

**VALOR NUTRICIONAL DE FARELOS DE
ARROZ SUPLEMENTADOS COM FITASE,
DETERMINADO POR DIFERENTES
METODOLOGIAS COM AVES**

DELMA MARIA TORRES

2003

DELMA MARIA TORRES

**VALOR NUTRICIONAL DE FARELOS DE ARROZ
SUPLEMENTADOS COM FITASE, DETERMINADO POR
DIFERENTES METODOLOGIAS COM AVES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências para obtenção do título de “Doutor” em Zootecnia, com concentração em Nutrição de Aves.

Orientador
Prof. Antônio Soares Teixeira, D.Sc.

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2003**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Torres, Delma Maria

Valor nutricional de farelos de arroz suplementados com fitase, determinado por diferentes metodologias com aves / Delma Maria Torres. -- Lavras : UFLA, 2003.

172 p. : il.

Orientador: Antonio Soares Teixeira.

Tese (Doutorado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Arroz. 2. Ave. 3. Digestibilidade. 4. Enzima. 5. Fitase. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-636.5085

DELMA MARIA TORRES

**VALOR NUTRICIONAL DE FARELOS DE ARROZ
SUPLEMENTADOS COM FITASE, DETERMINADO POR
DIFERENTES METODOLOGIAS COM AVES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências para obtenção do título de “Doutor” em Zootecnia, com concentração em Nutrição de Aves.

Aprovada em 04 de julho de 2003

Prof. Paulo Borges Rodrigues, D.Sc - DZO/UFLA

Prof. Rilke Tadeu Fonseca de Freitas, D.Sc - DZO/UFLA

Profª. Maria Cristina Bressan, D.Sc - DCA/UFLA

Prof. Otto Mack Junqueira, Ph.D - UNESP/Jaboticabal

**Prof. Antônio Soares Teixeira, D.Sc - UFLA
(Orientador)**

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL**

A DEUS, pela presença constante em minha vida.

Aos meus pais, João Paulo e Maria Jacintha, pelos princípios de honestidade,
humildade e coragem de vida.

À minha irmã, Licinha, pela amizade.

OFEREÇO

“Ao companheiro, Antonio Inácio,

Às minhas filhas, Ana Valéria e Maria Luísa,

pela família que somos.”

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, pela acolhida e oportunidade de realização do curso.

Ao professor Antônio Soares Teixeira, pela orientação, ensinamentos e amizade.

Ao professor Paulo Borges Rodrigues, pela co-orientação, ensinamentos, ajuda e empenho nas realizações dos experimentos.

Ao professor Rilke Tadeu Fonseca de Freitas, pela co-orientação, ensinamentos e total apoio na realização das análises estatísticas.

Aos professores Maria Cristina Bressan e Otto Mack Junqueira, pela atenção e participação na banca examinadora.

Aos professores do Departamento de Zootecnia, pelos ensinamentos e amizade.

Ao prof. Gabriel Vilas Boas, pelo empenho em efetivar a liberação para realização deste curso.

Ao Ministro Interino da Educação, Dr. Luciano Oliva, pela liberação e à Secretaria de Educação Média e Tecnológica (SEMTEC), em especial ao Prof. Manoel Mendes de Oliveira, pelo empenho e incentivo para a realização do curso.

À Roche Vitaminas do Brasil, em nome da Dra. Josefa Garzillo, pela doação das enzimas para a realização dos experimentos.

Ao meu esposo Antônio Inácio, por tudo e pela grande lição recebida neste período: manter a confiança por maiores que sejam as dificuldades.

Aos colegas da pós-graduação, Vladimir de Oliveira, Fabiana Cordeiro Rosa, Renata Apocalypse Nogueira Pereira, Valene da Silva Amarante Júnior, pela amizade e boa convivência, em especial Édison José Fassani, pela ajuda na elaboração da ração; Paulo Roberto Ost, pela entubação dos galos e Éder Clementino dos Santos, pelo abate das aves.

Aos colegas Victor Rodrigues, pela ajuda nas análises laboratoriais; Renato Giacometti e Asdrúbal Viana, pelo auxílio no abate das aves; Sidney Tavares, pela formatação do trabalho; Flávio Moreno, Clenderson Gonçalves, Yolanda Lopes, Adriano Kaneo, Lúcio Girão, Ednéia e Afrânio Baião, pelos bons momentos de convivência.

Aos funcionários do Laboratório de Nutrição Animal, José Geraldo Virgílio, Márcio dos Santos Nogueira e em especial Eliane Maria dos Santos e Suelba Ferreira de Souza, pela ajuda na realização das análises.

Aos secretários do Departamento de Zootecnia, Carlos Henrique de Souza, Pedro Adão Pereira e Keila Cristina Oliveira, pela atenção e amizade.

Aos funcionários da Biblioteca, pela presteza quando solicitados, em especial à amiga bibliotecária Vânia Natal de Oliveira, pela correção das referências bibliográficas.

Aos colegas Luís Moreira, Éder Cardozo, Joaquim Rufino e Cristina Ercília, funcionários da Escola Agrotécnica Federal de Crato, pela amizade.

À adolescente Cícera Alice da Silva que, na minha ausência, cuidava das minhas filhas; aos casais Andréa e Ramon Vasconcelos, Kece e Alcides Militão, Filomena e Giovanni Ferreira, Daniele e Valter Silva, pela amizade.

A todos que tive a oportunidade de conhecer e conviver e àqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho,

MUITO OBRIGADA !

BIOGRAFIA

DELMA MARIA TORRES, filha de João Gonçalves Torres e Maria Jacintha de Sá, nasceu em 15 de maio de 1960, na cidade de Floresta, estado de Pernambuco.

Graduou-se em Medicina Veterinária em outubro de 1984, pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, exercendo atividades profissionais na Secretaria de Agricultura deste mesmo estado entre 1986 e 1995.

Licenciou-se em Ciências Agrícolas pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, em outubro de 1992. Aprovada em concurso público em 1994, assumiu a função de Professora de Zootecnia na Escola Agrotécnica Federal de Crato.

Iniciou o curso de Mestrado na Universidade Federal de Lavras em agosto de 1997, concentrando seus estudos em Produção de Aves, concluindo em abril de 1999.

No ano de 1998 cursou Especialização em Suínos e Aves na mesma Universidade.

Em maio de 1999 ingressou no curso de Doutorado em Zootecnia, na Universidade Federal de Lavras, área de concentração Nutrição de Aves, concluindo em 04 de julho de 2003.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iv
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 Fatores que influenciam os valores de digestibilidade dos nutrientes	3
2.2 Ácido fítico	6
2.3 Fitase.....	12
2.3.1 Fitase na digestibilidade de nutrientes	19
2.4 Farelo de arroz na alimentação de frangos de corte.....	28
2.5 Milho na alimentação de frangos de corte	41
2.6 Farelo de soja na alimentação de frangos de corte.....	48
2.7 Energia metabolizável.....	52
3 MATERIAL E MÉTODOS	60
3.1 Localização, instalações e manejo	61
3.2 Dietas referências e dietas testes.....	62
3.3 Composição dos ingredientes e da dieta referência	64
3.4 Análises laboratoriais.....	67
3.5 Ensaios de digestibilidade.....	69
3.5.1 Ensaio 1 - Metodologia com frangos intactos - 5 dias.....	69
3.5.2 Ensaio 2 - Metodologia de coleta de digesta no íleo em frangos.....	71
3.5.3 Ensaio 3 - Metodologia com frangos intactos - 3 dias.....	73
3.5.4 Ensaio 4 - Metodologia de Sibbald, com galos cecectomizados para avaliar as rações	74
3.5.5 Ensaio 5 - Metodologia de Sibbald, com galos cecectomizados para avaliar os alimentos.....	76
3.6 Delineamento experimental e análise estatística.....	77
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
4.1 Coeficientes de digestibilidade da matéria seca.....	79
4.1.1 Rações	79
4.1.2 Alimentos.....	83
4.2 Coeficientes de digestibilidade da proteína bruta	86

4.2.1 Rações.....	86
4.2.2 Alimentos.....	91
4.3 Valores de proteína digestível.....	95
4.3.1 Rações.....	95
4.3.2 Alimentos.....	98
4.4 Coeficientes de digestibilidade do amido	102
4.4.1 Rações.....	102
4.4.2 Alimentos.....	106
4.5 Coeficientes de digestibilidade do extrato etéreo	109
4.5.1 Rações.....	109
4.5.2 Alimentos.....	114
4.6 Coeficientes de digestibilidade da fibra em detergente neutro	118
4.6.1 Rações.....	118
4.6.2 Alimentos.....	120
4.7 Coeficientes de digestibilidade da energia bruta	124
4.7.1 Rações.....	124
4.7.2 Alimentos.....	127
4.8 Valores médios de energia digestível ileal, metabolizável aparente corrigida e metabolizável verdadeira corrigida.....	131
4.8.1 Rações.....	131
4.8.2 Alimentos.....	136
4.9 Coeficientes de digestibilidade de nutrientes e valores de proteína digestível e de energia metabolizável verdadeira do milho e do farelo de soja.....	140
5 CONCLUSÕES.....	143
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	144
ANEXO.....	162

LISTA DE ABREVIATURAS

- BN - balanço de nitrogênio
CDAN - coeficiente de digestibilidade aparente de nutrientes
CDIN - coeficiente de digestibilidade ileal de nutrientes
CDPB - coeficiente de digestibilidade da proteína bruta
CDVN - coeficiente de digestibilidade verdadeira de nutrientes
[Cr] - concentração de cromo
CV - coeficiente de variação
FI - fator de indigestibilidade
EB - energia bruta
EDIleal - energia digestível ileal
EMA - energia metabolizável aparente
EMAn - energia metabolizável aparente corrigida
Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMVn - energia metabolizável verdadeira corrigida
FAD - farelo de arroz desengordurado
FAI - farelo de arroz integral
FTU - quantidade de enzima que hidrolisa 1 micromol de fitato de fósforo inorgânico por minuto, proveniente de 1,5mM de fitato de sódio em pH 5,5 à temperatura de 37°C.
g/kg - grama por quilograma
kcal - quilocaloria
kg - quilograma
MS - matéria seca
NRC - National Research Council
PBMS - proteína bruta na matéria seca
PDIleal - proteína digestível ileal
PDA - proteína digestível aparente
PDV - proteína digestível verdadeira
mM - micromol
UI - unidade internacional

RESUMO

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

A maioria das rações para aves é formulada à base de milho e farelo de soja, ingredientes de custo elevado. Mas, o uso de alimentos não convencionais poderá torná-las mais econômicas, desde que não afetem negativamente o desempenho desses animais. Cinco ensaios de metabolismo foram conduzidos no Setor de Avicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras. O objetivo foi avaliar a eficiência da enzima fitase sobre os valores de energia e a digestibilidade dos nutrientes matéria seca, proteína bruta, extrato etéreo, amido e fibra em detergente neutro, observados na digesta ileal, nas excretas de galos cecectomizados e frangos intactos, alimentados com rações à base de milho e farelos de soja, de arroz integral e desengordurado, utilizando diferentes metodologias. Os ensaios para avaliar as rações experimentais foram conduzidos em um delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial 3 x 2 para avaliar 3 tipos de dietas (à base de milho e farelos de soja, de arroz integral e desengordurado) com ou sem adição de fitase. Os valores de digestibilidade dos alimentos utilizados nas rações foram calculados usando-se a metodologia de substituição dos alimentos na ração referência, sendo analisados em arranjo fatorial 2 x 2 para avaliar 2 alimentos (farelo de arroz integral e desengordurado) com e sem adição de enzima. O ensaio no qual se utilizou a metodologia de Sibbald (direto) para avaliar os ingredientes puros serviu para comparações com os valores encontrados no ensaio de Sibbald (indireto), em que foi utilizada a metodologia de substituição dos alimentos proposta por Matterson et al. (1965). Foram utilizadas seis repetições e o número de aves por unidade experimental foi de acordo com o ensaio realizado. Nas análises dos dados das rações, os parâmetros que apresentaram, na análise de variância, valores de F significativo ($P < 0,05$), foi aplicado o teste de SNK para comparações das médias. Nas análises dos dados dos alimentos obtidos pela metodologia de substituição, foi aplicado o teste de F ($P < 0,05$) para comparações das médias. A utilização da enzima fitase nas rações formuladas com milho e farelo de soja, milho e farelo de soja contendo 30% de farelo de arroz integral, milho e farelo de soja contendo 30% de farelo de arroz

* Comitê de Orientação: Antônio Soares Teixeira - UFLA (Orientador), Paulo Borges Rodrigues - UFLA e Rilke Tadeu Fonseca de Freitas - UFLA.

desengordurado, com 0,30% de fósforo disponível, melhorou a digestibilidade dos nutrientes avaliados, em todas as metodologias utilizadas. Maiores valores de digestibilidade dos nutrientes foram observados nas rações formuladas à base de milho e farelo de soja. A energia digestível ileal do farelo de arroz integral e do desengordurado, obtida por meio dos cálculos de substituição do alimento na ração referência, foi de 2.587 kcal/kg e de 1.906 kcal/kg de matéria seca, respectivamente. A energia metabolizável aparente corrigida do farelo de arroz integral e do desengordurado, obtida por meio dos cálculos de substituição, foi de 2.536 kcal/kg e de 1.948 kcal/kg de matéria seca, respectivamente. A energia metabolizável verdadeira corrigida do farelo de arroz integral e do desengordurado, obtida com alimentação forçada utilizando galos cecectomizados, por meio dos cálculos de substituição, foi de 3.867 kcal/kg e 2.726 kcal/kg de matéria seca, respectivamente. Já as EMVn dos alimentos milho moído, farelo de soja, farelo de arroz integral e farelo de arroz desengordurado foram de 3.636 kcal/kg, 2.955 kcal/kg, 3.619 kcal/kg e 2.599 kcal/kg de matéria seca, respectivamente.

ABSTRACT

TORRES, Delma Maria. **Nutritional value of rice brans supplemented with phytase determined by different methodologies on birds**. 2003. 172p. Thesis (Doctorate in Animal Science) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.*

Most rations for birds is formulated on the basis of corn and soybean meal, feedstuffs of high cost. But, the use of non-conventional feeds will be able to make them more economical, since they do not affect negatively the performance of those animals. Five metabolism trials were conducted in the Poultry Production Sector of the Animal Science Department of the Universidade Federal de Lavras. The aim was to evaluate the efficiency of the enzyme phytase on the values of energy and the digestibility of nutrients dry matter, crude protein, ether extract, starch and neutral detergent fiber, observed in the ileal digesta, in the excretes of cecectomized roosters and intact chickens, fed with rations based on corn and soybean meal, the whole rice and defatted rice bran by utilizing different methodologies. The trials to evaluate the experimental rations were conducted in a completely randomized design in a 3 x 2 factorial arrangement to evaluate three types of diets (based on corn and soybean meal, of whole and defatted rice bran) with and without addition of phytase. The values of digestibility of the feeds utilized in the ration were calculated by using the replacement methodology of the feeds in the reference ration, their being analyzed in a 2 x 2 factorial arrangement to evaluate 2 feeds (whole and defatted rice bran) with and without addition of the enzyme. The trial where the Sibbald methodology (direct) was utilized to evaluate the pure feedstuffs served for comparisons with the values found in the Sibbald trial (indirect) in which the replacement methodology of the feeds proposed by Matterson et al (1965) was utilized. Six replicates were utilized and the number of birds per experimental unit was according to the trial accomplished. In the surveys of the data of the rations, the parameters which presented, in the analysis of variance, F values significant ($P < 0.05$), the SNK test for comparison of the means was applied. In the analyses of the data of the feeds obtained by the replacement methodology, the F test ($P < 0.05$) was applied for comparisons of the means. Use of the enzyme phytase in the rations formulated with corn and soybean meal, corn and soybean meal containing 30% of whole rice bran, corn and soybean meal containing 30% of defatted rice bran with 0.30% of available phosphorus, improved the digestibility of the nutrients evaluated, in all the

* Guidance Committee: Antônio Soares Teixeira - UFLA (Adviser), Paulo Borges Rodrigues - UFLA and Rilke Tadeu Fonseca de Freitas - UFLA.

methodologies utilized. Increased values of digestibility of nutrients were observed in the rations formulated on the basis of corn and soybean meal. The ileal digestible energy of whole and defatted rice bran, obtained by means of the substitution calculations of the feed in the reference ration, was of 2.587 kcal/kg and of 1.906 kcal/kg of dry matter, respectively. The corrected apparent metabolizable energy of whole and deffated rice bran, obtained by means of the substitution calculations, was of 2.536 kcal/kg and of 1.948 kcal/kg of dry matter, respectively. The corrected true metabolizable energy of the whole and deffated rice bran, obtained with forced feeding by utilizing cecectomized roosters, by means of substitution calculations, was of 3.867 kcal/kg and 2.726 kcal/kg of dry matter, respectively. Whereas, the corrected true metabolizable energies of the feeds ground corn, soybean meal, whole rice bran and defatted rice bran were of 3.636 kcal/kg, 2.955 kcal/kg, 3.619 kcal/kg and 2.599 kcal/kg of dry matter, respectively.

1 INTRODUÇÃO

A alimentação é o fator mais importante na produção de frangos de corte, sendo responsável por até 70% do custo final desta exploração. A maioria das rações produzidas para as aves é formulada à base de milho e farelo de soja. Estes ingredientes têm custo relativamente elevado na formulação, devido às oscilações de preço no mercado, em consequência da competição existente com a alimentação humana e pelo não acompanhamento do crescimento da produção desses grãos, havendo sempre uma maior procura. A manutenção, ou o aumento da produtividade na criação, exige dietas cada vez mais eficientes, com possível redução dos custos durante o seu processamento.

O uso de alimentos não convencionais poderá tornar as rações mais econômicas, desde que não afetem negativamente o desempenho das aves. Porém, é necessário conhecer as características dos alimentos, suas limitações químicas ou físicas, para que possam ser utilizados nas dietas. Subprodutos industriais podem ser aproveitados na alimentação animal, diminuindo, assim, a inclusão de milho e farelo de soja nas rações.

O farelo de arroz integral apresenta, na sua composição química, alto teor de óleo e, por isso, constitui uma boa fonte de energia para as aves, em substituição ao milho. Este óleo pode ser extraído por solventes ácidos para uso na alimentação humana. O resíduo desta extração é chamado farelo de arroz desengordurado que, no passado, possuía o inconveniente de ser um produto muito finamente pulverizado, mas, atualmente, se apresenta peletizado, com maior período de conservação. Tanto o farelo de arroz integral como o farelo de arroz desengordurado podem ser usados na alimentação animal. Porém, alguns fatores limitam o uso desses farelos, como a alta quantidade de ácido fítico e de polissacarídeos não amídicos. Estes dois fatores antinutricionais são os mais

importantes presentes no farelo de arroz, que afetam diretamente a digestibilidade dos nutrientes.

A molécula do fitato, em quantidade elevada no farelo de arroz, possui alto teor de fósforo e muita facilidade de quelação, formando sais insolúveis com outros minerais e interagindo com muitos nutrientes, como o amido, a proteína e os lipídeos. Dessa forma, influencia na digestibilidade dos nutrientes, diminuindo também a energia metabolizável das rações, uma vez que esta é o produto da transformação dos nutrientes durante o metabolismo normal no organismo da ave.

