Araújo, D.M. e Silva, J.H.V. Enzimas exógenas em dietas contendo farelo de trigo e outros alimentos alternativos para aves: revisão. PUBVET, Londrina, V. 2, N. 47, Art#453, Nov4, 2008.

PUBVET, Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia.

Disponível em: <<https://doi.org/10.31533/pubvet.v02n11a453>>.

Enzimas exógenas em dietas contendo farelo de trigo e outros alimentos alternativos para aves: revisão¹

Daniel de Magalhães Araujo² e José Humberto Vilar da Silva³

¹Baseado na dissertação de mestrado do primeiro autor apresentada ao PPGZ da UFPB, Areia - PB e nos artigos gerados a partir desta.

²Aluno de doutorado em Zootecnia pelo Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da UNESP, Botucatu-SP.

³Professor, Dr. do DAP/CFT/UFPB, Bananeiras - PB e PPGZ, CCA/UFPB, Areia - PB.

RESUMO

A nutrição de aves é uma ciência dinâmica de grande importância para a produção animal. Isto faz com que sempre haja assuntos atuais que carecem ainda de estudos mais refinados, constituindo-se em vasto campo de trabalho para os cientistas da área. Nesta revisão os autores abordam dois temas atuais: o uso de enzimas exógenas e de alimentos alternativos em nutrição de aves. Além disto, relacionam os dois temas de forma didática e compilam, à luz da literatura científica nacional e internacional, os resultados disponíveis

sobre o uso de enzimas exógenas em dietas de aves, principalmente contendo alimentos alternativos.

Palavras-chave: Complexo enzimático, frango de corte, galinha poedeira, produção de ovos

1. INTRODUÇÃO

A população mundial ultrapassará os atuais 6 bilhões de habitantes e atingirá 8,3 bilhões em 2030 e 9 bilhões em 2050. Há especulações de que este crescimento será mais acentuado nas regiões mais pobres do planeta, onde já existe escassez crônica de água e de alimentos (Silva, 2003a, b). É necessária a providência de alimentos para esta população.

O Brasil, diante deste cenário, como um dos maiores produtores mundiais de alimentos, é também um importante produtor de resíduos agroindustriais. Estes resíduos devem ser adequadamente utilizados, pois, se descartados indiscriminadamente, podem gerar prejuízo econômico. Isto porque o processamento e a reutilização agregam valor aos mesmos.

A utilização destes resíduos agroindustriais pode representar um grande diferencial na produção animal brasileira, ou mesmo se tornar primordial para a manutenção da atividade avícola. Em regiões de baixa disponibilidade de grãos, onde a demanda para a alimentação humana é acentuada e pode se tornar ainda maior, pois cresce de forma diretamente proporcional ao aumento populacional, o aproveitamento destes resíduos deve ser ainda mais eficaz.

Então, a utilização dos resíduos agroindustriais na alimentação animal, além de agregar valor a estes subprodutos e reduzir a potencial poluição ambiental, ainda diminui a competição por alimentos entre a população humana e a produção de animais monogástricos em duas vertentes: 1. pela simples redução do uso do milho, do farelo de soja e de outros grãos usados na alimentação destes animais, pela sua substituição; 2. pela produção de ovos e carne, fontes de proteína de alta qualidade, a partir de resíduos não usados na alimentação humana (Araujo 2005).

Como a maior parte dos ingredientes alternativos, como o farelo de trigo, possuem fatores antinutricionais, alguns dos quais os animais não possuem enzimas endógenas capazes de hidrolisar, na maioria dos casos, pode haver perda no desempenho zootécnico com o consumo destes ingredientes. Uma das alternativas nutricionais que tem sido utilizada, diante da evolução da biotecnologia, é o uso de enzimas exógenas nas dietas das aves. Os benefícios da utilização destas enzimas têm sido descritos na literatura científica internacional, entretanto os resultados ainda são controversos.

Os objetivos com este trabalho são discutir sobre o uso de enzimas exógenas e de alimentos alternativos em nutrição de aves. Além disto, relacionar os dois temas de forma didática compilando, à luz da literatura científica nacional e internacional, os resultados disponíveis sobre o uso de enzimas exógenas em dietas de aves, principalmente quando contendo alimentos alternativos.

2. FARELO DE TRIGO

Principal e mais abundante subproduto da moenda de grãos, o farelo de trigo é um recurso alimentar renovável (Beaugrand et al., 2004) ainda pouco explorado na dieta de aves. É formado por tecidos botânicos distintos, exteriores ao núcleo do trigo, como o pericarpo (película que recobre o grão), a testa (película que recobre a semente), a camada hialina e o aleurone, sendo, as duas últimas, partes externas do endosperma (Evers e Millar, 2002). O endosperma é composto de diferentes tipos de células, em sua maioria de paredes celulares grossas e difíceis de quebrar. Entretanto, o processo de moenda permite o rompimento destas paredes, liberando vários micronutrientes considerados anticancerígenos; como o selênio e o ácido fólico ou fitoquímicos; como flavonóides, ácido fítico e precursores de lignina para os mamíferos (Helsby et al., 2000).

O farelo de trigo é um subproduto tradicionalmente utilizado na formulação de rações de matrizes e aves de postura em nível de indústrias de

rações, entretanto não existem dados precisos na literatura sobre os níveis de inclusão deste alimento nas dietas e seus efeitos sobre o desempenho produtivo das aves. Este subproduto apresenta bom nível de proteína (15,52%, com base na matéria natural, de acordo com Rostagno et al., 2005), entretanto sua adição na dieta de aves é limitada pela alta concentração de fibra em sua composição (9,66%, com base na matéria seca, de acordo com Rostagno et al., 2005). De acordo com Maes et al. (2004) os principais polissacarídeos não amiláceos (PNA's) presentes neste subproduto são as arabinoxilanas (36,5%), mas contém também celulose (11%), lignina (3–10%) e ácidos urônicos (3–6%).

As arabinoxilans do farelo de trigo apresentam conhecida propriedade de reter água e promover a viscosidade em soluções (Schooneveld-Bergmans et al., 1999). O aumento da viscosidade da digesta a nível intestinal pode alterar a morfologia e fisiologia entérica, modificando ainda a taxa de trânsito intestinal e desregulando a função hormonal, devido a uma taxa variada de absorção de nutrientes. A digestibilidade da proteína pode ser deprimida pelas arabinoxilans do trigo, pela inibição e ou desarranjo da digestão da proteína ou redução da absorção de aminoácidos. Também pode resultar em um aumento na secreção de proteínas endógenas, derivadas das secreções e de células intestinais (Bedford e Partridge, 2001).

A fermentação anaeróbica dos PNA's do farelo de trigo produz ácidos graxos voláteis de cadeia curta (acetato, propionato e butirato), com o butirato em maior concentração, mantendo seus níveis por mais tempo ao longo do lúmen intestinal. Estando a maior concentração e permanência deste ácido no lúmen intestinal correlacionada com o aumento da apoptose (morte celular programada) de células inflamatórias (Hollmann e Lindhauer, 2005; Scheppach et al., 2004), a adição do farelo de trigo pode ser benéfica à saúde intestinal. Além disto, um dos desafios presentes nas ciências nutricionais é a manutenção ou melhoria da saúde intestinal por modulação dietética e, neste contexto, de acordo com Montagne et al. (2003), níveis moderados de fibra dietética parecem ser benéficos para a saúde.

O trigo é considerado um ingrediente promotor do aumento da viscosidade intestinal justamente pelo seu alto percentual de PNA's solúveis, como as arabinoxilanas. As arabinoxilanas do trigo causam uma inibição geral de digestão dos nutrientes, afetando a digestibilidade de carboidratos, gorduras e proteínas. Isto pode ser explicado por um provável desarranjo da proteína e/ou de uma redução, ou até mesmo inibição, da absorção dos aminoácidos causados pelos fatores antinutricionais contidos nos PNA's. Também pode resultar num aumento da secreção de proteínas endógenas derivadas do intestino, além da perda de células intestinais (Bedford e Partridge, 2001). A estrutura física das paredes celulares das células contidas no endosperma deste grão também pode impedir o acesso das enzimas digestivas aos seus nutrientes (Bedford et al., 2000). Ainda dentre os efeitos prejudiciais dos PNA's estão a modificação do tempo de trânsito e da mucosa intestinal e a alteração da regulação hormonal pela variação na taxa de absorção dos nutrientes (Bedford e Partridge, 2001). Como a maior parte dos fatores antinutricionais do trigo estão concentrados nas camadas exteriores, que no processo de moenda ficam contidos no farelo de trigo, estes efeitos podem ser mais intensos em aves alimentadas com este subproduto.

