscosidade oriunda das frações solúveis de beta-glucanos e arabinoxilanos dos cereais tem maior efeito em aves do que em outros monogástricos. A viscosidade elevada do conteúdo intestinal de aves aumenta a quantidade de excretas úmidas, podendo, assim, dificultar a manutenção de cama em condições adequadas, gerando problemas de manejo, além de comprometer a digestibilidade da ração.

Para Brenes (1992) os beta-glucanos fazem com que as aves eliminem excretas mais líquidas, tendo efeito adverso sobre a umidade da cama do aviário e aumento de amônia. De maneira geral, os PNAs prejudicam o desempenho zootécnico dos frangos de corte, pois prejudicam a digestibilidade dos componentes presentes nas dietas, ocasionando perdas de nutrientes que poderiam ser absorvidos, aumentando consequentemente o custo de produção e poluição ambiental (SCHOULTEN *et al.*, 2003).

5 FISILOGIA DIGESTÓRIA DOS CARBOIDRATOS

A disponibilidade dos carboidratos para os animais é dependente de três fatores básicos: digestibilidade, absorção dos produtos finais da digestão e metabolismo dos produtos da absorção. A digestibilidade é o fator que representa a maior contribuição na eficiência total de utilização, sendo diretamente relacionada ao tipo de alimento e suas características intrínsecas (VIEIRA, 2002).

A capacidade digestiva das aves está intimamente relacionada a sua idade (LONGO, 2003). Durante as primeiras semanas de vida, a atividade enzimática e do desenvolvimento fisiológico não estão consolidados. A digestibilidade da energia é significativamente inferior nas aves nas primeiras semanas de vida, elevando-se a partir da terceira semana. O segmento do intestino delgado que propicia maior crescimento inicial é o duodeno (OLUKOSI *et al.*, 2007). Além disso, a digestibilidade do amido também pode ser afetada por diversos fatores, como a composição e forma física do amido, interações entre proteína – amido, integridade celular e forma física do alimento, que são diferentes entre as diversas fontes empregadas (MURRAY *et al.*, 1999; WOLOVER; BOLOGNESI, 1996).

A digestão de alimento pelas aves tem seu início no proventrículo, onde ocorre a digestão gástrica e na moela, onde ocorre a digestão física ou mecânica. Na moela, a ação de abrasão promovida por sua extensa musculatura, junto com o HCl e pepsina liberadas pelo proventrículo, promovem o rompimento físico das paredes celulares vegetais. A maximização desse processo pelas aves está diretamente relacionada ao grau de processamento físico sofrido pelo alimento antes da ingestão. Nesse processo ainda não há qualquer ação de enzimas endógenas sobre o alimento, há apenas a trituração, o que nos sistemas de criação de hoje tem pouco importância, já que as aves recebem o alimento em tamanho reduzido.

Após a trituração, o alimento segue ao intestino delgado. No duodeno ocorre a mistura de alimento com as secreções digestivas e alcalinas e no jejuno a maior parte da digestão e absorção. As vilosidades presentes na mucosa intestinal são muito longas no jejuno e diminuem progressivamente até o final do íleo apresentando-se cobertas por células epiteliais, predominantemente enterócitos, que formam as microvilosidades. Os enterócitos participam efetivamente do processo de digestão.

A ação das enzimas pancreáticas nesse local auxilia na digestão dos carboidratos, mas ainda não a ponto de passar pela membrana do enterócito. O enterócito, através de suas enzimas associadas ao glicocálix como maltase, sucrase e a isomaltase são responsáveis pela redução dos carboidratos à unidades de nutrientes capazes de serem absorvidas (glicose,

frutose, etc). O glicocálix determina a imobilização parcial de várias enzimas digestivas, permitindo que haja tempo suficiente para a completa digestão de carboidratos.

O pâncreas é o maior responsável pela digestão dos carboidratos, proteínas e lipídeos. A enzima alfa-amilase age sobre o amido, hidrolisando as ligações alfa- 1,4 da amilose, gerando maltose e maltotriose. Age também sobre a amilopectina, levando a produção de dextrina – limite em adição às ligações alfa-1,4. A dextrina – limite é composta de oito a dez moléculas de glicose com uma ramificação alfa-1,6.