Trabalhos têm mostrado que a suplementação com a enzima fitase melhora o aproveitamento do fósforo fítico e dos demais nutrientes complexados, liberando-os e tornando-os mais solúveis e disponíveis. Dessa maneira, os custos das rações poderão ser reduzidos e também haverá diminuição dos nutrientes excretados, contribuindo, assim, com uma menor contaminação ambiental, devido às baixas excreções de nitrogênio e fósforo.

A literatura descreve diversos fatores que influenciam os valores de digestibilidade dos nutrientes, destacando, entre eles, as diferentes metodologias utilizadas, pois cada método de coleta empregado apresenta suas vantagens e desvantagens, uma vez que nenhum é apontado como o melhor para todas as investigações.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da enzima fitase sobre os valores de energia e a digestibilidade de nutrientes dos farelos de arroz integral e desengordurado, e de rações à base de milho e farelo de soja contendo farelos de arroz, em frangos e galos, utilizando diferentes metodologias.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fatores que influenciam os valores de digestibilidade dos nutrientes

Os nutrientes dos alimentos, determinados por meio da análise química, não são totalmente disponíveis para os animais. O desempenho destes animais é dependente da disponibilidade dos nutrientes e da intensidade com que eles podem ser absorvidos e utilizados. Um nutriente é disponível se puder ser usado para as funções metabólicas do organismo ao chegar no tecido vivo do animal. O seu perfeito aproveitamento depende de diversos fatores, inclusive de seus valores de digestibilidade.

Segundo Domene (1996), o valor nutritivo de um alimento não pode ser estimado exclusivamente pela sua composição em nutrientes, uma vez que este é o resultado da combinação de vários fatores, como o equilíbrio entre os seus constituintes, somados às interações entre os mesmos, além das conseqüências deixadas pelo processamento e armazenagem.

Alguns alimentos apresentam maior ou menor disponibilidade de nutrientes, podendo haver variação considerável na digestibilidade entre diferentes amostras do mesmo alimento. A disponibilidade deveria ser uma característica do alimento no qual ele está contido, independente do animal que irá consumi-lo. Porém, há algumas interações animal/alimento que não podem ser ignoradas, pois influem na disponibilidade dos nutrientes (Albino, 1991).

Dentre as causas de variações na disponibilidade de nutrientes entre os animais estão a atividade microbiana no lúmen do intestino, a ação das enzimas endógenas dos animais, a influência da temperatura ambiente, a taxa de passagem do alimento pelo trato digestivo, a espécie, a raça, a linhagem, a idade, o peso, o consumo de ração e de água e a saúde dos animais.

Sobre a influência da temperatura ambiente nos ensaios de digestibilidade com galos, Zuprizal et al. (1993) relataram que o aumento da temperatura de 21°C para 32°C provoca decréscimo de 5% nos valores de digestibilidade verdadeira de nutrientes do farelo de soja.

Segundo Mateos & Sell (1981), a velocidade de passagem do alimento no trato gastrointestinal pode influenciar a utilização da dieta pelas seguintes razões: a) alterar a capacidade de digestão do alimento, b) afetar a população microbiana do intestino e c) determinar o tempo que os nutrientes são expostos à ação das enzimas digestivas e à superfície absorptiva do intestino.

Por outro lado, a concentração de nutrientes nos alimentos varia profundamente em razão de vários fatores, como, por exemplo, o ambiente em que os ingredientes foram produzidos. Em grãos, ocorrem variações entre espécie (Davis, 1980) e, às vezes, dentro de espécie (Rostagno et al., 1973; Rhodes & Jenkins, 1975). O estado fisiológico da planta, o solo, a estação do ano, além de outros fatores, também contribuem para essas variações (Baker & Speer, 1983).

Segundo Macari et al. (1994), as estruturas químicas das proteínas são outro fator importante na digestibilidade, pois, quanto maior forem as forças que mantêm a estrutura tridimensional, mais difícil será a ação das enzimas proteolíticas, havendo, conseqüentemente, uma menor digestibilidade. Estes mesmos autores afirmam que, segundo Gardner (1978), as proteínas de origem vegetal são menos digestíveis do que as de origem animal e citam ainda que, de acordo com Anderson et al. (1981), a presença e o tipo de carboidrato na ração, se de reserva (amido) ou constituinte da parede celular (fibra), também afetam a digestibilidade das mesmas.

Outros fatores que afetam a digestibilidade dos nutrientes são: condições, qualidade, tipo e grau de processamento utilizados na fabricação dos

farelos; armazenagem; interação com outros ingredientes, como a oxidação da gordura dos alimentos que pode reduzir compostos carbonil como aldeídos e cetonas; fatores antinutricionais; variações de amostragens; níveis nutricionais das dietas, níveis de inclusão dos alimentos e ainda o método de avaliação de digestibilidade utilizado.

O teor de fibra do alimento, segundo Parsons (1985), pode reduzir a disponibilidade de nutrientes e aumentar as perdas endógenas. A fibra provoca lesões nas células da mucosa do intestino e aumenta a produção de muco. A disponibilidade desses nutrientes é reduzida em razão da formação de uma camada gelatinosa em volta do nutriente, durante a seu trânsito no trato gastrointestinal. A fibra pode reduzir a digestibilidade por meio do seu envolvimento ao redor dos nutrientes ou pela restrição da atividade de enzimas digestivas, diminuindo sua atuação.

Misir & Sauer (1982) afirmaram que a digestibilidade aparente pode ser superestimada quando o amido é altamente digestível e subestimada quando o amido é menos digestível. Afirmam ainda que a fonte de carboidratos incluída na dieta é um dos fatores que influenciam a digestibilidade aparente, uma vez que a utilização de fibra na dieta levará a uma maior energia disponível para os microrganismos no intestino grosso.

O uso de indicadores, como, por exemplo, o óxido crômico, que estabelece relações entre a quantidade de matéria seca consumida e excretada, usado para a determinação da digestibilidade de nutrientes calculada com base na concentração de cromo na ração e nas fezes, é um método criticado e pode levar a resultados de valores de digestibilidade muito variados.

Na realidade, a digestibilidade do nutriente depende da formação de um complexo entre enzimas digestivas e substratos, com posterior liberação do produto. Finalmente, os produtos da digestão devem passar separados, do lúmen

intestinal até o enterócito, para serem absorvidos. Portanto, o livre movimento das enzimas, substratos e produtos, por difusão, no intestino, é essencial para uma rápida digestão dos nutrientes.

2.2 Ácido fítico

Atualmente, a alimentação de aves consiste de dois ou três ingredientes que compõem mais de 90% da ração completa. A fonte de energia mais usada é o milho e a de proteína é o farelo de soja, podendo ser usados também subprodutos da indústria. Cada um desses ingredientes possui quantidades variadas de fatores antinutricionais. Sua concentração na ração é mínima se o alimento incluído ocorrer em pequenas quantidades. Porém, são consideradas altas porque um desses ingredientes usados na ração pode alcançar facilmente uma taxa de inclusão superior a 60% (Cousins, 1999).

Isto acontece porque a formulação de ração moderna é voltada para fornecer alimento com uma alta densidade de nutrientes para se alcançar elevado desempenho do animal e obter custo mínimo. Formulação de ração a custo mínimo não leva em conta a concentração de fatores antinutricionais na dieta, devido principalmente à natureza econômica atrativa de grãos de amido e dos farelos protéicos como também à variação natural no conteúdo de fatores antinutricionais nas matérias-primas (Cousins, 1999).

As propriedades dos fatores antinutricionais dependem do antinutriente em questão e da sua concentração na formulação final da ração. Por definição, fatores antinutricionais são aqueles gerados em alimentos *in natura* pelo metabolismo normal da espécie da qual o material se origina ou por mecanismos diferentes (decomposição ou inativação de nutrientes, diminuição da utilização digestiva ou metabólica do alimento) e exercem efeitos contrários à nutrição adequada (Cousins, 1999).

Os fatores antinutricionais normalmente não são tóxicos para os animais, mas sua presença no alimento resulta em baixo desempenho, alterações hormonais e esporádicas lesões nos órgãos dos animais. O modo de ação e as propriedades físico-químicas da maioria dos fatores antinutricionais são conhecidos. Baseado nestas informações, qualquer atitude para reduzir a quantidade de fatores antinutricionais contribui para melhorar a desempenho do animal (Cousins, 1999).

Estes fatores antinutricionais provocam formação de gel, tornando o trânsito da digesta mais lento, diminuindo o consumo de ração e permitindo a multiplicação exagerada de bactérias intestinais que podem alcançar áreas superiores do intestino delgado. Estas bactérias produzem ácidos que degradam enzimas responsáveis pela digestão dos lipídeos, levando à diminuição de absorção de outros nutrientes como pigmentos e vitaminas lipossolúveis. Além disso, a microflora utilizará outros nutrientes, como o amido e as proteínas da digesta, competindo assim com o animal.

Entretanto, é bem conhecido que quantidades consideráveis de alguns nutrientes na ração não são utilizadas e não são absorvidas pelas aves. Entre outros fatores, a disponibilidade de nutrientes pode ser influenciada pela formação de complexos naturais tidos como antinutricionais. Este é, particularmente, o caso de cereais e sementes de oleaginosas que contêm ácido fítico (Cousins, 1999).

Os vegetais, durante o seu desenvolvimento, retiram nutrientes minerais do solo e na fase de maturação do grão há translocação destes elementos para as sementes, sendo o fósforo armazenado na forma de hexafosfato de inositol ou ácido fítico. Assim, a maior parte do fósforo nas rações compostas de grãos de cereais encontra-se na forma de fósforo fítico. Os sais de ácido fítico representam aproximadamente dois terços do fósforo total presente nas plantas

(Mcknight, 1996). Entretanto, Cheryan (1980) afirma que estes sais constituem de 1% a 2% do peso de muitos cereais e leguminosas.

O ácido fítico ou hexafosfato de mio-inositol é encontrado apenas nos vegetais e sua presença no trato digestivo dos animais interfere na absorção de nutrientes. O inositol ocorre em altas concentrações nas sementes. É um hexitol que entra na constituição de fosfolipídeos, sendo um nutriente que existe em vegetais e animais. É sintetizado no fígado dos animais e contribui para a formação dos fibroblastos. Para alguns seres vivos, que não são capazes de sintetizá-lo, o inositol constitui-se em uma vitamina. Existem nove isômeros possíveis de inositol, dos quais um é o mio-inositol, que é o mais importante na natureza, por ser o único que possui atividade biológica. O hexafosfato de inositol, dependendo do complexo formado, pode gerar uma grande variedade de compostos. Os sais de ácido fítico são também denominados fitinas e o fitato representa do mono ao dodeca-ânion do ácido fítico. O fitato é a união do ácido fítico com íons de cálcio, zinco, proteínas, etc. Entretanto, o ácido fítico e o fitato são usualmente denominados fitatos (Maga, 1982).

A quantidade de ácido fítico é variável entre as espécies vegetais e dentro da mesma espécie, pois depende da quantidade de fósforo que o solo possui e que a planta absorve e armazena, complexando-o com inositol (Asada & Kasai, 1962). Por exemplo, o milho possui 65,6% a 67%, o farelo de soja, 58% a 60,6% e o farelo de arroz, 81,2% a 86% (Borges, 1997) do fósforo total contido no alimento. Por outro lado, Torin (1991) encontrou valores de 6,25% de fitato no farelo de arroz, em relação ao peso total do alimento, enquanto Nelson et al. (1968) encontraram percentuais entre 5,1% e 8,6%.

No arroz, Asada & Kasai (1962) observaram, no estágio inicial do amadurecimento do grão, maior porção de mio-inositol no estado livre. Mas, no

final do amadurecimento, ele apresenta-se na forma de éster-fosfato, representando 80% do total do fósforo na planta.

A disponibilidade do fósforo presente nos vegetais para serem aproveitados pelas aves depende da quantidade de ácido fítico que o constitui. Segundo Rostagno (1998), a quantidade de fósforo fítico varia entre 45% e 86% do total do fósforo presente no alimento.

Apesar de poucos estudos sobre o ácido fítico, evidências com outros fatores antinutricionais indicam que estes componentes aumentam significativamente o trânsito intestinal dos nutrientes nos animais monogástricos (Tejedor, 2000).

Animais monogástricos não possuem a enzima fitase que hidroliza os ortofosfatos da molécula de ácido fítico até inositol para serem totalmente absorvidos. Vários pesquisadores (Nelson et al., 1968; Kiiskinen et al., 1994) afirmam que a capacidade do frango para aproveitamento do fósforo fítico é limitada e que a produção de fitase endógena é insignificante. Assim, considera-se que o fósforo ligado à molécula do ácido fítico é indisponível para as aves, embora haja afirmações de que aves adultas produzam pequena quantidade de fitase, contribuindo para que uma pequena porção de ácido fítico seja hidrolisada. Segundo Nelson (1967), a capacidade do frango de hidrolisar o ácido fítico e, conseqüentemente, utilizar o fósforo fítico, aumenta com a idade, sendo muito pequena em aves jovens.

Keshavarz (1999) afirma que a molécula de ácido fítico possui alto teor de fósforo (28,2%) e facilidade de quelação, formando sais insolúveis com minerais, que influencia assim a digestão de nutrientes e diminui a energia metabolizável da ração. Segundo Scott et al. (1982), muitos quelatos são formados por acidente, não tendo nenhum propósito biológico proveitoso. Além dos minerais, o ácido fítico interage com as proteínas, os lipídeos (Cosgrove,

1966) e o amido. A formação de complexos protéicos reduz a disponibilidade das proteínas e complexos minerais apresentam-se insolúveis, afetando a absorção desses nutrientes. Isso se agrava quando dois cátions estão presentes, podendo ocorrer ligação sinérgica (Maga, 1982).

Estudos feitos em misturas contendo proteínas, sais e outros componentes, com a adição de ácido fítico, são de difícil interpretação devido à habilidade do ácido fítico em interagir fortemente com íons carregados positivamente e outros grupos funcionais positivos (Cheryan, 1980). Ainda de acordo com este autor, a solubilidade do ácido fítico é muito diferente na presença ou ausência de proteína. Quando na presença, sua solubilidade tem um comportamento paralelo ao da proteína, sugerindo uma forte interação entre eles. Porém, a redução na solubilidade das proteínas, pela formação dos complexos, pode afetar negativamente algumas de suas propriedades funcionais, uma vez que são dependentes de solubilidade e hidratação (Reddy et al.1982).

No trato gastrointestinal, o ácido fítico é conhecido por inibir a ação de várias enzimas endógenas, como a pepsina, a amilase e a tripsina. Estes efeitos são devidos, provavelmente, à natureza inespecífica dos complexos ácido fítico-proteína ou a uma inibição atribuída ao efeito quelante dos íons de cálcio necessários para a atividade destas enzimas endógenas (Cousins, 1999). Complexos ácido fítico-mineral-proteína são de difícil digestão, reduzindo a utilização das proteínas. Esses complexos ocorrem naturalmente em ingredientes de rações e podem ser formados na porção inicial do trato gastrointestinal.

O ácido fítico é um ânion reativo que pode formar sais com minerais (Ca, Zn, Mg, Mn, Cu, Co e Fe) e complexos com proteínas, aminoácidos e enzimas endógenas, uma vez que todas as enzimas são proteínas. A interação entre ácido fítico e proteínas aparentemente se dá por uma ligação iônica, na qual depende das condições de pH (Figura 1), sendo este um fator importante na

determinação da solubilidade final entre ácido fítico e proteína. Com baixo pH, o ácido fítico forma ligações eletrostáticas com resíduos básicos, como arginina, lisina e histidina, resultando em um complexo insolúvel. Quando o pH se aproxima do ponto isoelétrico, a carga da proteína é neutra e ela não irá se ligar ao ácido fítico. Sob condições básicas, o ácido fítico forma complexo com proteína na presença de cátions divalentes. Estes cátions agem como ponte entre o grupo carboxila carregado negativamente e o ácido fítico (Cousins, 1999).

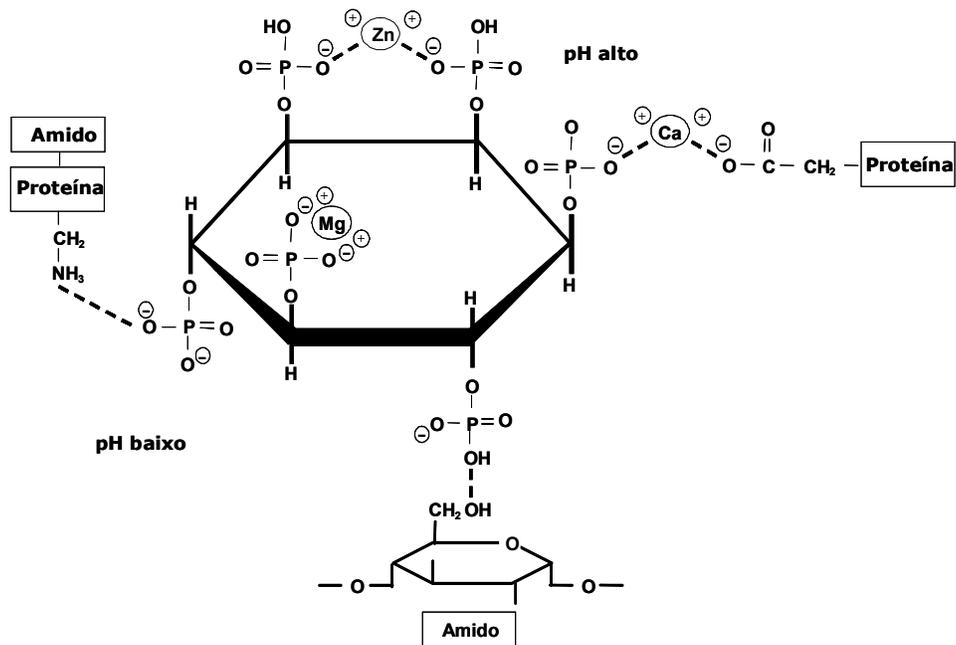


FIGURA 1. Ilustração de uma molécula de ácido fítico interagindo com minerais, proteínas e amido, conforme as condições de pH no trato gastrointestinal da ave.

Estudos *in vitro* demonstraram que estes complexos são insolúveis e menos acessíveis às enzimas proteolíticas do que quando a proteína se apresenta sozinha (Cousins, 1999). Quando a fitase microbiana hidrolisa o complexo, a ligação éster libera o fósforo do ácido fítico, das proteínas e dos aminoácidos, tornando-os disponíveis para absorção.

Até hoje, o ácido fítico não tinha muita relevância na formulação de rações para aves. Entretanto, a presença desses complexos pode ter uma influência negativa na digestibilidade e absorção de proteínas. A importância deste efeito depende da propriedade e configuração do complexo, que pode variar com a fonte desse nutriente. Vários estudos demonstraram que proteínas da soja, milho, trigo, semente de colza, farelo de girassol e de arroz formam complexos com ácido fítico (Ravindran et al., 1999).