Araujo et al. (2008a) estudaram os efeitos do consumo de rações contendo níveis crescentes de inclusão de farelo de trigo (0, 10, 20 e 30%) sobre o desempenho de poedeiras. As aves consumiram as rações entre 7 e 19 semanas de idade, sendo avaliados os efeitos durante a recria e em dois períodos de postura. No período total avaliado durante a recria, a adição de farelo de trigo resultou em peso vivo final 6,5 g inferior, em consumo de ração diminuído em 0,71 g, em piora da conversão alimentar e em ganho de peso reduzido em 0,26 g, isto para cada aumento de 1% na inclusão de farelo de trigo nas dietas (Ver figuras 1, 2, 3 e 4, respectivamente).

Figura 1 – Peso vivo final em função dos níveis de farelo de trigo

Figure 1 – Final live weight in function of wheat bran levels

Figura 2 – Consumo de ração em função dos níveis de farelo de trigo

Figure 2 – Feed intake in function of wheat bran levels

Os mesmos autores comprovaram o efeito residual do consumo de farelo de trigo, retardando o início da postura e, consequentemente aumentando o peso inicial dos ovos. Para cada 1% de inclusão de farelo de trigo na ração, a idade das aves ao primeiro ovo aumentou em 0,6 dia e o peso inicial do ovo em 0,22 g (Figuras 5 e 6, respectivamente). O total de dias transcorridos desde a postura do primeiro ovo até que 50% das aves de cada tratamento pusessem o primeiro ovo também foi aumentado de forma linear com a

inclusão do farelo de trigo nas rações, mas não houve efeito significativo ($P>0,05$).

Figura 3 – Ganho de peso em função dos níveis de farelo de trigo
Figure 3 – Weight gain in function of wheat bran levels

Figura 4 – Conversão alimentar em função dos níveis de farelo de trigo na ração
Figure 4 – Feed Conversion in function of wheat bran levels

Figura 5 – Idade ao primeiro ovo em função dos níveis de farelo de trigo
Figure 5 – Days for egg first production in function of wheat bran (WB) levels

Figura 6 – Peso do ovo no início da postura em função dos níveis de farelo de trigo
Figure 6 – Initial egg weight in function of wheat bran levels

Também houve efeito residual sobre a produção de ovos, a massa de ovos e a conversão por massa de ovos (Ver figuras 7, 8 e 9, respectivamente). A produção de ovos foi reduzida de forma linear com o aumento dos níveis de farelo de trigo nas rações, uma vez que as aves alimentadas com as dietas com os maiores níveis produziram menos ovos (redução de 85,5 para 77,2%). Para estes autores, é provável que o aumento de 40% no teor de fibra bruta

da ração basal para a ração com 30% de farelo de trigo tenha afetado negativamente a utilização dos nutrientes, implicando na redução de desempenho observada.

Figura 7 – Produção de ovos em função dos níveis de farelo de trigo

Figure 7 - Egg production in function of wheat bran levels

Figura 8 – Massa do ovo em função dos níveis de farelo de trigo

Figure 8 – Egg mass in function of wheat bran levels

Figura 9 – Conversão por massa de ovos em função dos níveis de farelo de trigo

Figure 9 – Egg mass feed conversion in function of wheat bran levels

Para Araujo et al. (2008a), como a inclusão de farelo de trigo na ração de recria reduz a taxa de crescimento de frangas e atrasa o início da postura, este subproduto pode ter aplicação útil em programas de restrição alimentar para frangas de crescimento precoce ou para matrizes pesadas. Eles afirmam também que a produção de ovos nos primeiros 56 dias da fase de produção reduz com a inclusão de farelo de trigo nas rações de aves de reposição no período de 7 a 19 semanas de idade. Por isto, é importante conhecer o tipo de carboidrato contido em cada ingrediente, principalmente da fração fibrosa que compõe a dieta.

3. CARBOIDRATOS

Os carboidratos são as moléculas orgânicas mais abundantes na natureza. Eles possuem uma ampla faixa de funções, incluindo o fornecimento de uma fração significativa da energia na dieta da maioria dos organismos, uma forma de depósito de energia no corpo e a atuação como componentes da membrana celular que intermedeiam algumas formas de comunicação intercelular. Também são componentes estruturais de muitos organismos,

como as paredes celulares de bactérias, o exoesqueleto de muitos insetos e a celulose nas plantas (Champe e Harvey, 1996; Stryer, 1996).

Estes nutrientes possuem átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio, arranjados, muitas vezes, em longas cadeias de moléculas repetidas de açúcares simples. Existem três tipos principais de carboidratos oriundos de vegetais: açúcares, amidos e as fibras (Cunningham, 2004).

Do ponto de vista da nutrição humana e animal, os carboidratos podem ser classificados em dois grupos: carboidratos disponíveis, que são enzimaticamente digeridos no intestino delgado, e carboidratos indisponíveis, que são fermentados através da microflora do intestino grosso. Os carboidratos disponíveis incluem os monossacarídeos, oligossacarídeos e amido, enquanto os carboidratos indisponíveis incluem os oligossacarídeos componentes estruturais (Hedley, 2000).

Os carboidratos estruturais, normalmente indisponíveis, chamados de PNAs, ou simplesmente fibras são constituintes de grande parte dos alimentos alternativos de origem vegetal. Estes nutrientes podem se constituir em fator limitante ao uso dos ingredientes nas dietas, entretanto, possuem funções específicas na nutrição de animais monogástricos. Por isto, são necessários estudos que elucidem os efeitos do seu uso em dietas destes animais.

3.1. FIBRAS

O consumo de fibras dietéticas é importante para efeitos fisiológicos específicos, considerados protetores de algumas doenças degenerativas como diabetes, obesidade, doenças coronárias e patologias do cólon (Plessi et al., 1999). Também se sabe que a fibra dietética é o principal substrato para a fermentação bacteriana, particularmente no intestino grosso de monogástricos. Como a fibra interage com a mucosa e a microflora, possui um importante papel no controle da "saúde" intestinal (Montagne et al., 2003). A partir deste conhecimento, houve crescente interesse com relação à fibra dietética naturalmente presente em alimentos, ou mesmo para o enriquecimento de

produtos alimentícios (Plessi et al., 1999). Entretanto, para melhor entendimento, é necessária uma distinção precisa entre os efeitos fisiológicos de cada tipo de fibra; se solúvel ou insolúvel (Maes et al., 2004), que podem ser benéficos ou prejudiciais, a depender de inúmeros fatores.

O termo fibra dietética foi primeiramente definido no contexto de alimentação humana por Trowell et al. (1976), como sendo "a soma de polissacarídeos e da lignina, que não são digeridos por secreções endógenas do trato gastrointestinal do homem". Esta definição também é usada comumente para outras espécies de animais não ruminantes. Neste contexto nutricional, então, o termo fibra dietética inclui qualquer polissacarídeo, amiláceo ou não, que alcança o intestino grosso sem ter sido digerido no intestino delgado e, assim, inclui amido resistente e PNA's solúveis e insolúveis (Montagne et al., 2003).

Os amidos são polissacarídeos que podem ser classificados em três grupos básicos: rapidamente digestíveis, lentamente digestíveis e resistentes. A digestibilidade varia de acordo com as espécies de planta e, freqüentemente, há variações dentro de uma mesma espécie, além de estar relacionada à estrutura química e física dos grânulos de amido. A digestibilidade desta fração também depende dos métodos usados no processamento dos ingredientes anteriormente ao consumo (Hedley, 2000). Como citado anteriormente, os resistentes são agrupados juntamente como fibras.

Os PNA's são constituídos por uma grande variedade de moléculas de polissacarídeos. São classificados em três grandes grupos: celulose (insolúvel em água, álcali ou diluição ácida), polímeros não-celulolíticos e polissacarídeos pécticos (ambos parcialmente solúveis em água). Sua classificação foi atribuída, originalmente, por conta da metodologia utilizada para sua extração e isolamento. O resíduo remanescente após a extração alcalina da parede celular foi chamado celulose e a fração do resíduo solubilizado em solução álcali foi denominada hemicelulose (Choct, 1997).

Os PNA's não podem ser hidrolisados (ou são pobremente) por nenhuma das enzimas endógenas de animais monogástricos. Há consenso geral que a

maior proporção destes compostos dietéticos passa pelo intestino delgado quase que inteiramente intactos, e são fermentados no intestino grosso (ceco e cólon) pela microflora comensal. As plantas geralmente contêm uma mistura de PNA's solúveis e insolúveis em uma relação que varia de acordo com a espécie e o estágio vegetativo, dentre outros fatores (Montagne et al., 2003). Os fatores antinutricionais de PNA's da parede celular são provenientes, principalmente, de β -glucanos em cevada e aveia; de arabinoxilanas em arroz, trigo e tritcale; além de outros carboidratos como as pectinas e oligossacarídeos da família da rafinose (Marquardt et al., 1996).