As enzimas pancreáticas são dependentes do pH intestinal, sendo de 7,1 o pH ótimo para alfa-amilase. A regulação do pH intestinal é dependente da secreção intestinal do hormônio secretina. Essa secreção é liberada do duodeno em resposta a entrada de alimento com secreções gástricas do proventrículo e moela. A secretina estimula o pâncreas a liberar, principalmente bicarbonatos, aumentando o pH do meio.

5.1 Absorção dos produtos da digestão dos carboidratos

Finalizado o processo de digestão de moléculas maiores, os monossacarídeos são os carboidratos passíveis de serem absorvidos. A absorção de dissacarídeos pode ser considerada como um indicador de injúria da mucosa intestinal. Os monossacarídeos são absorvidos por processo de transporte ativo dependente de sódio, casos da glicose e galactose, ou então por difusão facilitada, casos da frutose e pentose. Em ambos os casos, jejuno e íleo são mais importantes do que duodeno. A frutose é parcialmente convertida em glicose durante a sua passagem da célula absorptiva para a corrente sanguínea (VIEIRA, 2002).

Todo esse processo de absorção é dependente de alguns fatores, considerados extrínsecos, como: taxa de passagem/tempo de trânsito intestinal, concentração de substrato disponível para ação enzimática e a presença de outros componentes da dieta que retardam a hidrólise enzimática (CHAPMAN *et al.*, 1985; CUMMINGS; ENGLYST, 1995).

Os carboidratos absorvidos podem seguir a rota da glicólise com posterior entrada no ciclo dos ácidos tricarboxílicos e cadeia respiratória, produzindo 38 ATPs, dióxido de carbono e água ou então, dependendo do estado nutricional do animal, seguir o fluxo de armazenamento de energia, tendo a glicose desviada para a síntese de glicogênio. A glicose circulante em excesso também pode formar ácidos graxos de no máximo 16 carbonos que são posteriormente esterificados à triglicerídeos ou participar da síntese de outros compostos como fosfolípidos, glicolípídeos, etc.

6 ENZIMAS

As enzimas são catalisadores biológicos que aceleram reações químicas intra ou extracelulares. Enzimas exógenas atuam no lúmen intestinal e são ativadas ao encontrarem condições adequadas de pH, temperatura e umidade. O entendimento das limitações e potencialidades do uso de enzimas na nutrição de aves requer o conhecimento de aspectos de enzimologia, em que, as enzimas são moléculas proteicas complexas que catalisam uma reação química; são altamente específicas para as reações que catalisam e para os substratos que estão envolvidos na reação; exigem que sua estrutura permaneça inalterada para garantir sua atividade; podem ser inativadas e desnaturadas por pH extremo e calor, e também podem ser degradadas por outras enzimas (LEHNINGER, 2000).

Para que ocorra a ação catalítica das enzimas, estas precisam manter sua estrutura íntegra, visto que apresentam fragilidade a agentes físicos e químicos, como o calor, pH's extremos, ácidos, vitaminas, minerais, metais pesados e outros agentes oxidantes que causam perda da função catalítica. Por essa razão, existe a preocupação de que as enzimas utilizadas na alimentação animal possam manter nível de atividade suficiente para obter resposta significativa.

As enzimas industriais devem ser estáveis durante o armazenamento e compatíveis com os minerais, vitaminas e outros microingredientes encontrados nos premixes. Além disso, devem ser termoestáveis às temperaturas de processamento ou de produção do alimento, resistentes a variações de pH e atividade proteolítica no trato digestivo do animal (GOMES, 2007).

6.1 Produção industrial de enzimas para a alimentação animal

As enzimas podem ser obtidas de fontes vegetais e animais, mas a obtenção mais utilizada é de origem microbiana, pois possui uma produção independente de fatores sazonais e possibilita a utilização de substratos baratos como resíduos agrícolas. Além disso, há o fato da otimização das condições nos processos fermentativos por mutações ou a partir da tecnologia do DNA recombinante.

A amilase é produzida a partir do *Bacillus amyloliquifaciens*, a qual atua para aumentar a digestibilidade do amido. Já as hemicelulases são responsáveis pela quebra da hemicelulose existente no farelo de soja, como carboidratos estruturais de suas sementes que incluem as galactomanoses e galactooligossacarídeos.

A celulase é obtida pela extração da fermentação do *Trichoderma viride*, podendo este vir misturado, quando em pó, ao amido de milho, que funciona como veículo da enzima em nível laboratorial (GIACOMETTI, 2003).