Resultados de experimentos recentes demonstraram a formação desses complexos e uma forte interação entre aminoácidos livres e ácido fítico. Em um experimento *in vitro*, Jongbloed et al. (1997) indicaram que estes complexos são formados no trato intestinal de suínos após a alimentação, em pH entre dois e três (Cousins, 1999).

2.3 Fitase

O emprego de enzimas nos dias atuais, como microingredientes para animais monogástricos, tem sido considerado uma alternativa para a redução nos custos das rações e para aumentar a eficiência da produção, devido à sua comprovada eficácia em dietas à base de cevada, estimulando assim o seu uso em rações contendo outros ingredientes. Em aves, a utilização de enzimas adequadas visa reduzir a quantidade do uso de milho como o componente mais importante das rações.

As enzimas são utilizadas em rações desde a década de 1940. Entretanto, esses microingredientes apresentam limitações, tais como: elevado custo, disponibilidade limitada, estabilidade operacional e a necessidade do uso de coenzimas, que são freqüentemente derivadas de vitaminas. Com relação aos custos de produção das enzimas, atualmente as técnicas de biologia molecular têm tornado o seu uso economicamente viável.

A suplementação com enzimas exógenas nas dietas melhoram a eficiência da produção pelo aumento da digestão de produtos de baixa qualidade. Os cereais, de forma geral, apresentam estrutura complexa, composta de um grande número de células rodeadas por paredes celulares que apreendem amido, proteína e gorduras (constituintes nutricionais importantes). Assim, a ação enzimática diminui as perdas de nutrientes nas fezes e possibilita uma maior digestibilidade de nutrientes da dieta, traduzindo-se em vantagens econômicas.

As enzimas utilizadas em rações para monogástricos são biocatalizadores (moléculas protéicas que aumentam a velocidade das reações químicas da digestão), produzidos por células vivas para atuarem em reações bioquímicas específicas do processo metabólico das células. São altamente específicas em suas reações catalíticas sobre os substratos e, muitas vezes, diferentes enzimas são requeridas para agir, reparar ações, em seqüências de reações metabólicas realizadas por células vivas. A maioria das reações catalisadas por enzimas é altamente eficiente, ocorrendo 10³ a 10⁸ vezes mais rápido que as reações não catalisadas. Normalmente, cada molécula de enzima é capaz de transformar entre 100 a 1.000 moléculas de substrato em produto a cada segundo. Como essas enzimas atuam em substratos específicos, apresentam grande seletividade, como, por exemplo, a fitase, que só atua sobre o fitato.

As moléculas de enzimas contêm uma fenda especial denominada sítio ativo. Este sítio contém cadeias laterais de aminoácidos que criam uma

superfície tridimensional complementar ao substrato. O sítio ativo liga-se ao substrato, formando um complexo enzima-substrato que é convertido a enzima-produto, o qual, subseqüentemente, dissocia-se em enzima e produto. Algumas enzimas se associam a um cofator não-protéico, necessário para a atividade enzimática. Os cofatores comumente encontrados incluem íons metálicos (por exemplo, Zn^{+2} , Fe^{+2}) e moléculas orgânicas, conhecidas como coenzimas, que são freqüentemente derivadas de vitaminas (por exemplo, NAD^+ , FAD e coenzima A). Uma holoenzima refere-se à enzima com seu cofator e um grupo prostético é uma coenzima fortemente ligada que não se dissocia da enzima.

As enzimas são proteínas *in natura* purificadas e como proteínas são facilmente biodegradadas, não existindo restrição ao seu uso como microingrediente nas dietas. As enzimas digestivas, como a maioria delas, são substrato dependentes, ou seja, a secreção enzimática é ativada pela presença do substrato, por isto as aves têm deficiência de enzimas nas primeiras semanas de idade. Este fenômeno ocorre em todos os animais. Mas, existem enzimas que não são secretadas, mesmo na presença de substrato, como, por exemplo, a fitase. Elas não são secretadas porque o código genético dos monogástricos não dispõe da indicação para a sua síntese (Penz Jr., 1998).

Baldwin (1970) afirma que a lógica para um organismo ter em seu código genético a possibilidade da produção de uma determinada substância está relacionada com sua real necessidade de produzi-la, seja porque o meio não a proporciona ou porque o substrato não está disponível para ser utilizado. No caso de algumas enzimas, esta hipótese pode ser questionada, pois o ácido fítico está disponível em vários vegetais ingeridos pelos monogástricos, mas estes não têm condições de produzir a enzima que a digere.

Além dos tratamentos da matéria-prima, durante o processamento para reduzir fatores antinutricionais, as enzimas também atuam na eliminação de

efeitos negativos desses fatores. A suplementação de enzimas exógenas na ração pode simplesmente ajudar o sistema enzimático endógeno (amilase, lipase) ou fornecer enzimas que não estão presentes no sistema digestivo do animal (fitase e xilanase) (Cousins, 1999).

A fitase é uma enzima que hidrolisa o fitato, liberando fósforo, inositol e outros nutrientes essenciais para serem convertidos à forma de absorção. A atividade da fitase é expressa em unidade fitase (U) ou FTU, que é a quantidade de enzima que hidrolisa 1 micromol de fitato de fósforo inorgânico por minuto, proveniente de 1,5mM de fitato de sódio em pH 5,5 à temperatura de 37°C.

Em avicultura, enzimas exógenas são estudadas devido à ausência de algumas enzimas endógenas capazes de atuar na digestão de certos componentes dos alimentos vegetais (Cantor, 1995). Elas são produzidas em escala comercial por meio de culturas aeróbias, derivadas da fermentação de microrganismos, principalmente as culturas fúngicas, bacterianas e leveduras (Broz et al., 1994). Este processo envolve fermentação, extração, separação e purificação do produto.

A estrutura molecular das enzimas é bastante frágil e pode ser desnaturada pelo calor, ácidos, vitaminas, minerais, metais pesados e por agentes oxidantes, a maioria encontrada nos premixes. Por essa razão, existe a preocupação de que as enzimas utilizadas na alimentação animal possam manter nível de atividade suficiente para se obter respostas significativas (Classen & Bedford, 1991).

Um fator que contribui para a atividade das enzimas inclui os íons metálicos. Algumas enzimas são classificadas como metal-enzimas e exigem íons metais para sua atividade e estabilidade. Sabe-se que as proteases neutras exigem o zinco, enquanto as amilases bacterianas o cálcio. Outros íons metálicos podem ter propriedades inibidoras significativas para muitas enzimas.

O chumbo e íons de cobre são altamente inibidores para α -amilase fúngica enquanto o zinco, o níquel e os íons ferrosos afetam apenas levemente a sua atividade.

As enzimas oferecidas aos animais na ração são chamadas de exógenas e aquelas sintetizadas pelos animais são chamadas endógenas. Wenk (1993), citado por Penz Jr. (1998), comenta que a suplementação de enzimas exógenas pode aumentar a eficiência de ação das enzimas endógenas, reduzindo a quantidade de resíduos nutricionais que chegam ao intestino grosso e diminuindo a possibilidade de ação dos microrganismos naquela área do aparelho digestivo.

As enzimas exógenas atuam da mesma forma que as endógenas, apresentando sítio ativo com capacidade de atuar sobre um substrato específico, hidrolizando-o. Esta ação catalítica é específica e é determinada pelas estruturas primária, secundária, terciária e quaternária das enzimas. Qualquer alteração na estabilidade das enzimas afeta a estrutura destas proteínas e pode provocar a perda de sua capacidade catalítica (Penz Jr., 1998).

Em geral, o nível de atividade enzimática é mantido durante três meses em produtos líquidos e por seis meses na forma em pó, quando estocados em temperatura inferior a 25°C. Quando a enzima se encontra misturada à dieta, sua atividade pode ser mantida por, no mínimo, três meses a 25°C (Cowan, 1993). Além disso, durante o seu processamento, realiza-se uma prévia seleção de cepas produtoras de enzimas mais resistentes às condições adversas do trato digestivo das aves (Classen & Bedford, 1991) ou são incorporados genes responsáveis pela produção de fitase resistentes às condições de temperaturas mais elevadas, provenientes de alguns microrganismos, como fungos ou bactérias, para serem produzidos industrialmente.

A fitase é encontrada em grande quantidade na natureza (sementes de plantas, fungos, bactérias, leveduras e microrganismos do rúmen) e quando incubada com fitato de sódio (substrato sintético) hidrolisa o fósforo do ácido fítico dos grãos de cereais liberando o fósforo orgânico.

A degradação do fitato no trato digestivo de aves ocorre pela ação de fitases com três possibilidades de origem: 1) fitase intestinal, sintetizada nas microvilosidades; 2) atividade da fitase, originada de uma bactéria residente ou 3) atividade da fitase endógena, presente nos ingredientes. A possibilidade da presença de atividade da fitase na secreção intestinal e bactérias intestinais (Warden & Shaible, 1962) é limitada e com controvérsias. Então, conclui-se que a existência de atividade em aves torna-se desprezível.

A presença da atividade da fitase em alimentos como trigo e arroz é elevada. Entretanto, milho e farelo de soja contêm pouca ou nenhuma atividade (Selle, 1997). Segundo Ballam et al. (1984), há diferenças entre os alimentos na estabilidade do ácido fítico, sendo o presente no farelo de arroz mais resistente à hidrólise do que aquele encontrado no farelo de trigo.

Entretanto, Tejedor (2000) afirma que algumas das diferenças observadas na habilidade das aves em utilizar o fósforo fítico podem ser atribuídas à presença de fitase nos alimentos utilizados na dieta experimental e não à produção de fitase pelas aves. E o maior ou menor efeito da adição da enzima fitase microbiana na dieta pode estar diretamente relacionado com a presença de fitase nos grãos utilizados para o seu processamento.

A eficácia das fitases microbianas é variável e está relacionada a diversos fatores, entre eles a temperatura, umidade, pH, enzimas endógenas, concentração de cálcio, vitamina D e a relação cálcio:fósforo da dieta. Edwards (1993) observou que existe efeito sinérgico entre as dose de vitamina D₃ e a atividade da fitase. Van Der Klis et al. (1991), citados por Cousin (1999),

observaram influência negativa das concentrações altas de cálcio sobre a eficiência da fitase. Ácidos orgânicos na ração, idade, estado fisiológico do animal e o tratamento da ração, antes de fornecê-la, podem influenciar os efeitos da fitase (Fitase..., 1999).

As fitases mantêm estabilidade entre pH 3 e 9 e temperaturas menores que 90°C. Variações extremas de pH e temperaturas elevadas resultam em redução de sua atividade ou destruição da enzima.

Temperaturas baixas (cerca de 0°C ou menores) diminuem a atividade mas não destroem as enzimas que podem ser conservadas. A temperatura da peletização é um dos fatores que podem interferir na ação de enzimas exógenas. A peletização é um tratamento térmico muito utilizado e se a temperatura de processamento das rações for elevada (superiores a 75°C), ocorre desnaturação parcial ou total das enzimas, podendo prejudicar o desempenho das aves (Graham & Inborr, 1993a).

A digestão é um conjunto de reações químicas nas quais diferentes enzimas se unem a moléculas de alimentos de alto peso molecular (substratos) para formar um complexo enzimático. As enzimas aceleram a ruptura dessas moléculas grandes em moléculas pequenas que serão absorvidas através da membrana intestinal para serem utilizadas pelo animal para desempenhar funções no metabolismo.

Enzima ideal suporta temperaturas entre 70° e 90°C, normalmente alcançadas na peletização e também as variações de pH animal. As condições de temperatura são constantes no trato gastrointestinal, mas as variações de pH ocorrem dependendo dos compartimentos. Nas aves, os baixos pH do proventrículo e da moela (2,5 a 5,5) podem levar à inativação enzimática, mas o trânsito nestes compartimentos é rápido e não chega a provocar desnaturação enzimática (Chesson, 1987). Entretanto, no intestino, o pH varia entre 5 e 7.

Além do pH, as enzimas exógenas são expostas às proteases do proventrículo e intestino delgado. As enzimas fúngicas possuem uma atividade ótima em pH mais baixo (4,0 a 5,5), enquanto as bacterianas atuam em pH próximo da neutralidade.

A atividade da fitase exógena deve ser mantida no trato gastrointestinal da ave mesmo após o contato com as enzimas proteolíticas endógenas das mesmas (Cantor, 1995) e, apesar dos baixos valores de pH encontrados no proventrículo e na moela (2,5 a 5,5), não ocorre desnaturação enzimática das enzimas fúngicas (Chesson, 1987). A ação máxima desta enzima ocorre no papo e proventrículo (Liebert et al., 1993) das aves, entretanto, segundo Jongbloed et al. (1992), ocorre no estômago e na porção inicial do intestino delgado dos suínos.

As enzimas digestivas exógenas atuam basicamente degradando nutrientes e a suplementação com a enzima fitase melhora o aproveitamento do fósforo fítico e outros nutrientes nos vegetais pela hidrólise do fitato, liberando amido, proteínas e lipídeos complexados com fitato, tornando-os mais solúveis e mais disponíveis, ocorrendo menor contaminação ambiental, devido às baixas excreções de fósforo e nitrogênio.

2.3.1 Fitase na digestibilidade de nutrientes

As fitases exógenas, produzidas em escala comercial, são derivadas da fermentação de culturas de microrganismos, principalmente os fúngicos do gênero *Aspergillus* (*niger*, *ficuum* e *orizae*).

A fitase do *Aspergillus niger* é uma glicoproteína altamente ativa. É resistente ao calor e, em faixa de temperatura e pH ampla, tem atividade ótima entre 60° e 70°C. Ocorre inativação irreversível em temperaturas a 80°C ou mais.

Atividade mais alta ocorre em pH 5,0 e nenhuma atividade é observada em pH 7,0 ou mais. Na década de 1970, Nelson et al. mostraram que a fitase microbiana produzida por estes microrganismos melhorava a disponibilidade de fósforo no milho e farelo de soja para frangos.

A fitase (fosforohidrolase de hexafosfato de mio-inositol) catalisa a desfosforilação do ácido fítico por remoção gradual dos orto-fosfatos. A fitase tem afinidade mais alta por ácido fítico do que por outros substratos fosforilados, mas mostra especificidade ampla para outros monoésteres fosforilados e assim, em geral, aceita-se que a fitase pode hidrolizar completamente o ácido fítico ao estágio de monofosfato (Khan, 1996).

Na fase inicial da criação, dietas para frangos à base de milho e farelo de soja formuladas para atender às recomendações do NRC (1994), contêm 0,45% de fósforo não fítico e 0,23% de fósforo fítico. Assim, a capacidade das aves em utilizar este mineral dos alimentos de origem vegetal é escassa, uma vez que 75% do mesmo se encontram na forma de ácido fítico indisponível. As aves apresentam deficiência ou ausência de fitase, enzima endógena, responsável pela quebra da molécula e subsequente liberação deste nutriente para absorção. Acredita-se que a maior parte excretada do fósforo seja do ácido fítico. A suplementação com fitase melhora o aproveitamento do fósforo fítico e outros nutrientes nos vegetais pela hidrólise do fitato liberando amido, proteínas e lipídeos complexados com o fitato, tornando-os mais solúveis e mais disponíveis.

Segundo Khan (1996), mais de 50% do total de fósforo de dietas para monogástricos estão na forma de fitatos e o fósforo ligado ao fitato é indisponível para monogástricos, uma vez que eles não possuem enzima fitase necessária para hidrólise do fitato. Frequentemente, o fósforo não fitato é denominado disponível e representa a quantidade deste nutriente que o animal pode digerir. A suplementação com fosfatos inorgânicos, tais como fosfato

bicálcico e monocalcico, é geralmente praticada para atender a exigências alimentares. Enquanto estes suplementos de fosfato são absorvidos em graus variados, a maior parte do fósforo orgânico (ácido fítico) passa, sem ser digerido, pelo trato gastrointestinal do animal, sendo excretado nas fezes.

Estudos *in vitro* indicaram efeitos positivos da suplementação de fitase na disponibilidade de aminoácidos. Também ficou demonstrado que o complexo proteína e ácido fítico pode ser hidrolisado e, conseqüentemente, os efeitos inibidores do ácido fítico sobre a atividade das enzimas digestivas endógenas são reduzidos (Rodehutsord, 1998). Neste ensaio, ainda ficou demonstrado que aproximadamente 20% de lisina livre foram ligados ao fitato após incubação com farelo de arroz rico em fitato. Cerca de 50% desse volume foram liberados após adição de fitase. Comprovou-se, ainda, que a suplementação de fitase melhora a digestibilidade da proteína no íleo de vários ingredientes de rações. Uma melhora na digestibilidade foi observada em perus alimentados com dietas à base de milho e farelo de soja com 22,5% de proteína bruta, o mesmo não ocorrendo nas dietas contendo 28,0% de proteína (Fitase..., 1999).

Tejedor (2000) trabalhou com fitases em dietas à base de milho e farelo de soja para avaliar a digestibilidade ileal aparente de nutrientes em frangos utilizando óxido crômico como indicador 0,5%, aos 18 dias de idade. Este autor observou diferenças significativas ($P < 0,05$) na digestibilidade da matéria seca, da proteína, da energia bruta e da energia digestível ileal, resultados estes atribuídos à adição da enzima. O autor encontrou percentuais de 69,38% e 65,93% para digestibilidade da matéria seca, 79,05% e 77,23% para proteína bruta, 72,65% e 69,95% para energia bruta e valores de energia digestível de 3.276 e 3.155 kcal/kg com e sem adição de enzimas, respectivamente. O mesmo autor realizou um segundo experimento com frangos aos 25 dias de idade, usando os ensaios de digestibilidade total das excretas e digestibilidade ileal, utilizando duas enzimas fitases comerciais, nas dosagens de 500 e 750 FTU/kg,

mais um tratamento controle. Observou diferenças significativas ($P < 0,05$) para ambas as enzimas sobre a digestibilidade da proteína bruta, da energia bruta, da energia digestível ileal e da energia metabolizável aparente corrigida, atribuídas à adição da enzima.

Melhoras na digestibilidade da matéria seca atribuídas à adição de enzimas também foram observadas por Farrel & Martin (1998). Estes autores trabalharam com farelo de arroz incluído em rações à base de sorgo e trigo em percentagens de 0, 200 e 400g/kg com adição de um complexo enzimático contendo 170 FTU de fitase, utilizando frangos machos, aos 18 dias de idade, obtendo valores entre 16,1% e 17,9%.

Ravindran et al. (2000) observaram o efeito de três concentrações de ácido fítico na dieta, duas concentrações de fósforo não fítico, três concentrações de fitase microbiana e a adição de farelo de arroz em dietas à base de trigo, sorgo e soja. Observaram que a digestibilidade ileal da matéria seca de frangos machos, aos 25 dias de idade, foi influenciada pelo efeito da concentração de ácido fítico e fósforo não fítico e pela adição de 400 FTU de fitase.

Melhoras na digestibilidade de nutrientes, atribuídas à adição de fitase, também foram verificadas por Kornegay et al. (1996) ao avaliarem o efeito desta enzima sobre a digestibilidade da proteína bruta e de determinados aminoácidos utilizando quatro doses de fitase (0, 250, 500 e 750 FTU/kg) em três diferentes níveis de proteína bruta (25,5%, 22,6% e 19,4%). Os autores observaram aumento nos valores de digestibilidade dos aminoácidos quando a enzima foi adicionada.