Por conta da grande diversidade de combinações e propriedades fitoquímicas, os efeitos nutricionais dos PNA's sobre as aves também é diverso e, em alguns casos, extremo. Porém, geralmente é consenso que os seus efeitos prejudiciais em grãos promotores do aumento da viscosidade estão associados com a propriedade de aumentar a viscosidade da digesta no intestino, interferindo na morfologia e fisiologia, além de interagirem com a microflora intestinal das aves. Os mecanismos incluem a modificação do tempo de trânsito e alteração da viscosidade da mucosa intestinal, como também desregulam a função hormonal, devido a uma taxa variada de absorção de nutriente (Bedford e Partridge, 2001). Os PNA's solúveis também estão inertes às enzimas gastrointestinais das aves e podem promover o aumento da viscosidade das excretas, sendo que estes efeitos prejudiciais são mais pronunciados em animais, o quanto mais jovens (Boros et al., 2002).

Reconhecidamente, a dieta, além de outros fatores ambientais e genéticos, possui um importante papel com relação à saúde e à doença. Um dos desafios presentes nas ciências nutricionais é a manutenção ou melhoria da saúde intestinal por modulação dietética. Neste contexto, níveis moderados de fibra dietética em dietas para animais monogástricos parecem ser benéficos para a saúde (Montagne et al., 2003), pois podem, até mesmo, ter feito probiótico à microflora. Em modelos experimentais bem controlados com animais, as fibras de diferentes constituições têm demonstrado efeitos fisiológicos diferentes sob as características luminiais e da mucosa no processo

de carcinogênese do cólon (Lu et al., 2000). Isto porque a fibra modula a saúde intestinal por meio de interações complexas com o epitélio, o muco e a microflora. Diante disto, ainda há muito para aprender sobre as conseqüências destas interações em termos de saúde intestinal animal e humana (Montagne et al., 2003).

4. ENZIMAS

A manutenção da vida celular depende da contínua ocorrência de um conjunto de reações químicas, que devem atender duas exigências fundamentais: precisam ser altamente específicas, de modo a gerar produtos definidos, e devem ocorrer a velocidades adequadas à fisiologia celular. A insuficiência na produção ou remoção de metabólitos pode levar à condições patológicas (Marzzoco e Torres, 1999). Para que estas reações ocorram, atendendo todas as exigências orgânicas, as enzimas são fundamentais.

Praticamente todas as reações orgânicas são mediadas por enzimas, proteínas catalisadoras que não são alteradas nestes processos. Entre as reações energeticamente possíveis, as enzimas canalizam seletivamente os substratos para rotas úteis (Champe e Harvey, 1997). Elas diminuem a energia de ativação, elevando a velocidade das reações, são altamente específicas e são sintetizadas pelas próprias células, tendo concentração e atividade moduláveis; o que permite um ajuste fino do metabolismo ao ambiente celular. O conjunto destes aspectos favoráveis é que possibilita a manutenção da vida, justificando o alto investimento energético necessário para a síntese enzimática (Marzzoco e Torres, 1999). As enzimas podem acelerar algumas reações em cerca de um milhão de vezes, sendo que a maioria das reações nos sistemas biológicos ocorreria em velocidade não perceptível na ausência destas catalisadoras (Stryer, 1996), o que impossibilitaria a manutenção do equilíbrio metabólico.

A adição de enzimas exógenas às rações, além de aumentar a eficiência de utilização de alguns nutrientes, aos quais os animais já produzem enzimas endógenas específicas para digeri-los, também insere no trato gastrintestinal

enzimas que estes não sintetizam, isto possibilitaria a digestão de componentes que normalmente não seriam digeridos, tornaria a digestão mais eficiente, disponibilizando maior quantidade da energia contida no alimento para utilização pelo animal, além de reduzir o investimento energético do animal para a síntese enzimática.

Com relação à adição de enzimas exógenas em rações contendo ingredientes alternativos, quando as mesmas são apropriadas ao substrato específico, é possível reduzir algumas das propriedades anti-nutricionais dos PNA'S da parede celular (Yin et al., 2000), por exemplo, ou ainda diminuir a variação da qualidade nutricional das dietas, permitir digestão mais rápida e completa, reduzindo a excreção fecal de nutrientes e, conseqüentemente, a poluição ambiental, além de reduzir a incidência de fezes úmidas quando as aves são alimentadas com dietas de alta viscosidade (Bedford, 2000).

As enzimas exógenas, então, podem ser usadas para degradar diferentes estruturas, como os carboidratos estruturais de vegetais, contidos principalmente nos ingredientes alternativos destinados à alimentação animal e também para atuarem na diminuição da viscosidade da digesta no lúmen intestinal. As enzimas específicas que têm mostrado benefícios para animais monogástricos são as xilanases para dietas a base de trigo, triticales e arroz e β -glucanases ou celulases para dietas a base de cevada e aveia (Marquardt et al., 1996). Entretanto, além destas enzimas, são comumente usadas as amilases, proteases, lipases, galactomananases, galactosidases e ainda as fitases. Além disto, de acordo com Araujo et al. (2008b), a combinação de mais de uma enzima pode potencializar os efeitos benéficos sobre a digestibilidade das rações.

As xilanases podem ser produzidas comercialmente a partir de alguns microorganismos como *Thermomyces lanuginosus*, *Humicola insolens*, *Aspergillus aculeatus* e *Trichoderma viride*. Estas enzimas reduzem a viscosidade intestinal de aves por degradarem arabinoxilanas solúveis, aumentando os coeficientes de digestibilidade dos nutrientes e promovendo o maior desempenho animal (Choct et al., 2004; Boros et al., 2002).

β -glucanos são polissacarídeos não amiláceos que apresentam ligações glicosídicas mistas β -1,3 e β -1,4 e não são hidrolisados por qualquer enzima digestiva de animais superiores (Yu et al., 2002). A inclusão de enzimas β -glucanases, nas dietas de aves e suínos pode reduzir os efeitos negativos dos β -glucanos contidos em vários ingredientes, como os efeitos do aumento da viscosidade (Cosson et al., 1999). Por atuarem na hidrólise de fibras, reduzem a variabilidade nutricional, promovendo o aumento do desempenho animal e reduzindo a incidência de algumas desordens digestivas (Bedford e Patridge 2001).

A celulose é o principal polímero estrutural de plantas, constituída de cadeias lineares de unidades de glicose, sendo um dos compostos orgânicos mais abundantes da biosfera. Sua molécula não apresenta ramificações e as glicoses nela contidas são unidas por ligações β -1,4, o que permite que a celulose forme cadeias bem longas, com grande capacidade de formação de fibras de alta força de tensão (Stryer, 1996), portanto de difícil hidrólise. Animais superiores não são capazes de produzir celulasas, entretanto alguns microorganismos que vivem em simbiose no estômago de ruminantes e cecos de herbívoros secretam celulasas, que são importantes para o aporte energético que estes animais necessitam, por liberar as unidades de glicose desta molécula. Em dietas de aves e suínos, constituídas basicamente de vegetais, que podem conter maiores ou menores níveis de celulose, a adição de celulase exógena é bastante interessante para hidrolisar este polissacarídeo e liberar as unidades de glicoses, o que aumentaria a energia metabolizável das dietas e poderia incrementar a produção.

O desenvolvimento e a comercialização de α -amylases provenientes de fontes de fungos e bactérias aconteceu recentemente, no final do século XIX e início do século XX. Ao longo de cerca de trinta anos, estas enzimas foram comercialmente usadas em uma grande variedade de aplicações como na preparação de tecidos, papel e na indústria de xarope de milho. Um aumento significativo na produção e utilização de amilases aconteceu a partir de 1960, quando foram usados *Bacilo subtilis* e *Aspergillus niger* para substituir a

catálise ácida na produção de dextrose de amido (Muralikrishnaa e Nirmala 2005). O sucesso comercial das amilases é, dentre outros fatores, devido à utilização de grande biomassa de carboidratos como matéria-prima industrial. Com base na matéria seca, milho, trigo, sorgo e outros grãos de cereal contêm cerca de 60-75% do conteúdo de amido hidrolisável à glicose, que oferece um bom recurso em muitos processos de fermentação (Soni et al., 2003), inclusive na alimentação animal, tendo sua hidrólise e, conseqüentemente a digestibilidade, aumentada com a inclusão de amilases nas dietas destes animais.

Há uma considerável variabilidade das fontes e na qualidade da proteína dos diferentes ingredientes usados nas dietas de monogástricos. Além disto, alguns deles apresentam fatores antinutricionais, como as lecitinas e inibidores de tripsinas, que reduzem o coeficiente de digestibilidade dos aminoácidos. De acordo com Yu et al. (2002), as proteínas originárias de diferentes fontes são utilizadas em diferentes graus de eficiência pelas diversas espécies animais, sendo a solubilidade e a taxa de hidrólise das proteínas no trato gastrintestinal, especialmente no estômago e parte superior do intestino delgado, provavelmente, os primeiros fatores limitantes da digestão de proteínas. De acordo com Bedford e Patridge (2001) a adição de proteases, nestes casos, pode neutralizar os efeitos negativos dos fatores antinutricionais, ou mesmo melhorar a eficiência de utilização de proteínas por animais jovens, por promover maior hidrólise destas moléculas.