Para apresentarem todo seu potencial catalítico, as enzimas devem ser resistentes à conservação após os processos de fabricação e ao passarem pelo sistema digestório dos animais. A estabilidade das enzimas pode ser influenciada pela própria origem (microrganismo), pelo tipo de atividade, composição da dieta, tipo de processamento adotado (em especial a temperatura empregada), armazenamento, condições durante o processo digestivo e pela ação das enzimas endógenas (FRANCESCH, 1996).

6.2 Objetivos da inclusão de enzimas na alimentação de animais

Um dos objetivos da adição de enzimas na alimentação de animais é complementar a ação das enzimas produzidas pelo próprio organismo (enzimas endógenas). Dessa forma, o organismo poderia reduzir a síntese de enzimas endógenas, tendo mais aminoácidos para a síntese proteica.

Zanella (1999) verificou em seu trabalho que a suplementação de amilase e protease na dieta à base de milho e soja para frangos de corte, reduziu a síntese destas enzimas endógenas em 23,4 e 35,5%, respectivamente.

O outro objetivo da inclusão é fornecer enzimas que não são produzidas pelo organismo dos animais. Assim, a digestibilidade de componentes que normalmente não seriam digeridos torna-se melhor. O fornecimento de enzimas também pode auxiliar a redução dos efeitos prejudiciais dos fatores antinutricionais causados pelos PNAs. Segundo Choct (2000), os PNAs, na dieta de não-ruminantes, têm uma atividade antinutricional, a qual leva a uma pobre utilização de nutrientes.

No trato digestivo, a enzima adicionada à ração é ativada ao se misturar com os fluidos digestivos sob condições orgânicas (ROTTER *et al.*, 1990). Para Classen (1996) as enzimas exógenas possuem como objetivos: a remoção ou hidrólise de fatores antinutricionais, o aumento da digestibilidade dos nutrientes, a suplementação de enzimas endógenas e a hidrólise de PNAs solúveis. Outros mecanismos pelos quais a suplementação de enzimas exógenas melhora o desempenho e o aproveitamento de nutrientes podem ser: hidrólise de polissacarídeos envolvidos no encapsulamento do amido ou proteína para permitir que sejam digeridos pelas enzimas (BEDFORD, 1996); hidrólise ou inativação de fatores antinutricionais como fitatos e inibidores de tripsina (COWIESON *et al.*, 2004); redução das

perdas endógenas por descamação da mucosa (DANICKE *et al.*, 2000; COWIESON *et al.*, 2003) e redução do número de bactérias presentes no segmento distal do intestino (APAJALAHTI; BEDFORD, 1999).

Ainda são poucos os estudos que abordam o efeito da utilização de enzimas exógenas sobre o aproveitamento do amido em rações à base de milho e farelo de soja, visto que esses ingredientes são considerados de alta digestibilidade. Utilizando estes alimentos, acredita-se que os efeitos das enzimas sejam menores do que os encontrados em rações com alta concentração de PNAs (KIDD *et al.*, 2001). No entanto, existem novas perspectivas de estudo e avaliação da atuação de enzimas em diferentes substratos e também visando estabelecer os níveis ideais de enzimas para cada substrato.

6.3 Carboidrases e seus efeitos na alimentação de frangos de corte

A suplementação de alfa-amilase nas dietas para frangos de corte pode melhorar a digestibilidade do amido e, conseqüentemente, da matéria seca e a EMA das dietas (DOUGLAS *et al.*, 2000). De acordo com Bedford e Schulze (1998), as enzimas xilanase e beta-glucanase são praticamente ausentes no trato gastrintestinal de monogástricos, enquanto que seus substratos, arabinosilanos e beta-glucanos, estão presentes em relativa abundância nas rações. O estudo realizado por Choct (2006) demonstrou que enzimas com afinidade por PNAs insolúveis podem provocar uma resposta positiva no desempenho de frangos. Isto indica que a quebra da parede das células, especialmente dos componentes insolúveis, podem facilitar o acesso das enzimas digestivas em seus substratos no curto tempo de trânsito alimentar das aves. Para Cowieson e Adeola (2005) as glucanases aumentaram o valor nutritivo de algumas dietas à base de milho e farelo de soja, provavelmente após alterar a estrutura das paredes celulares dos grãos. O fato de as enzimas serem muito específicas e sua reação catalítica determina que a combinação de enzimas pode ser mais efetiva, pois estas atuam sobre uma série de polissacarídeos da parede celular dos grãos, levando ao melhor aproveitamento dos nutrientes da dieta.