Ravindran & Bryden (1997) examinaram a influência de três níveis de fitase (0, 400 e 800 FTU/kg) sobre a digestibilidade ileal aparente de aminoácidos em dietas de trigo-sorgo-soja contendo três níveis de ácido fítico (10,4, 13,2 e 15,7g/kg) e níveis de fósforo digestível (2,3 e 4,5g/kg). Os

diferentes níveis de ácido fítico foram obtidos mediante o acréscimo de farelo de arroz. Os resultados demonstraram influência negativa de concentrações crescentes de ácido fítico sobre o rendimento e digestibilidade de aminoácidos, efeitos estes anulados na suplementação de fitase. A digestibilidade aparente da proteína bruta melhorou em aproximadamente 3% e a digestibilidade dos aminoácidos aumentou em até 2,5%. Resultados semelhantes também foram verificados por Kies & Schutte (1998) alimentando frangos de corte com níveis adequados de fósforo disponível e a adição de 500 FTU de fitase/kg de ração. Estes autores concluíram que a inclusão de fitase melhorou a digestibilidade de proteínas e aminoácidos e também a utilização de energia.

Melhoras na digestibilidade de nutrientes também foram verificadas por Ravindran et al. (1999), trabalhando com frangos de corte machos aos 42 dias de idade, usando digestibilidade ileal aparente para avaliação dos valores de proteínas e aminoácidos contidos nos farelos de oleaginosas (soja, canola, algodão e girassol) e nos farelos de cereais (milho, sorgo, trigo, triguilho e farelo de arroz) com adição de 1200 FTU/kg. Estes autores concluíram que a digestibilidade da proteína bruta e dos aminoácidos de todos os alimentos foi melhorada em até 9%, devido à adição da enzima, dependendo da matéria-prima utilizada. Foi observado que, nos coeficientes de digestibilidade da proteína bruta, entre as oleaginosas, o maior efeito verificado foi para o farelo de soja, com melhora de 6%, seguida de todas as outras com 3%. Entretanto, para os cereais, o maior efeito observado foi para o farelo de arroz com 9%, seguido do trigo 7%, sorgo 6%, milho 4% e triguilho 3,6%.

Considerando os aminoácidos individualmente, a melhora maior foi constatada para a treonina e a valina. Eles ainda concluíram que esta variação foi influenciada pela digestibilidade da proteína bruta e não pela concentração de ácido fítico na dieta. Como pode-se observar, os maiores percentuais de melhoras da digestibilidade dos aminoácidos atribuídos à adição de fitase foram

encontrados no farelo de arroz (9,2%) e trigo (7,3%). Segundo Tejedor (2000), grande parte do ácido fítico destes alimentos se encontra na camada de aleurona e acredita-se que a ruptura das paredes destas células pela fitase microbiana aumenta a digestibilidade de muitos nutrientes.

Sebastian et al. (1997) trabalharam com digestibilidade ileal aparente para avaliar valores de proteína e de aminoácidos em dietas para frangos de corte contendo diferentes concentrações de cálcio e fósforo disponível, suplementadas ou não com 600 FTU/kg de fitase. Os autores concluíram que a digestibilidade ileal de proteína e aminoácidos melhorou em até 7%, sendo seus efeitos mais pronunciados nas fêmeas. Os níveis 0,35% e 1,0% de cálcio exerceram influência negativa sobre a digestibilidade de proteína, mas, nos níveis 0,35% de fósforo e 0,6% de cálcio, foi observada digestibilidade de proteína e aminoácidos significativamente melhorada ao mesmo tempo.

Em ensaios de digestibilidade utilizando galos cecectomizados, alimentados com farelo de soja descascado, contendo três níveis de fitase (0, 600 e 1.200 FTU/kg), Biehl & Baker (1997) observaram aumento significativo na digestibilidade verdadeira dos aminoácidos com adição de 1.200 FTU/kg.

Namkung & Leeson (1999) estudaram o efeito da fitase microbiana sobre a digestibilidade ileal de nitrogênio, aminoácidos e valores de energia metabolizável aparente corrigida utilizando pintos de corte machos de 1 a 15 dias de idade em dietas com 0,90% de cálcio e 0,45% de fósforo disponível, 0,79% de cálcio e 0,35% de fósforo disponível mais adição de fitase e óxido crômico na concentração de 0,4% como indicador. Esses autores observaram que a dieta com baixos níveis de cálcio e fósforo disponível e a adição de fitase apresentaram maior valor de energia metabolizável aparente corrigida e aumento na digestibilidade dos aminoácidos quando comparada com o grupo controle.

Os valores de energia metabolizável aparente podem ser melhorados com a suplementação de fitase em dietas à base de milho e farelo de soja, milho-farelinho de trigo-farelo de soja, milho-farinha de carne-farelo de soja e trigo-milho-farelo de soja. Foram observadas pequenas melhoras, porém, significativas, da energia metabolizável aparente em frangos de corte alimentados com dietas contendo sorgo, farelo de soja, farelo de canola, farelo de caroço de algodão e farelinho de trigo (Fitase..., 1999).

Ravindran et al. (2000) observaram o efeito de três concentrações (10,4; 13,2 e 15,7g/kg) de ácido fítico na dieta, duas concentrações de fósforo não fítico (2,3 e 4,5g/kg), três concentrações de fitase microbiana (0, 400 e 800 FTU/kg) e a adição de farelo de arroz em dietas à base de trigo, sorgo e soja. Observaram que os valores de energia metabolizável aparente em frangos machos aos 25 dias de idade das aves foi influenciada em até 7%, pela concentração de fósforo não fítico e pela adição de 400 FTU de fitase. Houve interação entre a concentração de fósforo não fítico e a adição de fitase, indicando que os efeitos da fitase sobre a energia metabolizável aparente foi dependente da concentração de fósforo não fítico na dieta.

Zanini (1997), ao avaliar os efeitos da energia metabolizável e a adição da enzima fitase sobre os coeficientes de digestibilidade aparente de alguns nutrientes em dietas à base de milho e farelo de soja para frangos de corte, criados por três semanas, observou melhoras que foram atribuídas à adição da enzima. As dietas continham 2.800 e 3.000 kcal/kg e 500 FTU/kg de fitase. Houve diferenças significativas ($P < 0,05$) para os fatores avaliados. Os valores das médias de absorção e da retenção do nitrogênio e os valores da energia bruta ingerida foram influenciados pela adição da enzima.

Resultados de pesquisas demonstraram unanimidade no efeito benéfico da adição de fitase sobre a disponibilidade do fósforo; entretanto, os níveis de

inclusão nas dietas variam de 290 FTU/g (Kornegay et al., 1996) a 1.146 FTU/g de fósforo (Yi et al., 1996b). Essa variação pode ser explicada pelos diversos fatores que afetam diretamente a efetividade da fitase, como a presença de ácidos orgânicos na ração, idade, estado fisiológico do animal e tratamento da ração (Fitase..., 1999) e também pelos critérios e métodos de avaliação das respostas. A amplitude desses benefícios encontra contradições diversas, provavelmente devido a não uniformidade dos tratamentos a que a fitase foi submetida, tais como temperatura, pH, quantidade de fitase adicionada, tipo de ração e fonte de obtenção.

Melhoras nos coeficientes de digestibilidade aparente de alguns minerais em dietas à base de milho e farelo de soja, para frangos de corte criados por três semanas, também foram observadas por Zanini (1997). As dietas continham 2.800 e 3.000 kcal/kg e 500 FTU/kg de fitase. Houve diferenças significativas ($P < 0,05$) para os fatores avaliados. Os valores das médias de absorção do cálcio, fósforo, zinco, cobre e ferro, a de retenção do fósforo e o teor de cinzas na tibia foram influenciadas pela adição da enzima. Resultados semelhantes foram observados por Tejedor (2000), usando a mesma enzima e dieta em ensaios de digestibilidade ileal em frangos, aos 18 dias de idade. O autor verificou que os valores de digestibilidade do fósforo e do cálcio apresentaram diferenças significativas ($P < 0,05$) para o fator enzima. Um segundo experimento foi realizado por Tejedor (2000), com frangos aos 25 dias de idade, alimentados com rações à base de milho e farelo de soja, suplementadas com duas enzimas fitases comerciais, nas dosagens de 500 e 750 FTU/kg, mais um tratamento controle, usando os ensaios de digestibilidade total das excretas e digestibilidade ileal. Neste caso, foram observadas diferenças significativas ($P < 0,05$) para ambas as enzimas sobre os coeficientes de digestibilidade do fósforo e do cálcio.

Pizzolante (2000), em experimentos com rações para frangos de corte à base de milho e farelo de soja, observou que a quantidade de fósforo nas

excretas das aves diminuiu com o uso de fitase e que quantidades de 750 e 1.000 FTU/kg elevaram os teores de fósforo plasmático. Resultados semelhantes foram observados por Broz et al. (1994) usando rações fareladas contendo 0,45% de fósforo total em um primeiro experimento e 0,52% de fósforo total em um segundo, suplementadas com 0, 125, 250 e 500 FTU/kg de fitase. Nos dois experimentos, os autores observaram aumento linear no teor de fósforo inorgânico no plasma, fósforo e cálcio na tíbia. Entretanto, Perney et al. (1993), utilizando níveis de 250 a 750 FTU/kg de fitase em rações contendo 0,32% e 0,44% de fósforo disponível em pintos aos 10 dias de idade, verificaram que a adição de fitase aumentou o conteúdo de cinzas na tíbia e a retenção de fósforo.

Melhoras atribuídas à adição da enzima fitase em ensaios com frangos também foram observadas por Teichmann et al. (1998), quando verificaram que a inclusão de até 900 FTU de fitase em dietas com 15% de farelo de arroz integral teve efeito linear para teor de cinza na tíbia e redução de fósforo nas excretas. Munaro et al. (1996), trabalhando com quantidades crescentes de fitase em rações com 15% de farelo de arroz desengordurado, observaram que o fósforo do fitato se mostrou disponível pela adição de fitase.

Conte (2000), trabalhando com 15% de farelo de arroz integral e níveis crescentes de fitase, concluiu que a adição desta enzima permite formular ração com baixo fósforo disponível (40%) e também com menor teor de ferro, cobre, zinco e manganês. Observou, ainda, que a disponibilidade biológica do fósforo da dieta com farelo de arroz integral sem fitase foi de 40,8% e aumentou para 57,2%, 61,5% e 60,7% com adição de 400, 800 e 1.200 FTU/kg/dieta, respectivamente. Este autor também verificou que a adição de fitase aumentou o teor de cinzas e fósforo na tíbia, reduziu a concentração de fósforo, zinco, manganês e cobre nas excretas, não afetou a deposição de ferro, cobre, zinco e manganês no osso e a de cobre, zinco e manganês no fígado. Concluiu ainda que

as taxas de fósforo, cobre, zinco e manganês são aumentadas com a adição de fitase.

Resultados semelhantes foram observados por Sohail & Roland (1999) em dietas com 0,32% e 0,22% de fósforo disponível e 0,75% de cálcio e adição de fitase, utilizando frangos machos, Ross x Hubbard de 3 a 6 semanas de idade. Um tratamento controle com 0,85% de cálcio e 0,43% de fósforo disponível foi utilizado. A adição de 300 FTU de fitase a dietas com 0,22% de fósforo disponível melhorou significativamente o conteúdo de minerais, a densidade e a resistência à quebra dos ossos, quando comparada à dieta com 0,32% de fósforo disponível. Os autores concluíram que a adição de fitase em níveis baixos de fósforo disponível e cálcio proporcionou melhora nas características ósseas.

2.4 Farelo de arroz na alimentação de frangos de corte

A utilização de alimentos não convencionais na formulação de rações para aves pode torná-las mais econômicas. Vários subprodutos industriais, impróprios para consumo humano, podem ser aproveitados na alimentação animal, contribuindo, dessa forma, para diminuir a inclusão de milho e de farelo de soja nas rações. No entanto, é necessário conhecer os valores nutricionais dos mesmos, visando observar se, com sua adição, a ração atenderá adequadamente às exigências das aves (Albino, 1991).

O farelo de arroz integral pelo seu alto teor de óleo se apresenta como uma boa fonte de energia para as aves, podendo ser uma alternativa na substituição de quantidades do milho, uma vez que é produzido em grandes proporções, a preços baixos e apresenta altos teores de fósforo. Apesar de rico em fósforo, pouca importância tem sido dada a esse farelo como fonte de nutriente, por este fósforo estar quase todo na forma fítica considerada de baixa disponibilidade.

O farelo de arroz integral é constituído, em média, de 13% de proteína bruta, 14% de extrato etéreo, 10% de fibra bruta, 0,10% de cálcio e 1,64% de fósforo. O farelo de arroz desengordurado é um subproduto resultante da extração por solventes ácidos da gordura do farelo integral e constitui cerca de 82% do peso total desse produto, possuindo, em média, 16% de proteína bruta, 2,15% de extrato etéreo e 11,38% de fibra bruta. Assim, apresenta algumas vantagens em relação ao farelo integral, como, por exemplo, maior percentagem de proteína bruta e maior estabilidade química que permitem um maior período de conservação. Tanto o farelo de arroz integral como o farelo de arroz desengordurado podem ser usados na alimentação animal. Porém, alguns fatores limitam o uso do farelo de arroz integral, como a alta quantidade de ácido fítico, até 8,6%, enquanto a maioria dos cereais possui até 2%, e polissacarídeos não amídicos (25%) com predominância dos arabinosilanos, que reduzem a digestibilidade dos nutrientes. Malathi & Devegowda (2001), analisando ingredientes utilizados em rações, observaram para o farelo de arroz desengordurado 59,97% de polissacarídeos não amídicos.

Os polissacarídeos não amídicos existem nas formas insolúveis (lignina, celulose e algumas hemiceluloses) e solúveis (pectinas, gomas e a maioria das hemiceluloses) em água. As frações insolúveis se caracterizam pela pouca capacidade de absorção de água, enquanto as frações solúveis são responsáveis pela formação de gel e aumento na viscosidade do conteúdo intestinal, características antinutritivas que impedem a digestão e absorção dos nutrientes pelas aves.

A lignina não é um polissacarídeo, mas um polímero de unidades repetidas de fenilpropanos. Pela pequena quantidade em ingredientes e sua incrustação com carboidratos estruturais, é definida como polissacarídeo não-amídico. A quantidade total de lignina e seu sítio de deposição interferem com a digestibilidade. A celulose é um polímero linear de glicose, com ligações β 1-4.

O nome hemicelulose foi proposto para designar os polissacarídeos extraídos de plantas com solução alcalina.

Os polissacarídeos não amídicos solúveis (arabinoxilanos, arabinogalactanos, D-xilanos, β -glucanos, D-mananas, galactomananas, xiloglucanos, raminogalacturonas, substâncias pécticas, etc.) presentes nas dietas não são digeridos por suas ligações β não serem degradadas pelas enzimas endógenas das aves e ainda interferirem na utilização de todos os nutrientes pela formação de gel e viscosidade na digesta. Eles também aprisionam sais biliares reduzindo a emulsificação das gorduras.

Os β -glucanos são polímeros lineares de glicose com ligações β 1-4 e 1-3 que rompem a linearidade da molécula impedindo a formação de fibrilas. Os D-mananos são polímeros formados por manose em ligações β 1-4. Os galactomanos são polímeros formados por glicose e manose, em ligações β 1-4, sendo duas de glicose para uma de manose. Segundo Francesch (1996), os β -glucanos quando totalmente hidrolisados resultam em glicose, que é rapidamente absorvida pelas aves. Os pentosanos, como a arabinose e xilose, são pouco digestíveis e, quando absorvidos, são excretados na sua maioria pela urina.

Os arabinoxilanos são formados por cadeia de xilose com ligação β 1-4 e cadeia lateral de arabinose com ligações β 1-3. Os xiloglucanos são formados por glicose com ligações β 1-4 e cadeia lateral de xilose com ligação β 1-3. Bedford (1996) descreve que o arabinoxilano que aparece em maior proporção entre os polissacarídeos não-amídicos é constituído por unidades de D-xilose e arabinose.

A pectina é composta por arabinose, galactose e ácido galactourônico. Os galactosídeos, como a rafinose, são formados por galactose e sacarose, com ligação α 1-6 entre galactose e glicose e α 1-4 entre glicose e frutose.

De maneira geral, a viscosidade da digesta reduz o contato entre: nutrientes e as secreções digestivas, a difusão e o transporte da digesta, das enzimas endógenas e dos sais biliares, e dos movimentos peristálticos; aumenta o tempo de retenção da digesta crescendo a fermentação do material não digerido e propiciando a proliferação de bactérias, inclusive no intestino delgado.

Segundo Brenes et al. (1996), a proliferação de bactérias influencia a digestão de proteínas que pode ser prejudicada devido à degradação dos ácidos biliares por estes microrganismos, uma vez que estes são responsáveis pela estabilidade das proteases pancreáticas.

O farelo de arroz desengordurado atualmente pode se apresentar peletizado. Este processo utiliza autoclavagem e tratamentos com solventes ácidos, não significando assim uma melhora no seu valor nutritivo em rações para frangos, uma vez que o teor de fibra bruta e sílica aumentam, dificultando ainda mais a digestibilidade dos nutrientes.

O farelo de arroz integral é um subproduto do polimento ou beneficiamento do arroz descascado, sendo constituído de camada intermediária entre a casca e o endosperma. É formado pelo pericarpo, testa, aleurona e gérmen, além de quantidade variável de amido, dependendo do grau de extração. Depois de seco, o grão é descascado, obtendo-se o arroz integral ou marrom. Numa segunda etapa, o polimento é feito em rolos de borracha, em que a camada marrom (pericarpo, testa e aleuroma) e o gérmen são removidos para obtenção do arroz branco. Essas camadas removidas constituem o farelo de arroz integral. O processo de beneficiamento do arroz com casca para obtenção do arroz branco produz, em média, 8% de farelo de arroz integral, podendo variar de 4% a 12% do peso do grão (Domene, 1996).

O rompimento accidental do grão durante o beneficiamento resulta no aparecimento de pequenos fragmentos do endosperma, que passam a formar parte do farelo. A contribuição desses fragmentos à composição do farelo é principalmente em amido, que compreende entre 10% a 20% do farelo de arroz. Assim, as quantidades de amido e outros nutrientes no farelo são, de certa forma, diferentes e dependem do grau de polimento e rompimento do endosperma que, por sua vez, depende da variedade e do estado da matéria-prima (Torin, 1991).

No grão de arroz, o ácido fítico é encontrado no pericarpo. A parte externa do grão contém 23 vezes mais ácido fítico do que o grão intacto e a remoção de 13% da superfície externa do grão resulta num endosperma sem ácido fítico detectável e uma alta concentração no farelo (Munaro, 1993).