Lipídeos ou gorduras apresentam um problema digestivo especial para o animal, pois não se dissolvem em água, o principal meio onde ocorrem os processos orgânicos, incluído a digestão e a absorção. Estes nutrientes constituem uma grande parte das dietas de carnívoros e de mamíferos recém-nascidos, mas está em pequena porção nas dietas de herbívoros adultos (Cunningham, 2004). No caso de aves jovens, como o trato gastrointestinal ainda está em formação, elas não utilizam eficientemente os lipídeos contidos na dieta, principalmente quando em excesso. Entretanto, muitas vezes, óleos ou gorduras são utilizados nas dietas destes animais. O uso de lipases

exógenas pode aumentar a eficiência de utilização e permitir o aumento dos níveis de gordura na ração.

As enzimas endógenas produzidas pelas aves são específicas para carboidratos com ligações alfa (α), tais como o amido, entretanto são inativos na hidrólise de carboidratos que apresentem ligações beta (β) e oligossacarídeos contendo galactose, como os galactomananos, presentes em várias sementes usadas nas dietas de aves. Com a finalidade de hidrolisar estes compostos, aumentando a digestibilidade das rações, adiciona-se galactomananases nas rações avícolas.

Para eliminar a rafinose e açúcares similares em dietas a base de ingredientes vegetais, faz-se a adição de α -galactosidases nas dietas de monogástricos. A suplementação das dietas com α -galactosidases permite a hidrólise destes compostos no intestino de monogástricos, modificando a fermentação e reduzindo a produção de gases e, conseqüentemente, a flatulência (Pan et al., 2002), melhorando a eficiência de utilização da energia da dieta.

4.1. PREDIÇÃO DA RESPOSTA ENZIMÁTICA

Embora muitos estudos acerca da eficiência da utilização de enzimas exógenas nas dietas de monogástricos tenham alcançado resultados bastante controversos e exista uma grande gama de ingredientes utilizados em alimentação animal, em que diferentes enzimas exógenas podem ser utilizadas; a partir de dados de diversos estudos, alguns pesquisadores vêm tentando adequar a quantidade de cada enzima, ou combinação destas, a ser utilizada em dietas baseadas em determinados ingredientes.

Predizer o efeito da adição de enzimas exógenas em dietas a base de um alimento é particularmente atraente porque o produtor poderia ajustar a quantidade de enzimas a ser adicionada ou ajustar as especificações de nutrientes na formulação das rações. Embora seja extremamente difícil prever com precisão os efeitos específicos da adição de enzimas na prática,

algumas aproximações têm provado prover estimativas úteis de respostas desta adição em dietas à base de grãos que promovem aumento da viscosidade, como centeio, cevada e trigo (Bedford e Partridge, 2001).

Outra vertente seria predizer a resposta da adição das enzimas exógenas à concentração de algum componente específico da dieta. A partir deste ponto, seria possível adicionar concentrações específicas de enzimas, capazes de degradar, por exemplo, um fator antinutricional específico, melhorando a eficiência de utilização dos outros componentes da dieta e ainda disponibilizando energia a partir deste composto, que não seria degradado.

Após medir o conteúdo de PNA's de uma dieta, seria possível predizer a quantidade de enzimas a se acrescentar à dieta. Porém, na prática, tal predição é questionável. Primeiramente, uma dieta formulada para ser de menor custo contém vários ingredientes vegetais, que possuem diferentes de PNA's. Não há como precisar a quantidade e o tipo de PNA's, oriundos de diferentes substratos, contidos na dieta. Assim, predizer as respostas para vários tipos de atividades das enzimas acrescentadas à dieta é bastante complicado. Além disto, os ensaios de tipificação de PNA's não são simples. Ainda há outro agravante, pois os fatores antinutricionais oriundos de PNA's solúveis estão relacionados a uma grande gama de fatores, pois a natureza viscosa dos polímeros depende do tamanho e da estrutura das suas moléculas (Bedford e Partridge, 2001). Estes autores afirmam ainda que a viscosidade intestinal poderia ser utilizada para predizer a resposta da adição de enzimas exógenas, entretanto deveriam ser levados em consideração alguns fatores, como o local da mensuração da viscosidade, idade da ave, adição ou não de promotores de crescimento nas rações, ressaltando ainda que é bastante oneroso mensurar a viscosidade intestinal.

5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A literatura científica disponível ainda não aponta para um consenso quanto à utilização dos complexos enzimáticos na alimentação de aves. Em

alguns trabalhos, os autores afirmam que há efeitos benéficos para o desempenho produtivo dos animais, enquanto outros não conseguem confirmar esta ação. Em grande parte, isto se deve às diversas metodologias empregadas nos estudos, assim como à diversidade de enzimas (onde e como foram sintetizadas, como foram utilizadas nas rações, etc.) e ao grande número de ingredientes utilizados na confecção das rações, o que confere características indiscutivelmente diferentes às mesmas. Abaixo são listados resultados de vários trabalhos usando enzimas e/ou complexos enzimáticos em dietas contendo ou não alimentos alternativos.

Çiftci et al. (2003) estudaram o desempenho de poedeiras Hisex Brown com 27 semanas de idade, alimentadas com uma dieta basal de alta energia (milho e farelo de soja) e duas formuladas com 60% de trigo (alta e baixa energia), suplementando ou não as duas últimas com um complexo enzimático (CE) contendo xilanase, β -glucanase, hemicelulase e amilase. Os autores observaram que a suplementação das dietas a base de trigo com o CE aumentou significativamente ($P<0,05$) o percentual de postura em 3,18% e a massa de ovos em 4,72%. A suplementação com o CE nas dietas a base de trigo também reduziu ($P<0,001$) o consumo de ração, de 119,35g para 108,68g e melhorou ($P<0,00001$) a conversão por massa de ovos de 2,389 para 2,067. Os autores afirmam ainda que o uso de enzimas em dietas a base de trigo, de alta ou baixa energia, pode torná-las equivalentes às dietas a base de milho.

Álvarez Z. e Basilio (1999) avaliaram o efeito da adição de um CE (β -glucanases, hemicelulase e Pentosanase) a dietas com diferentes níveis (0, 15, 30 e 45%) de farelinho de trigo sobre a digestibilidade e o valor energético para galos adultos. Os resultados demonstraram que a suplementação com o CE aumentou significativamente ($P<0,001$) a digestibilidade da matéria seca, da fibra em detergente neutro, da fibra em detergente ácido e do extrato etéreo em 6,4; 13,9; 14 e 22,5%, respectivamente. Segundo estes autores, a concentração de PNA's no farelinho de trigo, subproduto do processo de moenda do trigo, deve ser consideravelmente aumentado pela extração do

endosperma do grão de trigo, causando aumento da viscosidade da digesta devido a alta capacidade de formação de gel das longas cadeias deste tipo de PNA's. Entretanto, mesmo com a piora do desempenho causada pelos PNA's, os autores afirmam que a adição das enzimas proporcionou a recuperação do valor energético que seria perdido com a inclusão do farelinho de trigo, principalmente a partir de 30% de inclusão.

Lázaro et al. (2003) avaliaram os efeitos da adição de diferentes níveis (0; 2,5; 12,5 e 25g/kg de ração) de um CE (β -glucanase e xilanase) em dietas formuladas a base de trigo, cevada e centeio sobre a digestibilidade dos nutrientes e desempenho de poedeiras Hy-Line com 20 semanas de idade. Conforme os autores, o peso do ovo foi maior ($P<0,05$) para as aves alimentadas com as dietas a base de trigo, cevada e centeio, quando suplementadas com as enzimas, em comparação com as aves que receberam a dieta basal (milho), entretanto somente nas quatro primeiras semanas experimentais, sendo o efeito diluído nas 20 semanas posteriores. A adição de 2,5g do CE por kg de ração aumentou ($P<0,05$) a produção de ovos. A conversão por dúzia e a conversão por massa de ovos foram afetadas ($P<0,05$) pela adição de 2,5g/kg de ração do CE e foram melhoradas em 2,5 e 1,8%, respectivamente. A viscosidade intestinal também foi reduzida ($P<0,05$) pela adição do CE, o que acabou resultando no aumento da digestibilidade da energia metabolizável corrigida pelo balanço de nitrogênio ($P<0,01$), da matéria seca ($P=0,08$), do extrato etéreo ($P<0,001$) e dos PNA's ($P<0,01$) em 2,5; 3,1; 4,4 e 83,3%, respectivamente.

Mathlouthi et al. (2003) avaliaram os efeitos da adição de um CE comercial (xilanase, β -glucanase, xilosidase, arabinofuranosidase, glucosidase, celulase, poligalactouronase e α -galactosidase) sobre o desempenho de poedeiras com 28 semanas, alimentadas com dietas à base de trigo e cevada ou de milho e farelo de soja. Os autores afirmam que as aves alimentadas com trigo e cevada, quando suplementadas com o CE, tiveram a conversão alimentar melhorada ($P<0,05$) e ganharam peso ($P<0,05$), cerca de 86g, ressaltando que as aves que não receberam o CE na dieta perderam em média

103g. Nas dietas a base de milho, apenas a conversão alimentar das foi melhorada estatisticamente ($P < 0,05$) quando suplementadas com o CE.