Gracia *et al.* (2003) relataram melhora na digestibilidade do amido com o uso de amilase, melhorando a digestibilidade da matéria seca, EMAN e energia total da dieta. Rodrigues *et al.* (2003) também observaram melhora na digestibilidade ileal da proteína bruta, amido e energia ileal digestível pela suplementação enzimática de amilase, xilanase e protease, em dietas à base de milho e farelo de soja para frangos de corte. Uma das razões da melhor resposta quando se usa xilanase com amilase é que além de haver melhor aproveitamento do

amido pela atuação da alfa amilase, os PNAs, como arabinosilanos solúveis e insolúveis, também podem ser degradados em açúcares livres como arabinose e xilose (Choct *et al.*, 2004).

Yu e Chung (2004) observaram que frangos de corte alimentados com ração de baixo valor energético apresentaram ganhos de peso semelhantes aos alimentados por ração com energia adequada. Todavia, a ração menos energética foi suplementada com amilase, xilanase e protease, o que pode explicar possíveis atuações desses produtos sobre os ingredientes milho e farelo de soja.

Contrariamente aos resultados relatados, Strada *et al.* (2005) não observaram diferença para ganho de peso, consumo de ração e conversão alimentar, ao avaliarem o período de 8 a 21 dias, usando complexo enzimático composto por alfa-galactosidase, pectinase, celulasas e proteases. Olukosi *et al.* (2007) também não encontraram melhora no desempenho das aves, quando se suplementou com coquetel de xilanase, amilase e protease a dieta à base de milho e farelo de soja, aos 21 dias de idade. Em contradição, respostas de melhor desempenho, na fase inicial, foram encontradas por Gracia *et al.*, (2003) que suplementaram com alfa-amilase a dieta à base de milho e farelo de soja, fornecida para frangos de corte de 1 a 42 dias de idade.

Quanto a avaliações referentes a características de carcaça, Kidd *et al.*, (2001) não observaram melhoria no rendimento de carcaças ao alimentarem frangos de corte com dietas à base de milho e farelo de soja suplementadas com alfa galactosidase. Torres *et al.*, (2003) e Osera *et al.*, (2008) também verificaram que a inclusão de enzimas em rações formuladas à base de milho e farelo de soja não influenciaram o rendimento de carne e das partes nobres da carcaça de frangos de corte.

De forma semelhante, Torres *et al.*, (2003) afirmaram que a utilização de enzimas digestivas exógenas pelas aves não alterou ($P>0,05$) os teores de gordura abdominal dos frangos. Efeito contrário quanto à percentagem de gordura na carcaça das aves foram apresentados por Costa *et al.*, (2004) e Souza *et al.*, (2008). Eles atribuíram os resultados ao possível aumento na liberação de energia dos nutrientes através da suplementação enzimática. Deste modo, o excesso de energia ingerida além das necessidades teria sido a causa do acúmulo da gordura na carcaça do frango. Entretanto, ao avaliarem o rendimento de cortes nobres, não houve diferença no rendimento de peito, coxa e sobrecoxa ($P>0,05$).

O estudo de novos programas enzimáticos e suas formas de suplementação, levando em consideração diferentes enzimas em substratos com maior quantidade de amido abre uma nova área na pesquisa de enzimas na nutrição de aves (SORBARA *et al.*, 2009; ZHOU *et al.*, 2009, ADEOLA *et al.*, 2010). Dessa forma, o melhor aproveitamento dos nutrientes e,

principalmente da energia, através da suplementação de enzimas, poderá permitir que as empresas avícolas reduzam custos e tornem-se mais eficientes, além de reduzirem a excreção de nutrientes para o ambiente.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fatores antinutricionais contidos nas dietas à base de milho e farelo de soja parecem ser eliminados ou reduzidos pelas enzimas exógenas adicionadas à alimentação, tornando os nutrientes que não seriam utilizados acessíveis a absorção intestinal das aves. As carboidrases incluídas na alimentação tem demonstrado melhorar o desempenho zootécnico e aumentar a digestibilidade dessas dietas pelas aves.