O nível de proteína bruta do farelo de arroz é superior ao do milho, variando de 10% a 15% (Domene 1996) e a digestibilidade da proteína do farelo de arroz varia de 59% a 74%. Segundo Torin (1991), encontram-se na literatura valores de proteína bruta do farelo de arroz variando de 8% a 17%. Como ocorre com a maioria dos cereais, a lisina é o aminoácido limitante. O farelo de arroz integral destaca-se pela boa fonte de vitaminas do complexo B, sendo extremamente rico em fósforo e manganês, além de cobre, ferro e zinco superiores aos encontrados no milho.

O farelo de arroz, embora seja uma excelente fonte de minerais (principalmente fósforo e manganês), energia, proteína e vitaminas do complexo B, tem sua biodisponibilidade afetada por diversos fatores antinutricionais, como, por exemplo, a presença de altos teores de ácido fítico, fibra, inibidores de tripsina, hemaglutininas (Fialho, 1991), sílica e oxalato. A presença de fibra, na maioria solúvel, afeta a energia metabolizável e reduz a digestibilidade dos nutrientes das rações.

O maior teor de fibra e a menor densidade do farelo de arroz levam a um aumento do volume da ração. A menor densidade e a capacidade da fibra de reter mais de 10 vezes o seu peso em água dentro do trato digestivo aumentam o volume da digesta, podendo causar restrição no consumo e aumento na velocidade de passagem pelo trato digestivo, prejudicando a absorção de nutrientes (Summers & Leesson, 1986).

A fibra, definida como o componente estrutural das plantas (parede celular), é a fração menos digestível dos alimentos. Isso afeta três características dos alimentos, importantes na nutrição animal: está relacionada com a digestibilidade de nutrientes e com os valores energéticos, com a fermentação e pode estar envolvida no controle de ingestão dos alimentos.

A porção fibrosa dos alimentos é medida por meio de vários métodos como, por exemplo, pela análise de fibra em detergente neutro. Os tecidos vegetais são compostos por uma população heterogênea de células, algumas metabolicamente ativas e circundadas por uma fina parede facilmente degradável; outras têm função estrutural, possuindo paredes espessas e lignificadas, altamente resistentes ao ataque de microrganismos.

Os reagentes para fibra em detergente neutro são usados para dissolver as substâncias facilmente digeridas, como a pectina e o conteúdo celular dos ingredientes (proteínas, açúcares e lipídeos) deixando um resíduo fibroso (fibra em detergente neutro), que são os principais componentes da parede celular (celulose, hemicelulose e lignina), proteína danificada pelo calor e proteína da parede celular, sugerindo que esse método mede com mais acurácia as características nutricionais associadas à fibra.

A fibra em detergente neutro recupera celulose, hemicelulose e lignina, com alguma contaminação por proteína, pectina, amido e minerais. Embora a pectina faça parte da parede celular da planta, esta é facilmente extraída e

também rápida e quase completamente digerida. A contaminação por amido pode ser significativa em alguns alimentos, como, por exemplo, em grãos, superestimando assim os valores de fibra em detergente neutro. Mas, a utilização de α -amilase termoestável em amostras que contenham quantidades consideráveis de amido reduz substancialmente essa contaminação e facilita a filtração (Van Soest et al., 1991).

A contaminação por proteína parece contrabalançar a parede da pectina imediatamente solúvel, fazendo da fibra em detergente neutro uma estimativa aceitável da parede celular, o que não ocorre em alimentos aquecidos, como resíduos de cervejaria, por exemplo, em que esta contaminação pode chegar a até 40%.

Existem três grandes grupos de proteínas que fazem parte da parede celular: as extensinas com função estrutural, as proteínas ricas em glicina associadas à lignificação e as proteínas ricas em prolina que atuam na formação dos nódulos radiculates. Há outros grupos que exercem função essencial ao desenvolvimento celular. Parte dessas proteínas é solubilizada na determinação da fibra e outra porção permanece como constituinte da mesma.

A fibra exerce várias funções no organismo animal, dentre elas a influência sobre o volume do alimento que, por sua vez, acelera os movimentos peristálticos, os quais movimentam o bolo alimentar através do intestino, afetando a digestibilidade de nutrientes. De acordo com Warner (1981), o aumento nos teores de fibra insolúvel na dieta pode provocar a diminuição no tempo de passagem da digesta pelo trato gastrointestinal, podendo ser decorrente da estimulação física da fibra insolúvel sobre as paredes do trato gastrointestinal que tende a aumentar a motilidade e a taxa de passagem. O aumento dos teores desta fração provoca também diminuição da energia da dieta, levando a um

aumento compensatório no consumo para que atinja os níveis energéticos exigidos para o crescimento, desenvolvimento e produção.

Observa-se que, com relação ao efeito do alto teor de fibra sobre a taxa de passagem no trato digestivo, a literatura descreve que ocorre aumento ou redução dessa taxa. Estas observações são explicadas pela maior ou menor quantidade de fibras solúveis e insolúveis contidas no alimento.

A matriz insolúvel da parede celular mantém sua integridade durante a passagem da digesta pelo intestino delgado por ser resistente à ação dos microrganismos presentes neste segmento. Dessa forma, mantém a capacidade de hidratação e pode atuar como barreira física capaz de limitar o acesso das enzimas digestivas ao conteúdo interno das células (amido, proteínas), diminuindo a digestão e absorção dos nutrientes (Vanderhoof, 1998).

O aumento da fibra insolúvel na dieta acelera a excreção endógena de nitrogênio e a massa bacteriana na excreta, deduzindo-se que o consumo de fibra insolúvel pode causar aumento na quantidade de substrato endógeno e exógeno, disponível à fermentação bacteriana na região cecólica. Nessa região, as populações bacterianas são mais diversificadas e exercem maior atividade do que as presentes no restante do trato digestivo dos monogástricos. Por esse motivo, são capazes de degradar a maioria dos componentes que formam a matriz insolúvel da parede celular, com taxa de degradação variável e dependente da composição química e características físico-químicas da fibra, além das particularidades da microflora intestinal do animal (Van Soest, 1994).

O teor de fibra solúvel na dieta está associado a uma maior viscosidade, o que contribui para um trânsito mais lento da digesta no trato gastrointestinal (Annison, 1993). Esse aumento da viscosidade dificulta a ação de enzimas e sais biliares no bolo alimentar, reduzindo a digestão e absorção dos nutrientes. A fibra solúvel também pode interagir com as células do epitélio intestinal,

alterando o sistema hormonal e aumentando a secreção de proteínas endógenas, também sobre os sais biliares e as enzimas digestivas, causando aumento na excreção de produtos de origem endógena (Refstie et al., 1999). Entretanto, a relação entre a fibra solúvel com o aproveitamento de nutrientes e excreção endógena animal está mais relacionada à origem e as características físico-químicas desta fração do que à variação nos seus respectivos teores (Jorgensen et al., 1996).

A fibra solúvel geralmente apresenta-se mais ramificada e com grande quantidade de grupos hidrófilicos na sua estrutura (Annison & Choct, 1994), o que lhe confere maior capacidade de hidratação que a fração insolúvel da fibra. Associado ao aumento na produção de massa bacteriana, o maior teor de fibra solúvel na dieta também aumenta a produção de ácidos graxos voláteis, os quais podem ser absorvidos e utilizados metabolicamente para a energia de manutenção ou influenciar outros processos metabólicos e fisiológicos que se refletirão sobre o desempenho animal (Zhao et al., 1995).

Segundo Domene (1996), a quantidade de óleo do farelo de arroz integral varia de 15% a 23% e pode ser extraída por meio de solventes ácidos para uso na alimentação humana. Este autor descreve ainda que a maior fração de ácidos graxos do óleo do farelo de arroz é insaturada, susceptível ao desenvolvimento da rancidez, processo pelo qual o oxigênio reage com a dupla ligação, produzindo peróxidos e radicais livres, que são quimicamente muito reativos. De acordo com este autor, a fração lipídica do farelo de arroz é variável e a natureza dos ácidos graxos depende da variedade utilizada. Estes possuem, em média, 36% de ácidos graxos poliinsaturados, 41% de monoinsaturados e 19% saturados.

Os lipídeos se definem quimicamente como substâncias orgânicas insolúveis em água, mas bastante solúveis em solventes orgânicos. Em termos

gerais, os lipídeos se incluem em diversos compostos que têm em comum ácidos graxos em sua estrutura. Compreendem produtos como triglicerídeos (molécula formada por três ácidos graxos unidos por ligação ester ao glicerol), lipídeos estruturais (como lecitinas, nas quais um dos ácidos graxos é substituído por um grupo fosfórico), ceras (ésteres de álcool de cadeia longa de origem vegetal), ácidos graxos livres (procedentes dos processos de refinaria das indústrias de azeites comestíveis) e sabões (moléculas sem glicerol e com ácidos graxos saponificados pelo íon cálcio).

Segundo Silva et al. (1990), o farelo de arroz integral está muito sujeito à rancificação hidrolítica e oxidativa, devido à grande quantidade de óleo e à presença de lipase (Kratzer & Payne, 1977), que acelera a decomposição de gorduras. O uso de antioxidantes ajuda a proteger a gordura do farelo de arroz da rancificação oxidativa, mas não evita a rancidez hidrolítica.

Farrel (1994) afirma que o excesso de lipídeos no farelo de arroz integral torna-o passível de rancificações, enquanto Teixeira (1997) descreve que este farelo é um produto valioso para a alimentação animal, quando utilizado fresco ou estabilizado com antioxidante, como, por exemplo, a vitamina E. Afirma ainda que, devido ao alto teor de gordura, a rancidez afeta a palatabilidade dos alimentos, podendo torná-los tóxicos para os animais, além de causar a destruição de algumas vitaminas, particularmente as lipossolúveis.

Na valorização energética das gorduras, o fator a considerar é a sua digestibilidade, que depende fundamentalmente de sua capacidade de solubilização e da formação de micelas no intestino. Em monogástricos, os quatro fatores que determinam o valor energético de uma gordura são: o conteúdo em energia bruta, a porcentagem de triglicerídeos versus ácidos graxos livres, o grau de insaturação destes ácidos graxos e o comprimento da cadeia dos mesmos. Os efeitos práticos destes quatro pontos se medem pelo conteúdo de

umidade, impurezas e insaponificações, pela acidez oléica e porcentagens de ácidos graxos voláteis, pelo índice de iodo e conteúdo em ácidos linoléico e ainda pelo índice de saponificações (Mateos et al.,1996).

O critério para avaliar uma gordura é o seu conteúdo energético líquido. Este valor, porém, variável em função da espécie, idade do animal, produtividade, tipo de dieta e temperatura ambiental, depende fundamentalmente de seu conteúdo em energia bruta e sua digestibilidade intestinal. Acontece que o mecanismo de absorção depende de numerosos fatores; o valor energético de uma gordura não é constante e varia de acordo com os mesmos. Por isso é que há tanta variabilidade entre autores na hora de assegurar valores energéticos a uma graxa quimicamente bem definida. Por exemplo, os animais jovens digerem menos as gorduras que os animais adultos, especialmente quando se trata de gorduras saturadas para aves, que dependem mais intensamente da emulsificação para serem absorvidas.

A eficiência da utilização das gorduras é dependente da sua composição em ácidos graxos, uma vez que os saturados são menos eficientemente utilizados que os insaturados (Renner & Hill, 1961; Young & Garrett, 1963). Confirmando estas informações, Atteh & Leeson (1984) descreveram os efeitos do aumento dos níveis (0,8%, 1,2% e 1,6%) de cálcio em dietas contendo ácidos graxos saturados e insaturados, estudando os seus efeitos sobre a digestibilidade do extrato etéreo, formação de sabão fecal e os valores da energia metabolizável aparente. Esses autores observaram interação significativa ($P < 0,01$) entre os tipos de ácidos graxos e os níveis de cálcio sobre a energia metabolizável aparente das dietas, retenção do extrato etéreo e proporção de ácidos graxos nas excretas em forma de sabão. Concluíram que as dietas suplementadas com ácidos graxos e níveis maiores de cálcio resultaram em uma diminuição significativa sobre a energia metabolizável, a retenção de gordura e aumento significativo de sabão fecal, observando ainda que a utilização da energia do

ácido graxo saturado não foi tão bem utilizada quando comparada ao do insaturado.

Após a ingestão do alimento, ocorre ação enzimática e mecânica no estômago das aves. A ação mecânica tritura a gordura em pequenas partículas de lipídeos, transformando-a em uma fina emulsão e com grande aumento na área de superfície. A ação proteolítica e o baixo pH provocam a agregação em partículas, da gordura do alimento ingerido. Nestas condições, os ácidos graxos e fosfolipídeos encontram-se parcialmente ionizados e agem como elementos anfífilicos.

O resultado da digestão do alimento no proventrículo e moela é a destruição da estrutura física dos alimentos e colocação de todos os lipídeos juntos e à disposição das enzimas. Pepsina, a endopeptidase do proventrículo, também hidrolisa proteínas que retêm lipídeos, como no caso dos grãos. Assim, deficiências na digestão protéica podem reduzir a disponibilidade de lipídeos no intestino delgado (Macari et al., 1994).

A presença do alimento no duodeno estimula a liberação de bile e suco pancreático. O tampão bicarbonato do suco pancreático e biliar, bem como o secretado pelos enterócitos, aumenta o pH luminal. Os sais biliares são secretados pelo fígado e lançados no lúmen intestinal através da bile. A maioria dos sais biliares existe na forma conjugada de glicina e taurina e, em baixas concentrações, existem sais como monômeros em solução. No entanto, quando uma concentração micelar crítica de sais biliares é alcançada, os monômeros dos sais biliares começam a se agregar, formando as micelas (Macari et al., 1994).

A lipase pancreática é secretada pelas células acinares do pâncreas e lançada no lúmen intestinal, sendo o pH ótimo para a sua atividade entre 6 e 8. A ação da lipase está estritamente relacionada à interface lipídeo-água e sua ação

se faz, primeiramente, sobre os triglicerídeos e lecitinas e, posteriormente, sobre os ésteres do colesterol.

A digestão e a absorção dos lipídeos dependem da presença de sais biliares, da lipase pancreática, da colipase e da proteína ligadora de ácidos graxos. Aparentemente, esta proteína está envolvida com o transporte dos ácidos graxos através da membrana dos enterócitos e depende do substrato (ácido graxos) para aumentar sua concentração (Penz Jr. & Vieira 1998). Outro aspecto que compromete a digestão dos lipídeos é a presença de polissacarídeos não amídicos solúveis na dieta. Estes fatores antinutricionais promovem um aumento na viscosidade do conteúdo intestinal, diminuindo a velocidade de difusão dos substratos e das enzimas, comprometendo a interação deles com os enterócitos. Estes fatores também aumentam a presença de microrganismos no intestino delgado pela redução na velocidade de passagem do quimo pelo aparelho digestivo.

A complexidade da formação e tamanho das micelas de gorduras é afetada pela viscosidade devido à reduzida taxa de movimentos no intestino. Quanto mais hidrofóbicas são as gorduras, maior é a influência negativa da viscosidade e mais positivo é o efeito das enzimas. Assim, a digestão de gordura animal que contém maior quantidade de ácido graxo saturado sofrerá reação maior devido à adição de enzimas do que as ricas em ácido graxo insaturados. Isto indica que, com a adição de enzimas, maior quantidade de gordura será utilizada na ração, sendo os nutrientes solúveis em gorduras (vitaminas lipossolúveis e pigmentos) melhor absorvidos.

2.5 Milho na alimentação de frangos de corte

Normalmente, o milho e o farelo de soja são os ingredientes mais utilizados na dieta de monogástricos. Por esse consumo ser elevado, estes animais tornam-se competidores por alimentos com o homem. Dos ingredientes utilizados nas rações, o milho é o mais importante, devido ao seu valor energético elevado, quando comparado a outros cereais, justificando assim seu uso na alimentação animal.

O grão de milho é constituído de três partes: pericarpo (5%), endosperma (82%) e germe (13%). Contém, em média, 87,5% de matéria seca, 8,68% de proteína bruta, 3.950 kcal de energia metabolizável/kg, 3,84% de extrato etéreo, 2,17% de fibra bruta, 1,18% de cinzas, 0,04% de cálcio, 0,26% de fósforo total, 0,24% de lisina, 0,27% de treonina e 0,06% de triptofano (Embrapa, 1991). Suas principais proteínas são zeína (endosperma) e gluteína (germe), consideradas de baixo valor nutricional por apresentarem baixos teores em aminoácidos essenciais. É um alimento energético que possui 9% de polissacarídeos não amídicos com predominância dos arabinosilanos e aproximadamente 0,99% de ácido fítico. Malathi & Devegowda (2001), analisando ingredientes utilizados em rações, observaram, para o milho, 9,32% de polissacarídeos não amídicos.

Em média, o milho contém 72,28% de amido, sendo que 98% do mesmo se encontram no endosperma. Esse amido é constituído de amilose (25%) e amilopectina (75%), com digestibilidade diretamente relacionada ao teor de amilopectina presente.

O amido é um carboidrato produzido pelas plantas, depositado nas sementes, raízes, tubérculos e caule, servindo como reserva para os períodos de dormência, germinação e crescimento. É um dos nutrientes mais importantes dos cereais, representando 55% a 70% do seu peso. Esse nutriente existe sob a forma de grânulos no endosperma e se mantém no lugar pela matriz protéica

constituída por prolaminas e glutaminas. A estrutura do grânulo pode variar entre os cereais e, em menor grau, dentro da mesma espécie (Bedford et al., 1991). O amido está situado no endosperma de paredes finas e, junto com o embrião, constitui o conteúdo do grão.

O endosperma se encontra em uma camada de células de paredes grossas conhecida como aleurona, que contém enzimas digestivas para liberação dos nutrientes do endosperma, na germinação. O pericarpo envolve a capa de aleurona e é constituído por camadas de células dispostas para proteger o grão. As paredes celulares do pericarpo, aleurona e endosperma assemelham-se, uma vez que todas contêm celulose, polissacarídeos não amidícos, compostos fenólicos, pectinas e proteínas, porém, diferem nas proporções relativas de cada componente (Bedford et al., 1991).

Os grânulos de amido se distribuem de forma diferente nos diversos grãos, variando com o cereal e com as diversas variedades. De maneira geral, o grão é composto por três camadas distintas: pericarpo, endosperma e embrião.

O pericarpo corresponde à superfície protetora que envolve o grão, servindo como uma barreira, impedindo inclusive a atividade de enzimas hidrolíticas, caso não seja rompida pela mastigação ou por outros processamentos, sendo seu teor de amido muito pequeno.

O endosperma corresponde a uma estrutura de reserva, contendo a maior parte do amido, sendo dividido em diversas camadas. A mais externa é denominada aleurona, seguida pelo endosperma periférico e pelo endosperma córneo, enquanto a camada mais interna é denominada de endosperma farináceo.

O endosperma periférico e o córneo contêm grânulos de amido envoltos por uma matriz, composta principalmente por proteína e carboidratos não-amidícos, relativamente impermeáveis à água e à atividade enzimática. Finalmente, o endosperma farináceo é aquele que se encontra mais próximo ao

embrião, constituído praticamente de grânulos de amido, encontrados em grande densidade, sendo altamente susceptível à atividade enzimática.