Silva e Smithard (2002) avaliaram a atividade da xilanase no intestino delgado, a proliferação das células das criptas intestinais, a digestibilidade de nutrientes e o desempenho de frangos de corte alimentados com dietas a base de centeio, suplementadas em três níveis (0, 10 e 30g/kg de centeio na dieta) com um CE comercial composto por xilanase e protease. No primeiro ensaio, após 10 dias, não observou diferença ($P > 0,05$) para o consumo de ração, entretanto obteve diferença estatística ($P < 0,05$) para o ganho de peso e a conversão alimentar, que melhoraram a partir da adição de 10g do CE /kg de centeio na dieta. A viscosidade intestinal foi estatisticamente ($P < 0,05$) reduzida em cerca de 8,7 e 6,8 vezes, respectivamente, nos dois ensaios realizados, pela adição do CE. A atividade da xilanase foi aumentada ($P < 0,05$) em até 23,4 vezes no primeiro ensaio e em 2,6 vezes no segundo. A digestibilidade aparente da matéria seca, dos lipídeos e do nitrogênio (proteína), além do percentual de energia metabolizável em relação à energia bruta foram estatisticamente diferentes ($P < 0,05$), aumentando com a adição do CE.

Hughes et al. (2000) avaliaram os efeitos da adição de PNA's isolados de sementes de *lupins* (0, 50, 100, e 150 g/kg) e da mistura de dois complexos enzimáticos comerciais (0,2 + 0,2g/kg de ração); que continham pectinases e α -galactosidases, arabinoxilanases e β -glucanases, respectivamente; em uma dieta semipurificada à base de sorgo e caseína sobre a energia metabolizável aparente e a composição da digesta de frangos de corte. A adição dos complexos enzimáticos às dietas aumentaram ($P < 0,05$) a energia metabolizável aparente. A viscosidade também foi aumentada ($P < 0,01$), entretanto não houve efeito sobre o desempenho.

Kocher et al. (2000) avaliaram os efeitos da adição de três CE comerciais (celulase + β -glucanase + xilanase; hemicelulase + pentosanase + xilanase ou hemicelulase + pectinase + β -glucanase) em uma ração basal semipurificada e duas formuladas com duas variedades de *lupins* (*Lupinus angustifolius* cv

Gungurru e *Lupinus albus* cv Kiev mutant) sobre o desempenho e utilização de energia e nutrientes por frangos de corte. A adição de qualquer dos CE não resultou em diferença ($P<0,05$) no ganho de peso, conversão alimentar ou nos valores de energia metabolizável aparente.

Mathlouthi et al. (2003) avaliaram os efeitos da adição de xilanase e β -glucanase (0, 10, 20 e 30 mg/kg de ração) em dietas formuladas com trigo ou com a mistura de trigo e cevada sobre o desempenho de perus machos. A adição do CE aumentou ($P<0,001$) o ganho de peso e a energia metabolizável aparente em relação à energia bruta, melhorando ($P<0,001$) também a conversão alimentar de perus alimentados com dietas à base de trigo e cevada.

Choct et al. (1999) estudaram os efeitos da adição de um CE comercial (xilanase e protease) em rações a base de trigo sobre o desempenho, a digestibilidade do amido, a energia metabolizável aparente, a produção ileal e cecal de ácidos graxos voláteis e sobre a viscosidade intestinal. O consumo de ração, o ganho de peso e a conversão alimentar não foram afetados ($P<0,05$) pela adição das enzimas. A viscosidade duodenal, jejunal e ileal foi reduzida ($P<0,001$) pela adição do CE, já a digestibilidade do amido não foi alterada no duodeno, decresceu ($P<0,05$) no jejuno e no íleo. A concentração de ácidos graxos voláteis no íleo diminuiu, enquanto no ceco aumentou ($P<0,05$). A energia metabolizável aparente foi maior ($P<0,001$) nas dietas suplementadas com o CE.

Yu et al. (2002) avaliaram os efeitos de dietas formuladas com diferentes fontes de proteína (caseína, farelo de soja, farinha de peixe, proteína concentrada de soja e de glúten de milho), com ou sem suplementação com protease, na alimentação de frangos de corte. A inclusão da enzima não afetou ($P>0,05$) a digestibilidade da proteína nas fases de crescimento e final. O pH na moela foi reduzido, enquanto no íleo foi aumentado ($P<0,05$) com a adição de protease. A atividade da pepsina na moela e da tripsina e quimiotripsina no duodeno e íleo não foi alterada pela adição de protease nas dietas compostas por nenhuma das fontes.

MacCracken e Quintin (2000) estudaram os efeitos do conteúdo de energia metabolizável de trigos com diferentes pesos específicos, com ou sem adição de um CE (α -amilase, protease, xilanase, β -glucanase e pectinase), sobre o desempenho de frangos de corte. O ganho de peso foi estatisticamente afetado ($P=0,025$), sendo 3,7% maior na presença do CE. A conversão alimentar também melhorou ($P=0,012$), cerca de 2,1% na presença do CE.

Farrell e Martin (1998) estudaram os efeitos da inclusão de arroz branco, fitase e um CE comercial (xilanase, α -amilase, β -glucanase e protease) adicionadas separadamente ou em conjunto, sobre o desempenho de frangos de corte e patos. Os autores afirmam que não houve influência da adição de fitase, do CE ou da união dos dois produtos em qualquer das variáveis de desempenho estudadas em qualquer nível de inclusão do arroz branco nas dietas dos animais.

Cowieson et al. (2003) suplementaram dietas basais de trigo e farelo de soja com pea meal e um CE (α -amylase, pectinase and celulase) e estudaram o desempenho, digestibilidade de nutrientes e morfologia do trato gastrointestinal de frangos de corte. A suplementação das dietas com o CE aumentou ($P<0,001$) o ganho de peso e o consumo de ração e melhorou ($P<0,01$) a conversão alimentar. A adição das enzimas exógenas melhorou ($P<0,01$) o coeficiente de digestibilidade aparente da matéria seca, o coeficiente de retenção de nitrogênio e a energia metabolizável aparente corrigida pelo balanço de nitrogênio em 4,7; 5,2 e 1,5%, respectivamente. A excreção fecal de ácido siálico foi reduzida ($P<0,01$) em 13,6%.

Marron et al. (2001) avaliaram os efeitos da suplementação de uma dieta a base de trigo com xilanase, vitamina C e sulfato de cobre para frangos de corte. Houve efeito ($P=0,05$) de interação para o ganho de peso entre a enzima e o sulfato de cobre, com redução do ganho de peso, em comparação com a dieta controle e com as dietas sem enzima. A conversão alimentar ($P=0,05$) e a energia metabolizável aparente em relação à energia bruta ($P<0,001$) foram afetadas pela adição da enzima. A adição de enzima melhorou estatisticamente ou numericamente o desempenho, entretanto,

quando combinada com o sulfato de cobre, pioram o mesmo, quando comparados com as dietas sem a enzima. A adição da xilanase resulta na diminuição ($P<0,001$) da viscosidade intestinal, com exceção de sua combinação com o sulfato de cobre. A digestibilidade ileal da matéria seca ($P<0,01$) e do amido ($P<0,001$), além da digestibilidade fecal aparente do amido ($P<0,01$), da gordura ($P<0,001$) e da fibra em detergente neutro ($P<0,001$) também foram melhoradas com a adição de xilanase.

Boros et al. (2002) avaliaram o desempenho e morfometria do trato gastrointestinal de frangos de corte alimentados com dietas contendo o grão ou diferentes frações de centeio, com a adição de um CE (celulase, glucanase e xilanase). Quando o CE foi adicionado à dieta com o grão de centeio, o consumo de ração ($P<0,01$) e o ganho de peso ($P<0,001$) foram aumentados e a conversão alimentar melhorada ($P<0,001$). O peso de proventrículo e pâncreas não foi alterado ($P>0,05$), enquanto o peso da moela foi maior ($P<0,05$) com a adição do CE. O comprimento do íleo foi maior ($P<0,05$), enquanto o ceco não foi alterado ($P>0,05$) pela adição do CE. Os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca, da proteína bruta e da gordura foram melhorados ($P<0,001$) pela adição do CE nas dietas com o grão de centeio. Nas dietas com diferentes frações do centeio, a adição do CE também melhorou ($P<0,001$) o consumo de ração e o ganho de peso em 11 e 28%, respectivamente. Os autores chamam a atenção pela melhora progressiva da conversão alimentar, que foi de 4,02 na primeira, 3,09 na segunda e 2,97 na terceira semana, quando não adicionado o CE nas dietas com frações de centeio; entretanto, com a adição do CE, a conversão alimentar variou pouco (entre 2,50 e 2,59 da primeira à terceira semana). Isso demonstra a adaptação dos animais às dietas com o avanço da idade e a melhora da conversão alimentar com a inclusão do CE. A adição do CE em todas as rações com diferentes frações de centeio também aumentou os coeficientes de digestibilidade aparente de todos os nutrientes avaliados.