Entretanto alguns resultados são contraditórios em relação a esses benefícios apresentados pela inclusão de carboidrases. A pesquisa sobre a utilização dessas enzimas exógenas sobre as dietas à base de milho e farelo de soja ainda são poucos, tornando esse assunto passível de muitas investigações. Mais experimentos e pesquisas devem ser realizados para provar o real benefício do uso de carboidrases e determinar a concentração ideal de cada enzima ao seu substrato.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACAMOVIC, T. Comercial application of enzyme technology for poultry production. **World's Poultry Science Journal**, Beekbergen, v. 57, n. 3, p. 225-242, sept. 2001.
- ADEOLA, O.; JENDZA, J. A.; SOUTHERN, L.L.; POWELL, S.; ASIYEDU, A. O. Contribution of exogenous dietary carbohydrases to the metabolizable energy value of corn distillers grains for broiler chickens. **Poultry Science**, v. 89, n. 9, p. 1947-1954, sept. 2010.
- ANNISON, G.; CHOCT, M. Anti-nutritive activities of cereal non-starch polysaccharides in broiler diets and strategies minimizing their effects. **World's Poultry Science Journal**, v.47, p. 232-242, nov. 1991.
- APAJALAHTI, J.; BEDFORD, M. R. Improve bird performance by feedings its microflora. **World's Poultry Science Journal**, v. 15, p. 20-23, 1999.
- BATAL, A. B.; PARSONS, C. M. Effects of age on nutrient digestibility in chicks fed different diets. **Poultry Science**, v. 81, n. 3, p. 400-407, mar. 2002.
- BEDFORD, M. R. The effects of enzymes on digestion. **Journal Applied Poultry Research**, v.5, n. 4, p. 370-378, 1996.
- BEDFORD, M. R.; SCHULZE, H. Exogenous enzymes for pigs and poultry. **Nutrition Research Reviews**, v. 11, p. 91-114, 1998.
- BELLAVER, C.; JUNIOR, P. N. S. Processamento da soja e suas implicações na alimentação de suínos e aves. In: Congresso Brasileiro de Soja, 1999, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 1999. p. 183-199.
- BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à química de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Varela, 1995. p. 223
- BRENES, A. Influencia de la adición de enzimas sobre o valor nutritivo de las raciones en la alimentación aviar. **Selecciones avícolas**, Salamanca, p. 787-794, jun. 1992
- CHAPMAN, R. W. et al. Absorption of starch by healthy ileostomates: effect of transit time and of carbohydrate load. **American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 41, n. 6, p. 1244-1248, jun. 1985.
- CHOCT, M. Enzymes for the feed industry: past, present and future. **World's Poultry Science Journal**, v. 62, n. 1, p. 5-16, mar. 2006.
- CHOCT, M. Enzymes in animal nutrition: the unseen benefits. **International Development Research Centre**. Disponível em: < <http://archive.idrc.ca/books/focus/821/chp5.html>>. Acesso em: 16 jul. 2013.
- CHOCT, M. et al. A comparison of three xylanases on nutritive value of two wheats for broiler chickens. **British Journal of Nutrition**, v. 92, p. 53-61, jul. 2004.

- CHOCT, M. Feed non-starch polysaccharides: Chemical structures and nutritional significance. **Feed Milling International**. p. 13-26, jun. 1997.
- CHOCT, M.; KOCHER, A. Non-starch polysaccharides: Chemical structures and nutritional significance. **Feed Milling International**. p. 13-26, jun. 2000.
- CLASSEN, H. L. Cereal grain starch and exogenous enzymes in poultry diets. **Animal Feed Science and Technology**, v. 62, p. 21-27, oct. 1996.
- COSTA, F. G. P. et al. Utilização de um complexo multienzimático em dietas de frangos de corte. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 5, n. 2, p. 63-71, 2004.
- COWIESON, A. J.; ACAMOVIC, T.; BEDFORD, M. R. Supplementation of diets containing pea meal with exogenous enzymes: effects on weight gain, feed conversion, nutrient digestibility and gross morphology of the gastrointestinal tract of growing broiler chicks. **British Poultry Science**, v. 44, p. 427-437, jul. 2003
- COWIESON, A. J.; ACAMOVIC, T.; BEDFORD, M. R. The effects of phytase and phytic acid on the loss of endogenous aminoacids and minerals from broiler chickens. **British Poultry Science**, v.45, p. 101-108, jun. 2004.
- Cowieson, A. J.; Adeola, O. Carbohydrases, proteases and phytase have an additive beneficial effect in nutritionally marginal diets for broiler chicks. **Poultry Science**, v. 84, n. 12, p. 1860-1867, dec. 2005.
- CUMMINGS, J. H.; ENGLYST, H. N. Gastrointestinal effects of food carbohydrate. **American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 61, n. 4, p. 938-945, apr. 1995.
- DANICKE, S.; JEROCH, H.; SIMON, O. Endogenous N-losses in broilers estimated by a [N-15]-isotope dilution technique: effect of dietary fat type and xylanase addition. **Archives of Animal Nutrition**, v. 53, p. 75-97, 2000.
- DOUGLAS, M. W.; PARSONS, C. M. Effect of various soybean meal sources and Avizyme on chick growth performance and ileal digestible energy. **Journal Applied Poultry Research**, v. 9, n. 1, p.74-80, 2000.
- EVERS, A. D.; BLAKENEY, A. B.; O' BRIEN, L. Cereal structure and composition. **Australian Journal Agriculture Research**, v.50, n.5, p. 629-650, 1999.
- FISCHER, G.; MAIER, J. C.; RUTZ, F.; BERMUDEZ, V. L. Desempenho de Frangos de Corte Alimento com Dietas à Base de Milho e Farelo de Soja, com ou sem Adição de Enzimas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 1, p. 402-410, Jan./Feb. 2002.
- FRANCESCH, M. Bases de la utilización de complejos enzimáticos en aviculture. In: _____ **Avances em Nutrición y Alimentación Animal**. Madrid: FEDNA, 1996. p. 119-131
- FREITAS, E. R.; FUENTES, M. F. F.; ESPÍNDOLA, G. B. Efeito da suplementação enzimática em rações à base de milho e farelo de soja sobre o desempenho de poedeiras comerciais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 1103-1109, 2000.