O amido é o principal componente energético dos grãos utilizados na alimentação de monogástricos, mesmo que suas fontes apresentem custo elevado. Devido às suas características como fonte de reserva, apresenta disponibilidade energética superior à dos carboidratos estruturais presentes nas dietas. A utilização de fontes de amido é fundamental na exploração de animais de alta produção, os quais exigem níveis elevados de energia na dieta para que possam atingir todo o seu potencial genético.

Após a celulose, o amido é o composto mais sintetizado pelos vegetais. O amido é constituído de átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio em uma relação 6:10:5 ($C_6H_{10}O_5$)_n. É um polímero de moléculas de glicose unidas por ligações glicosídicas, apresentando em sua composição dois tipos principais de moléculas, amilose e amilopectina, podendo conter ainda pequena quantidade de amilose ramificada.

A amilose é um polímero linear contendo até 6.000 unidades de D-glicose unidas através de ligações α 1-4, existindo na forma de hélice. A proporção de amilose no amido varia de 0% a 80%, dependendo da espécie e das variações genéticas dentro da espécie. O milho, sorgo, trigo e os demais cereais contêm, na molécula de amido, uma maior quantidade de amilose (cerca de 28%) em relação ao amido de raízes e tubérculos (mandioca, batata). Porém, existem variedades de milho que apresentam até 80% de amilose. O grau de polimerização da amilose também varia de acordo com as espécies. As moléculas de amilose da mandioca e batata (esta de 1.000 a 6.000 unidades de glicose) apresentam um peso molecular substancialmente mais elevado que o milho (200 a 1.200 moléculas de glicose).

A amilopectina é um polímero ramificado, com maior peso molecular e geralmente mais abundante na composição das moléculas de amido em relação à amilose. Sua composição consiste de cadeias lineares de glicose com 10 a 60 unidades ligadas por ligações glicosídicas α 1-4, apresentando ramificações através de ligações α 1-6, em média a cada 20 ou 25 unidades de glicose. As moléculas de glicose que apresentam ligações α 1-6 representam cerca de 5% do total de unidades de glicose em uma molécula de amilopectina. A amilopectina compõe de 70% a 80% do amido dos cereais e até 85% do amido em raízes.

As moléculas de amilose e amilopectina do amido são unidas pela formação de pontes de hidrogênio entre os grupamentos hidroxila das unidades de glicose, apresentando assim insolubilidade em água fria. Apesar das pontes de hidrogênio serem fracas, existe uma quantidade enorme de pontes em uma molécula de amido, acarretando esta insolubilidade. Contudo, os grânulos de amido apresentam a capacidade de se dilatar de forma reversível (10% a 15% de aumento no diâmetro) na água fria, retornando ao estado original após a secagem.

Cada espécie vegetal produz grânulos com diferentes características de tamanho, forma e propriedades. No arroz, muitos grânulos são sintetizados dentro do amiloplasto durante o período de desenvolvimento da semente, resultando em grânulos que se separam em grânulos pequenos e angulares. Outros cereais, como o milho e o sorgo, têm grânulos simples. A densidade do amido varia de 1,4 a 1,6g/cm³, enquanto que o tamanho varia de menos de 1 micron até 200 micrômetros.

A estrutura dos grânulos de amido apresenta duas áreas distintas. A primeira apresenta uma estrutura organizada, sendo denominada região cristalina; a segunda, conhecida como região amorfa, é relativamente desorganizada. A região cristalina ou micelar é primeiramente composta de

amilopectina, sendo esta a principal responsável pela organização desta área. A área cristalina apresenta uma maior resistência à entrada de água e, conseqüentemente, à atividade enzimática. A região amorfa é rica em amilose e menos densa que a área cristalina. Devido à menor densidade, a água se move livremente através desta região e a atividade hidrolítica das amilases em geral se inicia nesta área. Dessa forma, aparentemente, uma maior proporção de amilose na molécula de amido proporcionaria uma melhor atividade hidrolítica. Contudo, o que ocorre, na realidade, é uma diminuição na hidrólise do amido e na digestibilidade de fontes de amido com maior teor de amilose, devido à maior formação de pontes de hidrogênio.

As moléculas de amilose se inserem no interior das moléculas de amilopectina, acarretando aumento na quantidade de pontes de hidrogênio no interior da molécula de amido, o que pode acarretar a diminuição na capacidade de expansão e na atividade enzimática. Em raízes como a mandioca, a região cristalina é composta apenas pela amilopectina, estando a amilose presente apenas na região amorfa e podendo ser mais facilmente lixiviada, enquanto que os cereais apresentam amilose também na região cristalina. Uma porção da amilose em cereais apresenta uma complexação com lipídeos, formando estruturas helicoidais e acarretando menor estruturação da região cristalina e maior adesão entre as moléculas que compõem o grânulo. O complexo lipídeo-amilose é insolúvel mas pode se dissociar quando aquecido, sendo, contudo, necessárias temperaturas acima de 125°C. Essa complexação diminui a capacidade de expansão e a solubilidade do amido. O amido da mandioca contém pequena porcentagem de lipídeos em sua composição (0,1%) em comparação com o amido dos cereais (0,6 a 0,8%). Dessa forma, a maior capacidade de expansão do amido da mandioca em relação ao amido dos cereais, em especial a do milho, pode estar relacionada à menor quantidade de amilose, ao fato da amilose estar presente apenas na região amorfa (formando menos

pontes de hidrogênio com a amilopectina) e à menor formação de complexos lipídeo-amilose. Esta característica do amido da mandioca ajuda a explicar a maior digestibilidade do amido da mandioca em relação ao amido do milho e sorgo (Zeoula, 2001).

O pâncreas é o órgão responsável pela produção e liberação da principal enzima envolvida na digestão intestinal do amido, uma endoenzima α 1-4, denominada α -amilase.

A mucosa intestinal também secreta amilase, porém, em menor proporção. A atividade da enzima α -amilase (endoenzima) acarreta a quebra das ligações glicosídicas α 1-4, produzindo uma série de dextrinas e oligossacarídeos, principalmente maltotriose, isomaltose e maltose. Estes carboidratos formados pela atividade da α -amilase são hidrolizados pela atividade de enzimas glicoprotéicas que fazem parte integral da borda dos enterócitos, conhecidas como glucoamilase (maltase-glucoamilase), sucrase (maltase-sucrase) e α -dextrinase (isomaltase). Sob o efeito da atividade enzimática, as moléculas de amilopectina e amilose são hidrolizadas até unidades de glicose, que podem ser então absorvidas pelos enterócitos.

Os principais mecanismos digestivos e absorptivos dos carboidratos estão localizados quase que exclusivamente no intestino delgado, onde ocorrem duas fases: uma no lúmen intestinal e a outra na membrana do epitélio.

Como existe pouca amilase salivar, a digestão dos carboidratos pelas aves é quase que exclusivamente realizada pela α -amilase pancreática, sendo esta uma cadeia simples de aminoácidos com sua atividade enzimática dependente de cálcio e cloro. O cálcio está firmemente fixado na molécula e sua remoção anula a atividade enzimática, pois provoca mudança conformacional. Além disso, esta mudança na estrutura da molécula aumenta a sensibilidade para a digestão da tripsina. O cloro é necessário para a atividade da α -amilase, no

entanto, não se encontra ligado à molécula como o cálcio. Alguns íons como bromo, iodo e flúor também podem satisfazer o requerimento para a atividade da α -amilase, sendo o cloro mais efetivo (Macari et al., 1994).

Os dissacarídeos produzidos na digestão luminal dos carboidratos não são absorvidos pela mucosa intestinal e precisam ser hidrolisados pela ação de carboidrases da mucosa do intestino em monossacarídeos antes de serem transportados para o interior das células epiteliais. As carboidrases são sintetizadas no interior das células e são transferidas à superfície da região das bordas das membranas do epitélio intestinal, onde permanecem ancoradas à membrana do epitélio e a porção ativa da enzima fica livre na interface célula-lúmen, que atua na hidrólise dos dissacarídeos. Estas enzimas estão localizadas nas microvilosidades dos enterócitos, o que permite melhor contato com a digesta. Os dissacarídeos são digeridos no momento em que entram em contato com estas enzimas e os produtos digeridos, que são os monossacarídeos, vão imediatamente para o sangue (Frizzas, 1996).

Os processos de digestão e absorção eficientes de nutrientes só podem ocorrer no intestino delgado se as enzimas endógenas secretadas agirem diretamente sobre os constituintes químicos alvos de um alimento. Embora os nutrientes possam estar presentes, eles podem escapar de serem desdobrados no trato gastrointestinal se estiverem protegidos por estruturas resistentes ou por propriedades anti-nutritivas do alimento (Close, 1996).

A composição da dieta parece regular a produção e composição do suco pancreático, bem como a produção de outras enzimas envolvidas na digestão do amido. Em animais monogástricos, a influência que o incremento no consumo de proteínas, carboidratos e lipídeos acarreta sobre a produção de enzimas é bem conhecida, ocorrendo uma adaptação do animal ao maior aporte de nutrientes por meio de uma maior produção enzimática no pâncreas e na mucosa intestinal.

Lesson & Yersin (1993) descreveram níveis diferentes de energia metabolizável, encontrados em vários lotes de milho de uma mesma safra em 1992 (2.926 a 3.474kcal/kg) e observaram grandes variações entre regiões na composição do amido do milho nos Estados Unidos. A variação foi tão alta que as diferentes amostras teriam ocasionado desempenhos diferenciados em frangos. Noy & Sklan (1995) obtiveram dados que revelam baixa digestibilidade ileal do amido em pintos jovens alimentados com farelo de milho e soja, sugerindo inclusão de enzimas para melhoria da digestibilidade do amido e do rendimento econômico.

2.6 Farelo de soja na alimentação de frangos de corte

Após prensagem industrial e adição de solventes orgânicos ao grão de soja, obtém-se o farelo, que apresenta excelente balanço de aminoácidos, servindo como padrão de comparação para rações animais.

Esse subproduto já foi comercializado a preços acessíveis, mas o aumento da procura para uso em rações elevou seu preço, tornando-o um fator limitante na produção de frangos (Pinheiro,1993).

O farelo de soja é um excelente suplemento protéico, sendo alimento básico para os animais monogástricos. As proteínas são nutrientes orgânicos presentes em todas as células, portanto, essenciais à vida. Todos os animais necessitam receber uma quantidade de proteína e, além disso, para os monogástricos, a quantidade é tão importante quanto a qualidade (Teixeira, 1997).

As proteínas são as macromoléculas mais abundantes nas células vivas, constituindo cerca de 50% de seu peso. São encontradas em todas as células do organismo e em todo o seu conteúdo. Possuem grande diversidade, podendo

existir centenas de tipos diferentes em uma mesma célula. Praticamente todos os processos vitais dependem desta classe de moléculas. Todas são formadas das mesmas unidades básicas, os aminoácidos. Na hidrólise, as proteínas fornecem entre 22 e 24 aminoácidos. O número, o tipo e o arranjo dessas moléculas é que fazem com que não existam duas proteínas iguais em animais diferentes.

A proteína forma o principal constituinte do organismo animal, sendo, pois, indispensável para o crescimento, reprodução e produção. Elas são formadas de carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio. Muitas apresentam enxofre, ferro ou fósforo. Podem apresentar cobre, cálcio e magnésio.

As proteínas desempenham várias funções no metabolismo animal, dentre elas, a formação de tecidos, regulam o metabolismo, atuam como fonte de energia quando se apresentam em excesso, agem no mecanismo de defesa e no balanço dos fluidos e, ainda, na genética e no transporte de produtos sanguíneos.

A proteína, para ser absorvida, é desdobrada até aminoácidos e aquela não digerida aparece na matéria seca fecal, juntamente com as proteínas de origem microbiana e das enzimas utilizadas na digestão. Segundo Teixeira (1997), a proteína digestível é a porcentagem da proteína ingerida que é absorvida.

A hidrólise (quebra das ligações peptídicas) ocorre pela ação das enzimas proteolíticas em pH baixo (1,0 a 4,0). Assim, quanto maior a área de superfície disponível para as enzimas e o seu tempo de ação sobre o substrato, melhor será a digestão e a disponibilidade dos monômeros para posterior absorção.

A digestão protéica no frango de corte inicia-se no proventrículo, pois, na boca, esôfago e papo, não existe ação enzimática e nem mesmo mecânica sobre o alimento ingerido. Considerando que o frango de corte ingere o alimento seco, no esôfago e papo ocorre secreção mucosa para lubrificação e trânsito da

ingesta até o proventrículo. Aí, as proteínas, em meio ácido são desnaturadas e sofrem a ação da pepsina, que é uma endopeptidase, isto é, hidrolisam as ligações peptídicas. Por meio da motilidade proventrículo-moela, o alimento vai sendo triturado e digerido, sendo que as proteínas parcialmente digeridas (polipeptídeos) passam para o duodeno. A eficácia da digestão péptica no proventrículo depende da característica física da proteína ingerida e do tempo de permanência no proventrículo e na moela, pois a hidrólise péptica cessa quando o pH do quimo é aumentado no duodeno. Aí, as proteínas da ingesta sofrem a ação das enzimas proteolíticas do pâncreas e do intestino (Macari et al. 1994). As principais enzimas proteolíticas do pâncreas são: tripsina, quimiotripsina, carboxipeptidases A e B e elastase.

De maneira geral, as proteínas dos alimentos diferem em solubilidade e digestibilidade, principalmente quando conjugadas a lipídeos, metais, ácidos nucléicos e carboidratos (Kiss, 1981).

O farelo de soja possui, em sua composição, uma média de 88,22% de matéria seca, 44% a 46% de proteína bruta, 1,3% a 1,5% de extrato etéreo, 5% a 7% de fibra bruta, 0,25% de cálcio, 0,60% de fósforo total, 2,65% de lisina, 0,46% de metionina e, em média, 3.178 kcal/kg de energia metabolizável (Embrapa, 1991). É um alimento protéico que possui 30% de polissacarídeos não amidícos com predominância de polímeros complexos, de digestibilidade nula, não sendo utilizado pelo organismo de aves jovens e com aproximadamente 1,6% de fitato. Malathi & Devegowda (2001), analisando ingredientes utilizados em rações, observaram para o farelo de soja 29,02% de polissacarídeos não amidícos.

Como alimento para monogástricos, o farelo de soja possui antitripsinas e lectinas que são consideradas substâncias antinutricionais. Hessing et al. (1995), citados por Penz Jr. (1998), avaliaram amostras de farelo de soja em

vários locais do mundo e constataram grandes variações nos níveis de substâncias antinutricionais. A qualidade do farelo examinada demonstrou atividades dos inibidores de tripsina e níveis residuais de lectina variadas, apesar do tratamento pelo calor. Foi comprovado que amostras de farelos continham níveis de lectina residual suficientes para deprimir a digestibilidade da proteína, tendo os autores mostrado que 0,21g/kg de inibidor de tripsina deprimem em 15% a digestibilidade ileal da proteína.

A energia metabolizável do farelo de soja é baixa em relação à sua energia bruta, devido, principalmente, à presença de rafinose e celobiose na sua constituição. Segundo Brenes et al. (1996), a soja contém entre 0,5% a 1,5% de rafinose e 3,5% a 5,5% de estaquirosa. A verbascose está ausente. Os autores afirmam que estes oligossacarídeos não podem ser metabolizados pelas aves, produzindo flatulência e, como conseqüência, produzem baixo valor de energia metabolizável.

Kunitz (1945) identificou e cristalizou uma proteína na soja, o inibidor de tripsina Kunitz, que inibe a atividade da enzima digestiva tripsina considerada termolábil. Bowman (1944) identificou outra proteína capaz de inibir a tripsina e a quimiotripsina, sendo purificada por Birk et al. (1961;1963), recebendo o nome de inibidor Bowman-Birk, citados por Pinheiro (1993). Trata-se de uma proteína estável ao calor, devido ao número de pontes de enxofre.

Em pintos, a resposta hipertrófica do pâncreas ocorre quando a tripsina produzida não é suficiente para neutralizar o inibidor de tripsina, ocorrendo redução na digestão intestinal da proteína. Como conseqüência, quantidades de proteína dietética são excretadas nas fezes, representando perda exógena de nitrogênio. Em aves adultas, a tripsina e outras enzimas produzidas pelo pâncreas são suficientes para prevenir a inibição proteolítica. No entanto, muito

nitrogênio encontrado no trato intestinal é de origem endógena, advindo da secreção pancreática, que é rica em cistina (Liener & Kakade, 1980).

Liener & Kakade (1980) citam, como fatores antinutricionais da soja, os inibidores de tripsina, hemaglutininas, fatores goitrogênicos, antivitaminas e fitatos, que são termolábeis e saponinas, estrógenos, fatores de flatulência, lisoalaninas e alergênicos, que são fatores termorresistentes.

2.7 Energia metabolizável

A determinação dos valores da energia contida nos alimentos para as aves, normalmente expressa em forma de energia metabolizável, é de fundamental importância, por ser a forma mais utilizada nos cálculos das rações. Segundo Fischer Jr. et al. (1998), a energia dos alimentos é um produto da transformação dos nutrientes durante o metabolismo normal do organismo, sendo um dos fatores essenciais a serem considerados na nutrição animal. De acordo com o NRC (1994), a energia não é um nutriente, mas sim uma propriedade na qual os nutrientes produzem energia, quando oxidados durante o metabolismo. Os valores de energia de um alimento ou ração para aves podem ser expressos de várias formas, como: energia bruta, que é a energia liberada como calor, quando uma substância é completamente oxidada a CO₂ e água, sendo também referida como calor de combustão; energia digestível aparente é a energia bruta do alimento consumido menos a energia bruta contida nas fezes.

A energia metabolizável aparente é a energia bruta consumida do alimento menos a energia bruta contida nas fezes, urina e produtos gasosos da digestão. Uma correção pela retenção de nitrogênio é geralmente aplicada para produzir valores de energia metabolizável aparente corrigida pelo balanço de nitrogênio, sendo a mais comum estimativa dos valores de energia aproveitável

usada na formulação de rações para as aves. A energia metabolizável verdadeira é a energia bruta do alimento consumido menos a energia bruta da excreta exclusivamente de origem alimentar, levando em consideração as perdas endógenas e metabólicas das aves. Essas perdas são independentes da duração do período do jejum, época do ano e peso corporal. A correção pela retenção de nitrogênio pode ser feita originando valores de energia metabolizável verdadeira corrigida pelo balanço de nitrogênio. Por outro lado, o balanço de nitrogênio é afetado por vários fatores, incluindo a composição e o consumo de alimento fornecido, podendo ser negativo ou positivo.

O nitrogênio dietético retido no corpo, se catabolizado, é excretado na forma de compostos contendo energia, como o ácido úrico. Assim, é comum a correção dos valores de energia metabolizável aparente para balanço de nitrogênio igual a zero (Sibbald, 1982), podendo-se estimar a energia metabolizável corrigida. Hill & Anderson (1958) propuseram um valor de correção de 8,22 kcal por grama de nitrogênio retido, em razão de esta ser a energia obtida quando o ácido úrico é completamente oxidado. Wolynets & Sibbald (1984) consideraram essencial a correção dos valores energéticos pelo balanço de nitrogênio, cujas variâncias dos valores de energia metabolizável corrigida são menores que aquelas obtidas para energia metabolizável aparente.