Wang et al. (1997) estudaram os efeitos da inclusão de três níveis de um CE contendo xilanase e β -glucanase (0,1 e 10g de CE/kg de ração) e três

níveis de irradiação (0, 10 e 50 kGy) em dietas formuladas com farelo de arroz branco, oriundo da China ou Malásia, sobre o desempenho de poedeiras entre 6 e 13 e frangos de corte entre 1 e 5 dias de idade. No primeiro ensaio, com aves Leghorn, a adição do CE nas dietas com o farelo de arroz melhoraram o ganho de peso ($P<0,05$) e a conversão alimentar ($P<0,01$), mas não afetou o consumo ($P>0,05$). O incremento no ganho de peso com a adição de 1 ou 10g/kg do CE nas dietas a base de farelo de arroz da Malásia foi de 5,6 ($P<0,05$) e 9,6% ($P<0,01$), respectivamente, o que causou uma melhora na conversão alimentar de 3,2 ($P<0,01$) e 5,4% ($P<0,001$), respectivamente. A adição do CE melhorou o desempenho de poedeiras em crescimento, mesmo com altos níveis de farelo de arroz (40%), que pôde ser comparado ao desempenho das aves consumindo a dieta basal (trigo e farelo de soja).

Yu et al. (2002) estudaram os efeitos da substituição do milho por cevada com ou sem adição de glucanase nas dietas de frangos de corte. A inclusão da glucanase não influenciou ($P<0,05$) o ganho de peso, o consumo de ração e a conversão alimentar durante os períodos de crescimento e produção. O peso do trato gastrointestinal (papo, moela, duodeno, jejuno, íleo e cólon-retos) foi diminuído com a inclusão da enzima, que não afetou o peso do ceco na fase de crescimento. Na fase final, a diferença no peso dos órgãos foi reduzida, sendo significativa apenas para o papo, moela e jejuno. A digestibilidade da matéria seca e proteína não foi alterada, enquanto a digestibilidade da gordura foi aumentada ($P<0,05$) pela adição da enzima durante a fase de crescimento. Na fase final, não houve efeito da adição da enzima sobre a digestibilidade de nutrientes. A concentração de ácidos graxos voláteis nos cecos das aves na fase final aumentou ($P<0,05$) com a adição de glucanase nas dietas.

Steenfeldt et al. (1998) estudaram os efeitos da suplementação enzimática (Bio-Feed Plus: xilanase, pentosanase, hemicelulase e celulase; SP431: β -glucanases e xilanase; SP578: endoxilanase; SP556: endoxilanase) em dietas a base de trigo para frangos de corte. A suplementação enzimática aumentou o ganho de peso de 1,9 a 5,7%, entretanto somente apresentou

efeito estatístico ($P<0,01$) na menor adição (1,14g/kg de ração) do produto comercial SP578 na fase de crescimento (0 a 3 semanas). A conversão alimentar durante o crescimento foi significativamente ($P<0,02$) melhor, cerca de 7,3%, com exceção da dieta com o menor nível de inclusão (0,39g/kg de ração) do produto comercial Bio-Feed Plus, quando comparadas à dieta controle. Na fase final (3 a 6 semanas) o maior ($P<0,001$) ganho de peso foi obtido pelas aves alimentadas com a dieta suplementada com o menor nível do produto comercial SP578, confirmando o efeito na fase de crescimento. O ganho de peso foi maior para as aves suplementadas com enzimas, quando comparadas à dieta controle. A conversão alimentar foi piorada ($P<0,006$) nas dietas com adição enzimática, com exceção da dieta com o menor nível de inclusão do produto comercial Bio-Feed Plus. O consumo de ração não foi alterado ($P>0,05$) pela adição de enzimas nos dois períodos experimentais. A suplementação com enzimas melhorou ($P<0,05$) consideravelmente a digestibilidade dos nutrientes (proteína e gordura) e da energia metabolizável.

Lázaro et al. (2003) estudaram os efeitos da inclusão de um CE comercial (xilanase e β -glucanase) em dietas formuladas com três variedades de centeio sobre o desempenho de frangos de corte. O ganho de peso ($P<0,001$), o consumo de ração ($P<0,01$) e a conversão alimentar ($P<0,001$) foram melhorados em 20,8; 4,9 e 12,7%, respectivamente, com a adição do CE às dietas. A adição do CE reduziu ($P<0,001$) a viscosidade intestinal da digesta dos animais consumindo centeio em cerca de 3,8 vezes. A concentração de ácidos gráxos voláteis nos cecos não foi alterada.

Hew et al. (1998) avaliaram os efeitos da suplementação de dietas a base de trigo com duas xilanases comerciais sobre o desempenho e digestibilidade da energia metabolizável aparente e dos aminoácidos sobre frangos de corte. A adição de ambas as xilnases aumentaram a energia metabolizável aparente do trigo em 12,6 e 18,7%. A suplementação com as enzimas resultou em maior ($P<0,05$) digestibilidade fecal de aminoácidos. A digestibilidade ileal de nitrogênio e de aminoácidos essenciais e não essenciais também foi aumentada ($P<0,05$) pela adição das xilanases.

Wu e Ravindran (2004) estudaram os efeitos da forma do trigo (trigo moído e trigo inteiro) e dois níveis de xilanase (0 e 1000 Unidades/kg de ração) sobre o desempenho, morfometria do trato digestivo e características da carcaça de frangos de corte. A suplementação com xilanase elevou ($P<0,01$) o ganho de peso em ambas as formas de oferta do trigo, entretanto a maior diferença foi para o trigo moído (177 versus 9g). Houve interação ($P<0,01$) para o ganho de peso, que foi maior para o trigo moído, em relação ao trigo inteiro (1902 versus 1852g), quando sem suplementação enzimática; situação que foi revertida com a adição de xilanase, sendo o menor ganho de peso observado nas aves que receberam trigo inteiro, em ralação às que receberam trigo moído (1831 versus 1823g). A inclusão de xilanase aumentou ($P<0,05$) o consumo de ração e houve efeito ($P<0,001$) de interação entre a forma do trigo e a xilanase para esta variável, que foi maior para o trigo moído na presença de xilanase e maior para o trigo inteiro na ausência da mesma. A adição de xilanase melhora ($P<0,05$) a conversão alimentar para as duas formas de oferta do trigo em cerca de 2.5%. A inclusão de xilanase não alterou o peso dos órgãos em ralação ao peso vivo nem o percentual de gordura abdominal.

Em trabalhos recentes no Brasil, Araujo et al. (2009 no prelo e 2008b) estudaram os efeitos da suplementação com CE em rações com diferentes níveis de inclusão de farelo de trigo sobre o desempenho de poedeiras em produção ou crescimento, respectivamente.

No primeiro estudo os autores forneceram rações com diferentes níveis (0, 3, 6 e 9%) de farelo de trigo, suplementadas ou não com um CE (β -galactosidase, galactomananase, xilanase e α -glucanase) para poedeiras semipesadas em primeiro ciclo de produção de ovos. O consumo de ração, o peso vivo final, a produção, o peso e a massa de ovos e a conversão por massa e por dúzia de ovos não foram afetados ($P>0,05$) pela inclusão do farelo de trigo nas dietas. Já a gravidade específica piorou ($P<0,06$) linearmente com a inclusão do farelo de trigo nas dietas, passando de 1,0886 para 1,0866 g/cm³ (Ver figura 10), o que é um fator negativo para a

resistência da casca, podendo culminar em perdas de ovos por trinca da casca. A adição do CE não afetou o consumo de ração, o peso vivo final, a produção de ovos, a massa de ovos, a conversão por massa e por dúzia de ovos e a gravidade específica. Entretanto, o peso dos ovos melhorou aproximadamente 2,45% quando o CE foi adicionado às rações, aumentando de 62,74 para 64,28 g. Isto, segundo Araujo et al. (2008) pode estar relacionado a uma provável melhora da digestibilidade dos nutrientes da dieta, culminando em maior depósito de massa nos ovos, o que poderia justificar o uso do CE nas dietas, caso economicamente viável.

Figura 10 – Gravidade específica da casca dos ovos em função dos níveis de farelo de trigo

Figure 10 – Egg-shell specific gravity in function of wheat bran levels

No segundo estudo, Araujo et al. (2009) alimentaram frangas semipesadas com rações contendo diferentes níveis de farelo de trigo (0, 10, 20 e 30%), que continham ou não um CE comercial (amilase, protease e celulase). O ganho de peso e a conversão alimentar foram afetados, de modo que o ganho de peso diminuiu, enquanto a conversão alimentar piorou à medida que a proporção de FT foi elevada na ração (Figuras 11 e 12, respectivamente).