GIACOMETTI, R. A. et al. Valores energéticos do farelo de arroz integral suplementado com complexos enzimáticos para frangos de corte. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 3, p. 703-707, 2003.

GOLDFLUS, Fábio. Ingredientes derivados do processamento da soja aplicados a nutrição animal. In: Simpósio sobre ingredientes na alimentação animal, 1., 2001, Campinas. **Anais...** Campinas: CBNA, 2001. p. 1-70.

GOMES, E. et al. Enzimas termoestáveis: Fontes, Produção e Aplicação Industrial. **Química Nova**, vol. 30, n. 1, p. 136-145, 2007.

GRACIA, M., et al. Alpha amylase supplementation of broiler diets based on corn. **Poultry Science**, v. 82, n. 3, p. 436-442, mar. 2003.

GRUPPEN, H. Triggering the breaking of nutrients. **Feed Mix**. V. 4, n. 1, p. 24-28, 1996.

HETLAND, H.; CHOCT, M.; SVIHUS, B. Role of insoluble non-starch polysaccharides in poultry nutrition. **World's Poultry Science Journal**, Cambridge, v. 60, p. 415-422, dec. 2004.

ISAKSSON, G.; LUNDQUIST, I.; IHSE, I. Dietary fiber on pancreatic enzyme activity in vitro; the importance of viscosity, pH, ionic strength, adsorption and time of incubation. **Gastroenterology**, New York, v. 82, p. 918-403, 1982.

JAFFÉ, W. G. Hemagglutinins. In: LIENER, I. E. **Toxic constituents of plant foodstuffs**, 2^a ed. New York: Academic Press, 1980, p. 73-102.

KIDD, M. T., et al. Enzyme supplementation to corn and soybean meal diets for broilers. **Journal Applied Poultry Research**, v. 10, n. 1, p. 65-70, 2001.

KNUDSEN, K. E. Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. **Animal Feed Science and Technology**, v.67, p. 319-338, aug. 1997.

KOCHER, A., et al. Effects of feed enzymes on nutritive value of soybean meal fed to broilers. **British Poultry Science**, v. 43, n. 1, p. 54-63, 2002.

LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. **Carboidratos en alimentos regionales Iberoamericanos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006. p. 648

LEHNINGER, A.L.; NELSON, D.L.; COX, M.M. **Lehninger principles of biochemistry**. 3.ed. New York: Worth Publishers, 2000. p. 1152.

LONGO, F. A. **Avaliação de fontes de carboidrato e proteína e sua utilização na dieta pré-inicial de frangos de corte**. 2003. 98 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

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

MARQUARDT, R. R. et al. Use of enzymes to improve nutrient availability in poultry feedstuffs. **Animal Feed Science and Technology**, v.60, p. 321-330, aug. 1996.

MARSMAN, G. J. P. et al. The effect of thermal processing and enzyme treatments of soybean meal on growth performance, ileal nutrient digestibilities, and chyme characteristics in broiler chicks. **Poultry Science**, v. 76, n. 6, p. 864-872, jun. 1997.