Basicamente, existem duas críticas ao sistema de energia metabolizável aparente. Na primeira, os estudos mostram que variações na quantidade de energia dos alimentos obtidos por este sistema estão relacionados diretamente à quantidade de consumo de alimentos (Guilhaume & Summers, 1970 e Sibbald, 1975). Assim, há possibilidade de ocorrer menor estimativa nos valores de energia metabolizável aparente em alimentos que tendem a causar depressão em seu consumo. Na segunda, é a incorreta suposição de que toda energia perdida na excreta vem diretamente do alimento (Hill & Anderson, 1958). No entanto,

sabe-se que existem perdas endógenas e metabólicas que não são oriundas do alimento.

As aves excretam fezes e urina juntas. Assim, a energia bruta excretada engloba a energia das fezes, da urina e dos gases da digestão, sendo esta última desprezível para esses animais. Nas fezes existem duas frações, os resíduos não digeridos ou não absorvidos do alimento e a fração metabólica, formada por biliar, secreções digestivas e células procedentes da mucosa intestinal. Da mesma forma, na urina têm-se resíduos do alimento absorvido e eliminado sem serem catabolizados e uma fração endógena que consiste em um produto do catabolismo dos tecidos.

Entre os vários métodos utilizados na determinação dos valores energéticos dos alimentos para aves, Albino & Silva (1996) citam o de coleta total de excretas (Sibbald & Slinger, 1963), o da alimentação precisa (Sibbald, 1976) e a utilização de equações de predição. Estas equações baseiam-se na composição química dos alimentos, sendo o método de coleta total de excretas o mais utilizado para a determinação da energia metabolizável aparente.

Segundo Kessler & Thomas (1981), os valores de energia metabolizável verdadeiros obtidos com galos cecectomizados são significativamente menores que os obtidos com galos intactos. Isto se deve ao fato de as aves cecectomizadas apresentarem aumento na excreção nas primeiras 24 horas de coleta. Esses dados levantam à hipótese de retenção da digesta nos cecos e que, após 30 horas de coleta, há redução em relação ao período anterior, na quantidade de excretas produzidas por galos alimentados sendo estes cecectomizados ou não.

Albino et al. (1992) descrevem que valores de energia metabolizável verdadeira corrigida obtidos com galos adultos (método de Sibbald) são maiores que os obtidos com pintos (método tradicional). Isto se deve à correção pelas

perdas endógenas, que anula os efeitos do baixo consumo e evidencia o efeito da idade, pois aves adultas metabolizam mais energia dos alimentos que as jovens (Albino, 1980). Segundo Sibbald (1976), estas perdas endógenas decrescem com a severidade e o período do jejum das aves, podendo acarretar pequenos erros nos resultados apresentados pelo método de alimentação forçada.

É consenso entre os nutricionistas que a energia é um dos fatores limitantes do consumo, sendo utilizada nos mais diferentes processos que envolvem desde a manutenção das aves até o máximo potencial produtivo (Fischer Jr. et al. 1998). Segundo Albino et al. (1992), para se obter sucesso na formulação de rações para aves, um dos aspectos mais importantes é o conhecimento preciso do conteúdo energético dos alimentos, pois possibilita fornecimento adequado de energia para as aves.

Childs (1971) demonstrou que há vários fatores responsáveis pela variação do valor de energia metabolizável dos alimentos, como: variações de amostragem, idade do animal, ração utilizada e níveis nutricionais da dieta. A qualidade da proteína, segundo Sibbald et al. (1960), também influencia os valores de energia. Vários outros fatores podem afetar consideravelmente o valor da energia metabolizável, como a tripsina (Brambila et al., 1960), a qualidade da dieta (Lodhi et al., 1976), o balanço da dieta (McIntosh et al. 1962) e a linhagem genética (Hassan & Delpech, 1987). Além desses, outros fatores também afetam a determinação dos valores energéticos dos alimentos, como o seu percentual de inclusão a ser testado, o método utilizado para a determinação, o uso de indicador fecal e a quantidade do consumo do alimento.

Rostagno & Queiroz (1978) descrevem que os valores de energia metabolizável aparente determinados para as aves adultas são maiores que os obtidos para as aves jovens, usando alimentos com altos teores de fibra.

Entretanto, Shires et al. (1980) e Albino (1980) não verificaram esse efeito de idade nos valores energéticos para a maioria dos alimentos avaliados.

O efeito do método de determinação dos valores de energia metabolizável aparente foi estudado por Sibbald et al. (1960), que encontraram valores precisos com o uso do óxido crômico como indicador fecal, enquanto Potter (1972) concluiu que os melhores resultados foram obtidos pelo método de coleta total de excretas.

No entanto, Silva & Leão (1979) consideram como desvantagens do uso do óxido crômico a recuperação incompleta nas fezes e a grande variação diurna na sua excreção, devido à densidade específica maior do que o alimento, passando com maior lentidão pelo trato digestivo e não se misturando bem com a digesta na forma pulverizada, acumulando-se em alguma parte do trato digestivo.

Em experimento conduzido por Guillaume & Summers (1970), foi demonstrado que os valores energéticos determinados com galos adultos foram profundamente afetados pelo consumo de alimentos, cujos valores obtidos foram menores, à medida que se reduziu o consumo, sendo este efeito atribuído às perdas de energia endógena pelas aves. Posteriormente, Sibbald (1976) sugeriu o uso de aves em jejum para estimar as perdas endógenas, no ensaio de alimentação precisa com galos adultos, determinando-se valores de energia metabolizável verdadeira e energia metabolizável verdadeira corrigida.

A extensão do período de coleta de fezes no método de Sibbald (1976) depende do ingrediente a ser testado. Recomenda-se o uso de períodos maiores (48 horas) para coleta de excretas provenientes de aves alimentadas com ingredientes que propiciem taxa de passagem mais lenta (Kessler & Thomas, 1981). No entanto, há de se considerar que no método tradicional as aves passam

por um período de adaptação às dietas testes, normalmente de cinco dias, seguidas de cinco de coleta, o que pode ser desnecessário (Martinez, 2002).

Segundo Borges (1997), a energia metabolizável de um alimento está diretamente correlacionada com a composição deste alimento em carboidratos, proteínas e gorduras. Também dependerá do tipo de carboidrato, se de reserva (amido) ou constituinte da parede celular (fibra) e, ainda, do tipo de polissacarídeos que compõem os carboidratos da parede celular.

Em um estudo para a determinação de valores de energia metabolizável utilizando nove alimentos, Albino et al. (1992) observaram que os valores determinados pelo método tradicional foram maiores que os obtidos pelo método de Sibbald. Quando se fez a correção dos valores pelo balanço de nitrogênio, foram observados acréscimos nos valores obtidos pelo método de Sibbald. Isto porque, devido ao período de jejum e à pequena quantidade de consumo de alimento, as influências das perdas de energia fecal metabólica e energia urinária endógena sobre os valores de energia metabolizável e energia metabolizável corrigida são maiores, observando-se vantagens do método tradicional sobre o método de Sibbald.

De acordo com Shires et al. (1980), embora os valores de energia metabolizável verdadeira e de energia metabolizável verdadeira corrigida sejam, de certa forma, maiores que os de energia metabolizável aparente e energia metabolizável aparente corrigida, os resultados obtidos nos ensaios de alimentação precisa podem ser empregados na formulação de rações para frangos em crescimento. Testando a aplicabilidade do uso da energia metabolizável verdadeira na formulação de rações, Dale & Fuller (1982) concluíram que a energia metabolizável verdadeira reflete com maior segurança os valores energéticos dos alimentos, comparados aos valores de energia metabolizável aparente corrigida pelo balanço de nitrogênio. Porém, Parsons et

al. (1982), avaliando os efeitos da correção de energia da excreta pelo balanço de nitrogênio, usando galos e poedeiras, concluíram que os valores de energia metabolizável aparente com correção parecem mais precisos que os de energia metabolizável verdadeira. Entretanto, na prática, os valores de energia metabolizável verdadeira corrigida são bem próximos dos valores de energia metabolizável aparente corrigida (Tardin, 1995).

Segundo Rodrigues (2000), os valores de energia metabolizável aparente e energia metabolizável aparente corrigida dos alimentos são amplamente utilizados nas pesquisas e formulações de rações pelos nutricionistas. Porém, existem variações nestes valores utilizados e recomendados por diferentes laboratórios. As variações na composição nutritivas dos subprodutos de origem animal e vegetal são extremamente altas, devido, principalmente, à qualidade, ao tipo e ao grau do processamento a que o alimento é submetido (Giacometti, 2002). Um exemplo claro é o do farelo de arroz integral, subproduto do beneficiamento do grão de arroz, que, devido às grandes variações na sua composição, assume valores diferentes de energia metabolizável.

A Embrapa (1991) publicou valor de energia metabolizável do farelo de arroz integral de 2.518 kcal/kg. Este valor está próximo ao encontrado por Conte (2000), de 2.534 kcal/kg, entretanto, superior ao descrito por Rostagno et al. (2000), que é de 2.453 kcal/kg. Albino (1991) mostra valor ainda maior, de 2.860 kcal/kg, próximo ao encontrado por Giacometti (2002), de 2.897 kcal/kg e o NRC (1994) descreve valor de 2.990 kcal/kg na matéria natural.

Segundo Albino (1991), a composição de subprodutos industriais pode variar em função do processamento, da falta de padronização e de uma fiscalização mais eficiente. Por isso, a disparidade dos resultados pode ser muito maior, principalmente quando se comparam valores nutritivos de subprodutos

com tabelas estrangeiras, o que pode provocar erros grosseiros na elaboração das razões.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para atender aos objetivos definidos neste trabalho, cinco ensaios de metabolismo foram realizados utilizando-se frangos intactos em crescimento e galos adultos cecectomizados. Dois ensaios, I e III, foram conduzidos com frangos intactos em crescimento utilizando-se a metodologia de coleta total das excretas de cada parcela experimental, com 5 e 3 dias de coleta, respectivamente, e o uso de óxido crômico como indicador. Entretanto, para a realização dos cálculos foram utilizados somente os valores do óxido crômico. Por meio desta metodologia, obtiveram-se coeficientes de digestibilidade aparente dos nutrientes e valores de energia metabolizável aparente.

Um ensaio, II, também foi conduzido com frangos em crescimento utilizando-se a metodologia da coleta de digesta no íleo e o uso de óxido crômico como indicador. Por meio desta metodologia, obtiveram-se coeficientes de digestibilidade ileal aparente de nutrientes e valores de energia digestível ileal aparente.

Os outros dois ensaios, IV e V, foram conduzidos com galos adultos, cecectomizados, empregando-se a metodologia de Sibbald (1976), também conhecida como alimentação forçada. O ensaio IV foi usado para avaliar as rações experimentais e o ensaio V para avaliar os alimentos utilizados. Por meio desta metodologia, foram obtidos os coeficientes de digestibilidade verdadeira de nutrientes e os valores de energia metabolizável verdadeira.

3.1 Localização, instalações e manejo

Os experimentos foram realizados no setor de avicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras, município de Lavras, estado de Minas Gerais, entre os meses de dezembro de 2001 e agosto de 2002.

Nos três primeiros experimentos, em cada um deles, foram utilizados 180 pintos machos, adquiridos com um dia de idade, vacinados contra doença de Marek e bouba aviária. Nos dois últimos experimentos foram utilizados galos adultos cecectomizados com peso médio de 2.382 ± 415 gramas, criados e mantidos pelo Departamento de Zootecnia da UFLA.

Os pintos foram alojados em galpão experimental de alvenaria durante as duas primeiras semanas de idade. Após esse período, foram devidamente pesados e alojados em gaiolas metálicas de conjunto de baterias em uma sala de metabolismo com temperatura ambiente controlada para $22 \pm 1^\circ\text{C}$, sendo iluminadas por lâmpadas fluorescentes de 20 watts que permaneceram acesas durante a noite.

Na sala de metabolismo, as aves foram distribuídas em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3×2 , para avaliar três tipos de dietas (milho/farelo de soja, milho/farelo de soja/farelo de arroz integral e milho/farelo de soja/farelo de arroz desengordurado) com ou sem adição de 1.000 FTU de fitase. Cinco frangos foram alojados por gaiola, com 6 repetições e 6 rações experimentais, totalizando 36 parcelas. As gaiolas (50cm x 50cm x 50cm) estavam equipadas com comedouro tipo calha, bebedouro para pintos e bandejas para coleta das excretas.

Durante o ensaio, as quantidades de ração ingerida foram registradas por unidade experimental e realizada a coleta total das excretas, sendo assim determinada a quantidade de ração consumida e de excreta produzida. Como

indicador foi adicionado 0,5% de óxido crômico nas rações. Sob as gaiolas foram colocadas bandejas revestidas com lona preta resistente para coleta das fezes.

O material coletado foi acondicionado em sacos plásticos, identificados por repetição e armazenado em “freezer” até o final do período de coleta. As excretas, após este período, foram descongeladas à temperatura ambiente, pesadas e homogeneizadas por repetição, sendo retirada uma alíquota de aproximadamente 300 gramas para pré-secagem em estufa de ventilação forçada a 55°C por 72 horas e posterior determinação da amostra seca ao ar. As amostras, em seguida, foram moídas, acondicionadas em potes plásticos, identificadas e levadas ao laboratório junto com as amostras dos ingredientes e das dietas experimentais para posterior determinação da concentração de cromo, matéria seca, energia bruta, nitrogênio, extrato etéreo, amido e fibra em detergente neutro.

A ração e a água foram fornecidas à vontade com o suprimento do alimento realizado duas vezes ao dia. As rações, antes do início do experimento, foram pesadas e distribuídas em baldes que permaneceram sob a gaiola para fornecimento nos seus respectivos tratamentos. Para distribuição, as rações foram pesadas em balança digital com capacidade para 7,5 kg e precisão de 5 gramas.

3.2 Dietas referências e dietas testes

Para a determinação dos valores energéticos e dos coeficientes de digestibilidade dos nutrientes contidos nas rações e nos alimentos, com adição ou não da enzima fitase, foram usadas duas dietas referências e quatro dietas testes. Como dietas referências utilizou-se uma ração farelada, à base de milho e farelo de soja, com dois níveis (0,00 e 400g/t) de enzimas na dieta, o que

corresponde a 1.000 FTU/kg de fitase, sendo esta quantidade o nível mais elevado de recomendação pelo fabricante das enzimas. De cada 100 kg da dieta referência foram retirados 30 kg e substituídos por 30 kg de farelo de arroz integral e/ou 30 kg de farelo de arroz desengordurado, constituindo-se assim as dietas testes, também compostas de dois níveis (0,00 e 400g/t) de enzimas. A enzima utilizada possui nome comercial de Ronozyme P, sendo derivada de *Peniophora lycii* com atividade determinada pelo fabricante de 2.500 FTU/g. Para utilização de 1.000 FTU de fitase/kg foram utilizados 40 gramas de enzima para cada 100 kg de ração processada.

As dietas referências e as dietas testes utilizadas foram as seguintes:

1. milho e farelo de soja com adição de fitase (dieta referência 1);
2. milho e farelo de soja sem adição de fitase (dieta referência 2);
3. 70% da dieta referência 1 + 30% de farelo de arroz integral (FAI) - (teste);
4. 70% da dieta referência 2 + 30% de FAI (teste);
5. 70% da dieta referência 1 + 30% de farelo de arroz desengordurado (FAD) - (teste);
6. 70% da dieta referência 2 + 30% de FAD (teste).

As rações foram processadas no setor de fabricação de rações do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras, em misturador vertical com capacidade para 500 kg. As misturas de micronutrientes e dos farelos de arroz integral e desengordurado foram feitas em misturador duplo cone, com capacidade para 50 kg.

3.3 Composição dos ingredientes e da dieta referência

A composição nutritiva dos principais ingredientes utilizados na dieta referência, suas respectivas quantidades e o valor nutricional calculado estão apresentados nas Tabelas 1 e 2. Na Tabela 3 se encontra a composição nutritiva dos farelos de arroz utilizados nos ensaios e na Tabela 4 a composição da mistura de minerais e vitaminas com o seu respectivo enriquecimento por kg de ração. A dieta referência foi formulada seguindo as exigências nutricionais determinadas por Rostagno et al. (2000) e a orientação do fabricante das enzimas.

TABELA 1. Composição nutritiva dos ingredientes utilizados na dieta referência

Ingredientes	MS %	EM kcal/kg	PB (%)	Ca (%)	Pt (%)	Pd (%)	Na (%)	Met (%)	M + C (%)
Milho moído	87,10	3371	7,72*	0,038*	0,216*	0,08	0,029	0,17	0,37
Farelo de soja	88,10	2266	45,65*	0,248*	0,534*	0,19	0,070	0,65	1,27
Fosfato bicálcico	-	-	-	24,87*	19,73*	-	-	-	-
Óleo de soja	-	8790	-	-	-	-	-	-	-
Calcário calcítico	-	-	-	38,4	-	-	-	-	-
Cloreto de sódio	-	-	-	-	-	-	39,70	-	-

* Analisados no laboratório de Pesquisa Animal do Departamento de Zootecnia da UFLA e os demais retirados das tabelas de Rostagno et al. (2000).

A ração referência (Tabela 2) foi formulada com 0,30% de fósforo disponível, quando, normalmente, na segunda fase da criação, dietas para frangos de corte à base de milho e farelo de soja, formuladas para atender às recomendações de Rostagno et al. (2000), contêm 0,40% de fósforo disponível (não-fítico). Assim, foi criado um ambiente de maior desafio para atuação da enzima, uma vez que a presença de menos fósforo disponível faz com que a enzima hidrolise mais ácido fítico para atender às necessidades nutricionais, considerando-se, portanto, que ela libera fósforo fítico suficiente para a redução desse percentual.

O ingrediente denominado inerte foi adicionado durante o processamento dessa ração de acordo com os níveis utilizados de enzimas, sendo usadas percentagens de enzimas e/ou caulim e/ou óxido crômico.

TABELA 2. Composição da dieta referência e valores nutricionais utilizados

Ingredientes	%
Milho triturado	63,925
Farelo de soja	29,628
Fosfato bicálcico	1,040
Óleo vegetal	2,788
Calcário calcítico	1,307
Cloreto de sódio	0,399
DL-metionina	0,213
Premix mineral	0,050
Premix vitamínico	0,050
Inerte	0,600
TOTAL	100,00
COMPOSIÇÃO	
Energia metabolizável (kcal/kg)	3.100
Proteína bruta	19,300
Cálcio	0,874
Fósforo disponível	0,300
Lisina	1,156
Cloreto de sódio	0,192
Metionina	0,512
Metionina + cistina	0,825

Rostagno et al. (2000).

TABELA 3. Composição nutritiva dos farelos de arroz integral e desengordurado utilizados nos ensaios (na matéria seca), e valores descritos por Rostagno et al (2000), na matéria natural.