Houve efeito de interação ($P \leq 0,05$) entre o FT e o CE para o consumo de ração e peso vivo final (Figuras 13 e 14, respectivamente). O consumo de ração caiu linearmente na ausência ou na presença do CE na ração. Da mesma

forma, o peso vivo final caiu 6,46 e 8,06 g por cada 1% de inclusão do FT na ração, respectivamente, com e sem o CE na ração. A suplementação da dieta controle e daquela com 30% de FT reduziu o consumo significativamente ($P \leq 0,05$). O peso vivo final também foi reduzido significativamente ($P \leq 0,05$) com a suplementação das rações com 10 e 30% de FT com o CE.

Figura 11 – Ganho de peso em função dos níveis de farelo de trigo

Figure 11 – Weight gain in function of wheat bran levels

Figura 12 – Conversão alimentar em função dos níveis de farelo de trigo

Figure 12 – Feed conversion in function of wheat bran levels

Figura 13 – Consumo de ração em função dos níveis de farelo de trigo e do complexo enzimático

Figure 13 – Feed Intake in function of the wheat bran levels and enzymatic complex

Os autores observaram que a idade das aves ao primeiro ovo aumentou, de 134,2 para 148,5 dias, comparando as aves que consumiram dietas com zero e 30% de farelo de trigo (Conforme Figura 15). Para o peso inicial do ovo e os dias transcorridos desde a postura do primeiro ovo até que fossem atingidos índices de 50% de produção, não houve efeito significativo. O consumo de ração, o peso do ovo e a gravidade específica do ovo também não foram afetados pela adição do farelo e trigo, independentemente da suplementação com CE.

Figura 14 – Peso vivo final em função dos níveis de farelo de trigo e do complexo enzimático

Figure 14 – Final weight in function of the wheat bran levels and enzymatic complex

Figura 15 – Idade das aves ao primeiro ovo em função dos níveis de farelo de trigo

Figure 15 - Days for egg first production in function of weat bran

O CE também não mostrou influência sobre nenhuma das variáveis estudadas. Entretanto, a massa de ovos reduziu de forma linear, 0,13 g/dia para cada 1% de aumento do farelo de trigo na dieta. A conversão por massa de ovos apresentou comportamento quadrático, enquanto a conversão alimentar por dúzia de ovos apresentou comportamento linear, de acordo com

o aumento do nível de farelo de trigo na ração (Ver Figuras 16, 17 e 18, respectivamente).

Para estes autores, a inclusão de até 30% de farelo de trigo na ração de recria compromete o crescimento até as 19 semanas de idade, retarda a postura do primeiro ovo e afeta o desempenho de galinhas até o final do pique de postura. Entretanto, com base na conversão alimentar por massa de ovos, recomendam até 8,01% de farelo de trigo na dieta de poedeiras de 15 a 19 semanas de idade. Eles afirmam que a adição do CE (amilase, protease e celulase) nas rações de recria não melhora o desempenho de frangas semipesadas.

Figura 16 – Massa de ovos em função dos níveis de farelo de trigo

Figure 16 – Egg mass in function of wheat bran levels

Araújo, D.M. e Silva, J.H.V. Enzimas exógenas em dietas contendo farelo de trigo e outros alimentos alternativos para aves: revisão. PUBVET, Londrina, V. 2, N. 47, Art#453, Nov4, 2008.

Figura 17 – Conversão alimentar por massa de ovos em função dos níveis de farelo de trigo

Figure 17 – Egg mass feed conversion in function of wheat bran levels

Figura 18 – Conversão alimentar por dúzia de ovos em função dos níveis de farelo de trigo

Figure 18 – Egg dozen feed conversion in function of wheat bran levels

6. CONCLUSÕES

O uso de ingredientes alternativos em rações de aves depende, além dos preços destas matérias primas, do conhecimento prévio pelo formulador sobre as suas propriedades nutricionais. Com relação ao farelo de trigo, embora seja

usual nas fórmulas de rações, há poucos estudos básicos dos seus efeitos sobre o desempenho zootécnico das aves.

O uso de enzimas exógenas em dietas de aves, embora também seja usual, tem culminado em resultados, disponíveis na literatura científica, que ainda são controversos. Entretanto há um grande número de trabalhos que afirmam haver melhora dos índices zootécnicos destes animais com o uso de enzimas nas suas rações.

Diante do grande número de ingredientes alternativos e dos resultados controversos quanto à utilização de enzimas exógenas nas dietas de aves, ainda há necessidades de pesquisas refinadas nestas áreas. Além disto, são necessários estudos em que haja o uso de complexos enzimáticos em dietas contendo ingredientes alternativos.

7. LITERATURA CITADA

- ÁLVAREZ Z, R.; BASILIO, V. Índices Digestivos en Aves con Dietas de Afrechillo de Trigo y Enzimas Exógenas. Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Central de Venezuela, v.40, n.4, p.233-242, 1999.
- ARAUJO, D.M. Avaliação do farelo de trigo e enzimas exógenas na alimentação de frangas e poedeiras. Areia: Universidade Federal da Paraíba, 2005. 81p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal da Paraíba, 2005.
- ARAUJO, D.M.; SILVA, J.H.V.; ARAUJO, J.A.; TEIXEIRA, E.N.M.; JORDÃO FILHO, J.; RIBEIRO, M.L.G. Farelo de trigo na alimentação de poedeiras semipesadas na fase de recria. Revista Brasileira de Zootecnia, v.37, n.1, p.67-72, 2008a.
- ARAUJO, D.M.; SILVA, J.H.V.; MIRANDA, E.C.; ARAUJO, J.A.; COSTA, F.G.P.; TEIXEIRA, E.N.M. Farelo de trigo e complexo enzimático na alimentação de poedeiras semipesadas na fase de produção. Revista Brasileira de Zootecnia, v.37, n.5, p.843-848, 2008b.
- ARAUJO, D.M.; SILVA, J.H.V.; ARAUJO, J.A.; RIBEIRO, M.L.G.; PASCOAL, L.A.F.; COSTA, F.G.P. Farelo de Trigo e complexo enzimático na alimentação de frangas de reposição. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.à definir, n. à definir, p. à definir-à definir, no prelo, 2009.
- BEAUGRAND, J.; CRÔNIER, D.; DEBEIRE, P.; CHABBERT, B. Arabinoxylan and hydroxycinnamate content of wheat bran in relation to endoxylanase susceptibility. Journal of Cereal Science, v.40, p.223-230, 2004.
- BEDFORD, M.R. Exogenous enzymes in monogastric nutrition – their current value and future benefits. Animal Feed Science and Technology, v.86, p.1-13, 2000.

Araújo, D.M. e Silva, J.H.V. Enzimas exógenas em dietas contendo farelo de trigo e outros alimentos alternativos para aves: revisão. PUBVET, Londrina, V. 2, N. 47, Art#453, Nov4, 2008.

BEDFORD, M.R.; PARTRIDGE, G.G. Enzymes in Farm Animal Nutrition. CABI Publishing. Ed. Finnfeds International, Marlborough, Wiltshire, UK. p.432, 2001.

BOROS, D.; MARQUARDT, R.R.; GUENTER, W.; BRUFAU, J. Chick adaptation to diets based on milling fractions of rye varying in arabinoxylans content. Animal Feed Science and Technology, v.101, p.135-149, 2002.

CHAMP, P.C.; HARVEY, R.A. Bioquímica Ilustrada. Editora Artes Médicas, Porto Alegre-RS, 2ed, p.446, 1997.

CHOCT, M. Feed Non-Starch Polysaccharides: Chemical Structures and Nutritional Significance. Feed Milling International, June Issue pp.13-26, 1997.

CHOCT, M.; HUGHES, R.J.; BEDFORD, M.R. Effects of a Xylanase on Individual Bird Variation, Starch Digestion Throughout the Intestine, and Ileal and Caecal Volatile Fatty Acid Production in Chickens Fed Wheat. British Poultry Science, v.40, p.419-422, 1999.

CHOCT, M.; KOCHER, A.; WATERS, D.L.E.; PETTERSSON, D.; ROSS, G.A. Comparison of three xylanases on the nutritive value of two wheats for broiler chickens. British Journal of Nutrition, v.92, p.53-61, 2004.

ÇİFTCI, I.; YENICE, E.; GÖKÇEYREK, DILEK.; ÖZTÜRK, E. Effects of Energy Level and Enzyme Supplementation in Wheat-Based Layer Diets on Hen Performance and Egg Quality. Acta Agriculturae Scandinavica, Section A - Animal Science, v.53, p.113-119, 2003.

COSSON, T.; VENDRELL, A.M.P.; TERESA, B.G.; REÑÉ, D.; TAILLADE, P.; BRUFAU, J. Enzymatic assays for xylanase and β -glucanase feed enzymes. Animal Feed Science and Technology v.77, p.345-353, 1999.

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, n.3, p.427-437, 2003.

CUNNINGHAM, J. G. Tratado de Fisiologia Veterinária. 3ª Edição. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.

EVERS, T.; MILLAR, S. Cereal Grain Structure and Development: Some Implications for Quality. Journal of Cereal Science, v.36, p.261-284, 2002.