MENG, X.; SLOMINSKI, B. A. The nutritive value of corn, soybean meal, canola meal or peas for broiler chickens as affected by a multi-carbohydrase preparation of cell wall degrading enzymes. **Poultry Science**, v. 84, n. 8, p. 1242-1251, aug. 2005.

MOURINHO, F. L. **Avaliação nutricional da casca de soja com ou sem adição de complexo enzimático para leitões na fase de creche**. 2006. 42 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

MURRAY, S. M. et al. Evaluation of selected high-starch flours as ingredients in canine diets. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 77, n. 8, p. 2180-2186, aug. 1999.

NOY, Y.; SKLAN, D. Digestion and absorption in the young chick. **Poultry Science**, v. 74, n. 2, p. 366-373, feb. 1995.

OLUKOSI, O. A.; COWIESON, A. J.; ADEOLA, O. Age-related influence of a cocktail of xylanase, amylase, and protease or phytase individually or in combination in broilers. **Poultry Science**, v. 86, n. 1, p. 77-86, jan. 2007.

OPALINSKI, M. et al. Adição de níveis crescentes de complexo enzimático em rações com soja integral desativada para frangos de corte. **Archives of Veterinary Science**, Curitiba, v. 11, n. 3, p. 31-35, 2006.

OSERA, R. H. et al. Efeito da inclusão de enzimas digestivas sobre o rendimento de partes nobres de frangos de corte. **PUBVET**, v. 2, n. 23, 2008.

PAES, M.C.D. Manipulação da composição química do milho: impacto na indústria e na saúde humana. 2008. Artigo em **Hypertexto**. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2008_4/milho/index.htm>. Acessado em: 16/07/2013.

PALENZUELA, P. R.; GARCÍA, J.; BLAS, C. Fibra soluble y su implicación em nutrición animal: enzimas y probióticos. In: **Avances em Nutrición y Alimentación Animal**. Barcelona: FEDNA, 1998. p. 227-240.

PESKE, S. T.; ROSENTHAL, M. D'A.; ROTA, G. R. M. FUNDAMENTOS DA QUALIDADE DE SEMENTES. In: _____. **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**. 1. ed. Pelotas: Editora, 2003. v. 1, cap. 2, p. 94-136.

RODRIGUES, P. B. et al. Aminoácidos digestíveis verdadeiros do milho, do milho e subprodutos do milho, determinados com galos adultos cecectomizados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, p. 2046-2058, 2001.

RODRIGUES, P. B. et al. Desempenho de frangos de corte, digestibilidade de nutrientes e valores energéticos de rações formuladas com vários milhos, suplementadas com enzimas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 1, p. 171-182, 2003.

ROONEY, L. W.; PFLUGFELDER, R. L. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. **Journal of Animal Science**, v. 63, p. 1607-1623, nov. 1986.

ROTTER, B. A. et al. Influence of enzyme supplementation on the bioavailable energy of barley. **Poultry Science**, v. 69, n. 7, p. 1174-1181, jul. 1990.

RUIZ, U. S., et al. Complexo enzimático para suínos: digestão, metabolismo, desempenho e impacto ambiental. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 458-468, 2008.

SAID, N.W. Soybean processing. **Insta Pro International**, Des Moines, IA. 7p. s.d.

SCHAIBLE, P. J., Anatomy and physiology. In: _____ **Poultry: feeds and nutrition**. Connecticut: The Avi Publishing Company, 1970, cap. 12, p. 71-90.

SCHOULTEN, N. A. et al. Desempenho de frangos de corte alimentados com ração contendo farelo de arroz e enzimas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras. v. 27, n. 6, p. 1380-1387, nov./dez. 2003.

SELVENDRAN, R. R.; ROBERTSON, J. A. The chemistry of dietary fibre: a holistic view of the cell wall matrix. In: SOUTHGATE, D. A. T.; JOHNSON, I. T.; FENWICK, G. R. (Eds.) **Dietary Fiber: Chemical and Biological Aspects**. Cambridge: Royal Society of Chemistry, n. 83, 1990.

SILVA, J. S. Estrutura, composição e propriedades dos grãos. In: SILVA, J. S., CORRÊA P. C. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. 2.ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2008, cap. 2, p. 21-37.