FARRELL, D.J.; MARTIN, E.A. Strategies to improve the nutritive value of rice bran in poultry diets. I. The addition of food enzymes to target the non-starch polysaccharide fractions in diets of chickens and ducks gave no response. British Poultry Science, v.39, p.549-554, 1998.

HEDLEY, C.L. Carbohydrates in Grain Legume Seeds: Improving Nutritional Quality and Agronomic Characteristics. CABI Publishing. p.352, 2000.

HELSBY, N.A.; ZHUA, S.; PEARSON, AMIRA E. Antimutagenic effects of wheat bran diet through modification of xenobiotic metabolising enzymes. Mutation Research, v.454, p.77-88, 2000.

Araújo, D.M. e Silva, J.H.V. Enzimas exógenas em dietas contendo farelo de trigo e outros alimentos alternativos para aves: revisão. PUBVET, Londrina, V. 2, N. 47, Art#453, Nov4, 2008.

HEW, L.I.; RAVINDRAN, V.; MOLLAH, Y.; BRYDEN, W.L. Influence of exogenous xylanase supplementation on apparent metabolisable energy and amino acid digestibility in wheat for broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, v.75, p.83-92, 1998.

HOLLMANN, J.; LINDHAUER, M.G. Pilot-scale isolation of glucuronoarabinoxylans from wheat bran. *Carbohydrate Polymers*, v.59, p.225-230, 2005.

HUGHES, R.J.; CHOCT, M.; KOCHER, A.; VAN BARNEVELD, R.J. Effect of food enzymes on AME and composition of digesta from broiler chickens fed on diets containing non-starch polysaccharides isolated from lupin kernel. *British Poultry Science*, v.41, p.318-323.

LÁZARO, R.; GARCÍA, M.; ARANÍBAR, M.J.; MATEOS, G.G. Effect of enzyme addition to wheat-, barley- and rye-based diets on nutrient digestibility and performance of laying hens. *British Poultry Science*, v.44, n.2, p.256-265, 2003.

LÁZARO, R.; GARCÍA, M.; MEDEL, P.; MATEOS, G.G. Influence of Enzymes on Performance and Digestive Parameters of Broilers Fed Rye-Based Diets. *Poultry Science*, v.82, p.132-140, 2003.

LU, Z.X.; GIBSON, P.R.; MUIR, J.G.; FIELDING, M.; O'DEA, K. Arabinoxylan Fiber from a By-Product of Wheat Flour Processing Behaves Physiologically like a Soluble, Fermentable Fiber in the Large Bowel of Rats. *Journal of Nutrition*, v.130, p.1984-1990, 2000.

MCCRACKEN, K.J.; QUINTIN, G. Metabolisable energy content of diets and broiler performance as affected by wheat specific weight and enzyme supplementation. *British Poultry Science*, v.41, p.332-342, 2000.

MARQUARDT, R.R.; BRENES, A.; ZHANG, Z.; BOROS, D. Use of enzymes to improve nutrient availability in poultry feedstuffs. *Animal Feed Science Technology*, v.60, p.321-330, 1996.

MARRON, L.; BEDFORD, M.R.; MCCracken, K.J. The effects of adding xylanase, vitamin C and copper sulphate to wheat-based diets on broiler performance. *British Poultry Science*, v.42, p.493-500, 2001.

MARZZOCO, A.; TORRES, B.B. *Bioquímica Básica*, Rio de Janeiro, 2ª ed., Editora Guanabara, p.360, 1999.

MATHLOUTHI, N.; JUIN, H.; LARBIER, M. Effect of xylanase and β -glucanase supplementation of wheat- or wheat- and barley-based diets on the performance of male turkeys. *British Poultry Science*, v.44, n.2, p.291-298, 2003.

MATHLOUTHI, N.; MOHAMED, M.A.; LARBIER, M. Effect of enzyme preparation containing xylanase and β -glucanase on performance of laying hens fed wheat/barley- or maize/soybean meal-based diets. *British Poultry Science*, v.44, p.60-66, 2003.

MONTAGNE, L.; PLUSKE, J.R.; HAMPSON, D.J. A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. *Animal Feed Science and Technology*, v.108, p.95-117, 2003.

MURALIKRISHNAA, G.; NIRMALA, M. Cereal α -amylases—an overview. *Carbohydrate Polymers*, v.60, p.163-173, 2005.

PAN, B.; LI, D.; PIAO, X.; ZHANG, L.; GUO, L. Effect of Dietary Supplementation Whit α -Galactosidase Preparation and Stachyose on Growth Performance, Nutrient Digestibility and

Araújo, D.M. e Silva, J.H.V. Enzimas exógenas em dietas contendo farelo de trigo e outros alimentos alternativos para aves: revisão. PUBVET, Londrina, V. 2, N. 47, Art#453, Nov4, 2008.

Intestinal Bacterial Populations of Piglets. Archives of Anima Nutrition, v.56, p.327-337, 2002.

PLESSI, M.; BERTELLI, D.; MONZANI, A.; SIMONETTI, M.S.; NERI, A.; DAMIANI, P. Dietary Fiber and Some Elements in Nuts and Wheat Brans. Journal of Food Composition and Analysis, v.12, p.91-96, 1999.

KOCHER, A.; CHOCT, M.; HUGHES, R.J.; BROZ, J. Effect of food enzymes on utilisation of lupin carbohydrates by broilers. British Poultry Science, v.41, p.75-82.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L. et al. **Tabelas brasileiras para suínos e aves:** Composição de alimentos e exigências nutricionais. Viçosa: UFV; DZO - Departamento de Zootecnia, 2000. 141p.

SCHOONEVELD-BERGMANS, M.E.F.; BELDMAN, G.; VORAGEN, A.G.J. Structural Features of (Glucurono)Arabinoxylans Extracted from Wheat Bran by Barium Hydroxide. Journal of Cereal Science. v.29, p.63-75, 1999.

SCHEPPACH, W.; LUEHRS, H.; MELCHER, R.; GOSTNER, A.; SCHAUER, J.; KUDLICH, T.; WEILER, F.; MENZEL, T. Antiinflammatory and anticarcinogenic effects of dietary fibre. Clinical Nutrition Supplements, v.1, p.51-58, 2004.

SILVA, J.H.V. Relatório técnico do uso de subprodutos do urucum na ração de aves. Bananeiras: DAP/UFPB, 2003a. 5p.

SILVA, J.H.V. Produção científica em nutrição de aves. Contribuição da UFPB nos últimos cinco anos. Bananeiras: DAP/UFPB, 2003b. 31p.

SILVA, S.S.P.; SMITHARD, R.R. Effect of enzyme supplementation of a rye-based diet on xylanase activity in the small intestine of broilers, on intestinal crypt cell proliferation and on nutrient digestibility and growth performance of the birds. British Poultry Science, v.43, p.274-282, 2002.

SONI, S.K.; KAUR, A.; GUPTA, J.K. A solid state fermentation based bacterial α -amylase and fungal glucoamylase system and its suitability for the hydrolysis of wheat starch. Process Biochemistry, v.39, p.185-192, 2003.

STEENFELDT, S.; HAMMERSHØJ, M.; MÜLLERTZ, A.; JENSEN, J.F. Enzyme supplementation of wheat-based diets for broilers. 2. Effect on apparent metabolisable energy content and nutrient digestibility. Animal Feed Science and Technology, v.75, p.45-64, 1998.

STRYER, L. Bioquímica. Editora Guanabara Coogan S.A. Rio de Janeiro-RJ, 4ed, p.1000, 1996.

WANG, G.J.; MARQUARDT, R.R.; GUENTER, W.; ZHANG, Z.; HAN, Z. Effects of enzyme supplementation and irradiation of rice bran on the performance of growing Leghorn and broiler chickens. Animal Feed Science Technology, v.66, p.47-61, 1997.

WU, Y.B.; RAVINDRAN, V. Influence of whole wheat inclusion and xylanase supplementation on the performance, digestive tract measurements and carcass characteristics of broiler chickens. Animal Feed Science and Technology, v.116, p.129-139, 2004.

YIN, Y.-L.; MCEVOY, J.D.G.; SCHULZE, H. Apparent digestibility (ileal and overall) of nutrients and endogenous nitrogen losses in growing pigs fed wheat (var. Soissons) or its by-products without or with xylanase supplementation. Livestock Production Science, v.62, p.119-132, 2000.

Araújo, D.M. e Silva, J.H.V. Enzimas exógenas em dietas contendo farelo de trigo e outros alimentos alternativos para aves: revisão. PUBVET, Londrina, V. 2, N. 47, Art#453, Nov4, 2008.

YU, B.; LEE, T.T.T.; CHIOU, P.W.-S. Effects of sources of protein and enzyme supplementation on protein digestibility and chyme characteristics in broilers. British Poultry Science, ISSN 1466-1799(online)/02/030424-08: DOI: 10.1080/00071660120103701, 2002.

YU, B.; SUN, Y.; CHIOU, P.W. Effects of glucanase inclusion in a de-hulled barley diet on the growth performance and nutrient digestion of broiler chickens. Animal Feed Science and Technology, v.102, p.35-52, 2002.