SLOMINSKI, B. A. Recent advances in research on enzymes for poultry diets. **Poultry Science**, v. 90, n. 9, p. 2013-2023, sept. 2011.

SMITS, C. H. M. et al. The inhibitory effect of carboxymethylcellulose with high viscosity on lipid absorption in broiler chickens coincides with reduced bile salt concentration and raised microbial numbers in the small intestine. **Poultry Science**, Champaign, v. 77, n. 10, p. 1534-1539, oct. 1998.

SMITS, C. H. M.; ANNISON, G. Non-starch plant polysaccharides in broiler nutrition - towards a physiologically valid approach to their determination. **World's Poultry Science Journal**, v. 52, p. 203-221, jul. 1996.

SORBARA, J. O. B. et al. Enzymatic Programs for Broiles. **Brazilian archives of biology and technology**, v. 52, n. spe, p. 233-240, nov. 2009.

SOUZA, R. M. et al. Efeitos da suplementação enzimática e da forma física da ração sobre o desempenho e as características de carcaça de frangos de corte. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 584-590, mar./abr. 2008.

STRADA, E. S. O. et al. Uso de enzimas na alimentação de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 2369-2375, 2005.

SWICK, R.A. U.S. Soybean Meal: Present Quality and Future Trends. **6th ASA Regional Feed Technology and Nutrition**. Workshop on May 25-29, 1998. Bangkok, Thailand. American Soybean Association. MITA (P) NO. 096/11/97 (Vol. An14-1998). 6p.

SWICK, R.A. Update on the use of soybean meal for growing pigs. **ASA Technical Bulletin**, v. 12, 1997.

TAVERNARI, F. C, et al. Polissacarídeo não amiláceo solúvel na dieta de suínos e aves. **Revista Eletrônica Nutritime**, Viçosa, v. 5, n. 5, p. 673-689, set/out. 2008.

TESTER, R. F.; KARKALAS, I.; QI, X. Starch structure and digestibility. Enzyme-substrate relationship. **World's Poultry Science Journal**, v.60, p.186–195, mai. 2004.

TORRES, D. M. **Valor nutricional de farelos de arroz suplementados com fitase, determinado por diferentes metodologias com aves**. 2003. 172 f. Tese (Doutorado em Zootecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

TOSELLO, G.A. Milhos especiais e seu valor nutritivo, In: VIEGAS, G. P.; PATERNIANE, E. (Ed.). **Melhoramento e produção do milho**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 375-409.

VIEIRA, S. L. Carboidratos: digestão e absorção. In: MACARI, M.; FURLAN, R. L.; GONZALES, E. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. 2. ed. Jaboticabal: Funep, 2002. p. 279-298.

WARPECHOWSKI, M. B. **Efeito da fibra insolúvel da dieta sobre a passagem no trato gastrointestinal de aves intactas, cecectomizadas e fistuladas no íleo terminal**. 1996. 125 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

WEURDING, R. E., et al. Starch digestion rate in the small intestine of broiler chickens differs among feedstuffs. **Journal of Nutrition**, v. 131, n. 9, p. 2329-2335, sept. 2001.

WISEMAN, J. Variations in starch digestibility in non-ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v. 130, p. 66-77, sept. 2006.

WOLOVER, T. M. S.; BOLOGNESI, C. Source and amount of carbohydrate affect post-prandial glucose and insulin in normal subjects. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 126, p. 2798-2806, 1996.

WYATT, C. L.; ARABA, M.; BEDFORD, M.; Current advances in feed enzymes for corn-soya based poultry and swine diets: emphasis on cell wall and phytate. In: **65th Minnesota Nutrition Conference**. sept. 2004.

YU, B. et al. Effects of enzyme inclusion in a maize – soybean diet on broiler performance. **Animal Feed Science and Technology**, p. 283-294, apr. 2007.

YU, B. I.; CHUNG, T. K. Effects of multiple-enzyme mixtures on growth performance of broilers fed corn-soybean meal diets. **Journal Applied of Poultry Research**, v. 13, n. 2, p. 178-182, 2004.

ZANELLA, I., et al. Effect of enzyme supplementation of broiler diets based on corn and soybeans. **Poultry Science**, v. 78, n. 4, p. 561-568, apr. 1999.

ZHOU, Y.; ZIANG, Z.; LV, D.; WANG, T. Improved energy-utilizing efficiency by enzyme preparation supplement in broiler diets with different metabolizable energy levels. **Poultry Science**, v. 88, n. 2, p. 316-322, feb. 2009.