Ingredientes (%)	Ensaaios *		Rostagno et al (2000)	
	FAI	FAD	FAI	FAD
Matéria seca	89,07	90,83	89,6	89,6
Proteína bruta	15,23	17,75	13,21	15,5
Extrato etéreo	17,52	1,01	13,51	1,65
Amido	23,94	30,70	-	-
Fibra em detergente neutro	23,31	28,32	21,40	24,30
Fósforo	1,73	2,31	1,61	1,81
Energia bruta	4.182	3.311	4.396	3.740
Energia metabolizável (kcal/kg)	2.541	1.955	2.453	1.808

* Analisados no laboratório de Pesquisa Animal do Departamento de Zootecnia da UFLA.

3.4 Análises laboratoriais

As análises bromatológicas foram realizadas no Laboratório de Pesquisa Animal do Departamento de Zootecnia da UFLA, analisando-se os ingredientes, as rações e as excretas das aves. A análise do amido foi realizada no Departamento de Ciência dos Alimentos da UFLA, conforme metodologias descritas por Silva (2002).

Foram mensurados os valores de energia bruta em bomba calorimétrica adiabática modelo Parr 1261; o nitrogênio, pelo método Kjeldahl; a matéria seca, amido, extrato etéreo, fibra em detergente neutro e cromo, conforme metodologias descritas por Silva (2002). As análises de energia bruta e amido

foram realizadas em duplicata; a do extrato etéreo e fibra em detergente neutro em triplicata e a de nitrogênio em quadruplicata.

TABELA 4. Composição da mistura de minerais e vitaminas¹

INGREDIENTES	UNID.	ENRIQUECIMENTO	
		Por kg do produto	Por kg de ração
Cobre	(mg)	18.000	9
Ferro	(mg)	60.000	30
Iodo	(mg)	2.000	1
Manganês	(mg)	120.000	60
Zinco	(mg)	120.000	60
Vitamina A	(UI)	30.000.000	15.000
Vitamina D ₃	(UI)	6.000.000	3.000
Vitamina E	(mg)	60.000	30
Vitamina K ₃	(mg)	8.000	4
Vitamina B ₁	(mg)	6.000	3
Vitamina B ₂	(mg)	12.000	6
Vitamina B ₆	(mg)	12.000	6
Vitamina B ₁₂	(µg)	60.000	30
Vitamina C	(mg)	100.000	50
Ácido fólico	(mg)	3.000	1,5
Ácido pantotênico	(mg)	30.000	1,5
Biotina	(mg)	240	0,12
Niacina	(mg)	80.000	40

¹ Vaccinar Indústria e Comércio Ltda.

3.5 Ensaio de digestibilidade

A determinação dos valores de energia bruta e dos coeficientes de digestibilidade da matéria seca, proteína bruta, amido, extrato etéreo e fibra em detergente neutro foi realizada utilizando cinco ensaios de metabolismo. Os ensaios I e III foram conduzidos com frangos intactos em crescimento, utilizando a metodologia de coleta total das excretas de cada parcela experimental e uso de óxido crômico como indicador. Entretanto, para a realização dos cálculos foram utilizados somente os valores do óxido crômico. Durante a realização dos cálculos utilizados para encontrar os valores de energia e os coeficientes de digestibilidade dos nutrientes, as dietas testes utilizadas foram todas calculadas usando como base 70% das dietas referências e 30% dos valores dos nutrientes contidos em cada alimento, conforme descrito na tabela de Rostagno et al. (2000).

Os ensaios foram independentes, mas, para apresentação do item relacionado aos resultados e discussão os valores das análises de variâncias determinados por meio desses ensaios de metabolismo, foram apresentados na mesma tabela e discutidos simultaneamente.

3.5.1 Ensaio 1 - Metodologia com frangos intactos - 5 dias

Neste ensaio foram utilizados 180 pintos machos, da linhagem Ross, criados em galpão de alvenaria até o 18º dia de idade, quando foram pesados (606 ± 57 gramas) e transferidos para as baterias da sala de metabolismo, permanecendo aí até o 28º dia. As aves foram distribuídas em um delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 3 x 2 para avaliar três tipos de dietas (milho/farelo de soja, milho/farelo de soja/farelo de arroz integral e milho/farelo de soja/farelo de arroz desengordurado) com ou sem adição de

1.000 FTU de fitase, por ser o nível mais elevado de recomendação pelo fabricante das enzimas.

Foi adicionado 0,5% de óxido crômico como indicador de indigestibilidade nas rações, o que permite estabelecer as relações entre a quantidade de matéria seca consumida e a excretada, calculada com base na concentração de cromo na ração e nas excretas.

O período experimental constituiu-se de cinco dias para a adaptação às rações e às gaiolas, e mais cinco dias para a coleta total das excretas, realizadas no início da manhã e no final da tarde, para evitar fermentações. As excretas coletadas foram congeladas e submetidas aos procedimentos de secagem, moagem e armazenagem, descritos no item 3.1 (manejo).

De acordo com os resultados laboratoriais obtidos, foram calculados os valores de energia metabolizável aparente corrigida pelo N retido (EMAn), e os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca, proteína bruta, extrato etéreo, amido, fibra em detergente neutro e energia bruta.

As equações para obter os cálculos de energia metabolizável aparente corrigida (EMAn) foram:

$$\mathbf{EMA \text{ (kcal/kgMS)} = EB \text{ da dieta} - (EB \text{ da excreta} * FI \text{ da excreta)}$$

$$\mathbf{EMAn \text{ (kcal/kgMS)} = EB \text{ da dieta} - [(EB \text{ da excreta} * FI \text{ da excreta}) + 8,22 * (BN)]}$$

$$\mathbf{BN = N \text{ da dieta} - (N \text{ da excreta} * FI \text{ da excreta)}$$

Em que: $FI = [Cr] \text{ na dieta} / [Cr] \text{ na excreta}$

Os coeficientes de digestibilidade aparente (%) dos nutrientes (CDAN): matéria seca, proteína bruta, extrato etéreo, amido, fibra em detergente neutro e da energia bruta foram determinados pela fórmula:

$$\text{CDAN} = (\text{nutriente na dieta} - (\text{nutriente na excreta} * \text{FI}) / \text{nutriente na dieta}) * 100$$

Os valores de proteína digestível aparente (PDA) foram calculados da seguinte maneira:

$$\text{PDA} = \text{CDPB} \times \text{PBMS da ração}$$

As fórmulas propostas por Matterson et al. (1965) e utilizadas nos cálculos dos valores energéticos dos alimentos e dos valores de digestibilidade dos nutrientes contidos nos mesmos foram:

$$\text{EMA do alimento (kcal/kg MS)} = \text{EMA}_{\text{RR}} + (\text{EMA}_{\text{RT}} - \text{EMA}_{\text{RR}}) / \text{g alimento/g ração.}$$

$$\text{EMAn do alimento (kcal/kg MS)} = \text{EMAn}_{\text{RR}} + (\text{EMAn}_{\text{RT}} - \text{EMAn}_{\text{RR}}) / \text{g alimento/g ração.}$$

$$\text{CDAN do alimento (kcal/kg MS)} = \% \text{ do nutriente no alimento}_{\text{RR}} + (\% \text{ do nutriente no alimento}_{\text{RT}} - \% \text{ nutriente no alimento}_{\text{RR}}) / \text{g alimento/g ração.}$$

3.5.2 Ensaio 2 - Metodologia de coleta de digesta no íleo em frangos

Foram utilizados os 180 frangos de corte do ensaio 1, com o mesmo delineamento experimental. Após o final da coleta total das excretas (24-28 dias), todas as aves foram abatidas por deslocamento cervical (29 dias de idade), sendo retirado o conteúdo intestinal de 30 cm do segmento do íleo localizado

entre o divertículo de Meckel's e a junção ileocecal. O íleo foi seccionado transversalmente e seu conteúdo retirado e colocado em pote plástico.

As aves antes do abate foram estimuladas a consumir ração para evitar que a região de coleta da digesta apresentasse pouco conteúdo intestinal ou muito líquido.

A digesta coletada foi congelada e submetida aos procedimentos de secagem, moagem e armazenagem semelhantes aos descritos no item 3.1 (manejo). Em seguida, foi encaminhada ao laboratório junto com as amostras dos alimentos e das rações experimentais, para determinação da concentração de cromo, matéria seca, energia bruta, nitrogênio, extrato etéreo, amido e fibra em detergente neutro.

De acordo com os resultados laboratoriais obtidos, foram calculados os valores de energia digestível ileal (EDIleal kcal/kg) e os coeficientes de digestibilidade ileal aparente (%) da matéria seca, proteína bruta, extrato etéreo, amido, fibra em detergente neutro e energia bruta.

A equações para obter o cálculo da energia digestível ileal (EDIleal kcal/kg) foi:

$$\text{EDIleal (kcal/kgMS)} = \text{EB da dieta} - (\text{EB da digesta ileal} * \text{FI da digesta ileal}).$$

$$\text{Em que: FI} = [\text{Cr}] \text{ na dieta} / [\text{Cr}] \text{ na digesta ileal}.$$

Os coeficientes de digestibilidade ileal (%) dos nutrientes (CDIN): matéria seca, proteína bruta, extrato etéreo, amido, fibra em detergente neutro e da energia bruta foram determinadas pela fórmula:

$$\text{CDIN} = \text{nutriente na dieta} - (\text{nutriente na digesta} * \text{FI}) / \text{nutriente na dieta} * 100$$

Os valores de proteína digestível ileal (PD_{Ileal}) foram calculados da seguinte maneira:

PD_{Ileal} = CDPB x PBMS da ração.

As fórmulas propostas por Matterson et al. (1965) e utilizadas nos cálculos dos valores energéticos dos alimentos e dos valores de digestibilidade dos nutrientes contidos nos mesmos foram:

ED_{Ileal} do alimento (kcal/kg MS) = ED_{I_{RR}} + (ED_{Ileal_{RT}} - ED_{I_{RR}})/g alimento/g ração.

CD_{Ileal} do alimento (kcal/kg MS) = % nutriente no alimento_{RR} + (% nutriente no alimento_{RT} - % nutriente no alimento_{RR})/g alimento/g ração.

3.5.3 Ensaio 3 - Metodologia com frangos intactos - 3 dias

Neste ensaio foram utilizados 180 pintos machos, da linhagem Hubbard, criados em galpão de alvenaria até o 26º dia de idade, quando foram pesados (1065 ± 97 gramas) e transferidos para as baterias da sala de metabolismo, permanecendo aí até o 33º dia. As aves foram distribuídas em um delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 3 x 2, para avaliar três tipos de dietas (milho/farelo de soja, milho/farelo de soja/farelo de arroz integral e milho/farelo de soja/farelo de arroz desengordurado) com ou sem adição de 1.000 FTU de fitase. Como indicador, foi adicionado 0,5% de óxido crômico nas rações.

O período experimental constituiu-se de cinco dias para a adaptação às rações e às gaiolas, e mais três dias para a coleta total das excretas, realizadas diariamente em intervalos de 24 horas. As excretas coletadas foram congeladas e

submetidas aos procedimentos de secagem, moagem e armazenagem, descritos no item 3.1 (manejo).

Para a realização dos cálculos de EMAn e dos coeficientes de digestibilidade dos nutrientes contidos nas rações e nos alimentos foram utilizadas metodologias semelhantes as descritas no ensaio 1, item 3.5.1.

3.5.4 Ensaio 4 - Metodologia de Sibbald, com galos cecectomizados para avaliar as rações

Neste ensaio foi utilizada a metodologia de alimentação forçada adaptada por Sibbald (1976), usando 36 galos adultos cecectomizados distribuídos em delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial 3 x 2 para avaliar três tipos de rações (milho/farelo de soja, milho/farelo de soja/farelo de arroz integral e milho/farelo de soja/farelo de arroz desengordurado) com ou sem adição de 1.000 FTU de fitase.

Seis repetições de 1 galo da linhagem Leghorn foram utilizadas como unidade experimental, sendo alojada uma ave por gaiola, com peso médio de 2.382 ± 415 gramas.

Os galos, antes da ingestão forçada do alimento, foram submetidos a um jejum de 24 horas para o esvaziamento do trato gastrointestinal. Após este período, foram forçados a ingerir 30 gramas do alimento de uma única vez, com auxílio de um funil-sonda, de dimensões e características próprias (Sibbald, 1976), introduzido por via oral até o papo da ave. Simultaneamente, 6 galos permaneceram em jejum (48 horas) para coleta das excretas, oriundas da produção endógena e metabólica. A água foi fornecida à vontade.

A coleta das excretas foi realizada em intervalos de 24 horas, em bandejas revestidas com lona preta resistente, colocadas sob o piso da gaiola de

cada galo, de modo a individualizar o material e evitar perdas. A coleta aconteceu por um período de 48 horas após o fornecimento do alimento. As excretas coletadas foram congeladas e submetidas aos procedimentos de secagem, moagem e armazenagem descritos no item 3.1 (manejo), sendo encaminhadas ao laboratório junto com as amostras dos alimentos usados nos ensaios, para determinação da matéria seca, energia bruta, nitrogênio, extrato etéreo, amido e fibra em detergente neutro.

De acordo com os resultados laboratoriais obtidos, foram calculados os valores de energia metabolizável verdadeira corrigida (EMVn) e os coeficientes de digestibilidade verdadeira da matéria seca, proteína bruta, extrato etéreo, amido, fibra em detergente neutro e da energia bruta.

As equações para obter o cálculo de energia metabolizável verdadeira corrigida (EMVn) foi:

$$\text{EMV (kcal/kgMS)} = \text{EB da dieta} - (\text{EB da excreta} - \text{EB endógena})/\text{MS da dieta}.$$

$$\text{EMVn (kcal/kgMS)} = \text{EB dieta} - (\text{EB excreta} - \text{EB endógena}) + 8,22*\text{BNV}/\text{MS dieta}.$$

Em que: Balanço de N verdadeiro = N da dieta - (N da excreta - N endógeno)

Os coeficientes de digestibilidade verdadeira (%) dos nutrientes (CDVN): matéria seca, proteína bruta, extrato etéreo, amido, fibra em detergente neutro e da energia bruta foram determinados pela fórmula:

$$\text{CDVN} = (\text{nutriente dieta} - (\text{nutriente excreta} - \text{nutriente endógeno})/\text{nutriente dieta}) * 100$$

Os valores de proteína digestível verdadeira (PDV) foram calculados da seguinte maneira:

PDV = CDPB x PBMS da ração.

As fórmulas propostas por Matterson et al. (1965) e utilizadas nos cálculos dos valores energéticos dos alimentos e dos valores de digestibilidade dos nutrientes contidos nos mesmos foram:

EMV do alimento (kcal/kg MS) = $EMV_{RR} + (EMV_{RT} - EMV_{RR})/g$ alimento/g ração.

EMVn do alimento (kcal/kg MS) = $EMV_{nRR} + (EMV_{nRT} - EMV_{nRR})/g$ alimento/g ração.

CDVN do alimento (kcal/kg MS) = % nutriente no alimento_{RR} + (% nutriente no alimento_{RT} - % nutriente no alimento_{RR})/g alimento/g ração.

3.5.5 Ensaio 5 - Metodologia de Sibbald, com galos cecectomizados para avaliar os alimentos

Neste ensaio, também foi utilizada a metodologia de alimentação forçada, adaptada por Sibbald (1976). Vinte e quatro galos adultos cecectomizados foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado para avaliar os ingredientes das rações (milho moído/farelo de soja/farelo de arroz integral e farelo de arroz desengordurado).

Seis repetições de 1 galo foram utilizadas como unidade experimental, sendo alojado um galo por gaiola.

Para a ingestão de alimentos e a coleta das excretas foi utilizada a mesma metodologia do ensaio 4 descrita no item 3.5.4. Os cálculos dos valores

energéticos dos alimentos e dos valores de digestibilidade dos nutrientes contidos nos mesmos foram realizados de forma direta, ou seja, sem o uso das equações propostas por Matterson et al. (1965).

3.6 Delineamento experimental e análise estatística

Os ensaios usados para avaliar as rações experimentais foram conduzidos em um delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial 3 x 2 para avaliar 3 tipos de rações (à base de milho e farelos de soja, de arroz integral e desengordurado) com ou sem adição de enzima. Os valores de digestibilidade dos alimentos utilizados nas rações foram calculados usando a metodologia de substituição de ingredientes propostas por Matterson et al. (1965), sendo analisados em arranjo fatorial 2 x 2 para avaliar 2 alimentos (farelo de arroz integral e desengordurado) com e sem adição de enzima. O ensaio em que se utilizou a metodologia de Sibbald (direto) para avaliar os ingredientes puros serviu para comparações de valores com os encontrados no ensaio (indireto) em que foi utilizada a metodologia de substituição de ingredientes, propostas por Matterson et al. (1965). Nestes ensaios foram utilizadas seis repetições e o número de aves por unidade experimental foi de acordo com o ensaio de digestibilidade realizado.

As análises estatísticas dos dados foram realizadas utilizando-se o pacote computacional SAEG, Sistema para Análises Estatísticas, versão 5.0, segundo Euclides (1993). Nas análises dos dados das rações, os parâmetros que apresentaram, na análise de variância, valores de F significativos ($P < 0,05$) foi aplicado o teste de Student-Newman-Keuls (SNK) para as comparações entre as médias. Nas análises dos dados dos alimentos utilizados nas rações e obtidos pela metodologia de substituição, foi aplicado o teste de F ($P < 0,05$) para comparações das médias.

Para as rações, foram realizadas as análises conforme o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + Z_j + (R * Z)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} = valor observado correspondente ao efeito da dieta i e da enzima j na repetição k ;

μ = constante associada a todas as observações;

R_i = efeito da ração i , com $i = 1, 2, 3$;

Z_j = efeito da enzima j , com $j = 1, 2$;

$(R \times Z)_{ij}$ = efeito da interação da ração i e enzima j ;

ε_{ijk} = erro experimental associado à observação Y_{ijk} .

Para os alimentos, foram realizadas as análises conforme o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + Z_j + (A * Z)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} = valor observado correspondente ao efeito do alimento i e da enzima j na repetição k ;

μ = constante associada a todas as observações;

A_i = efeito do alimento i , com $i = 1, 2$;

Z_j = efeito da enzima j , com $j = 1, 2$;

$(A \times Z)_{ij}$ = efeito da interação da dieta i e enzima j

ε_{ijk} = erro experimental associado à observação Y_{ijk} .

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Coeficientes de digestibilidade da matéria seca

4.1.1 Rações

Os valores dos coeficientes de digestibilidade da matéria seca (%) das rações, obtidos por meio dos diferentes ensaios de metabolismo, são apresentados na Tabela 5 e as análises das variâncias encontram-se na Tabela 1A do Anexo.

Os resultados das análises das variâncias demonstraram que não houve interação significativa ($P > 0,05$) entre os fatores avaliados (R x Z) em nenhum dos ensaios realizados.

De maneira geral, em todos os ensaios a análise de variância demonstrou diferenças ($P < 0,05$) significativas entre as médias avaliadas. A enzima fitase melhorou a digestibilidade da matéria seca em todas as rações e, independente da adição ou não da fitase, a ração à base de milho e farelo de soja apresentou maior coeficiente de digestibilidade quando comparada as demais rações.

Estes resultados são coerentes, uma vez que rações contendo milho e farelo de soja apresentam menores quantidade de fatores antinutricionais, do que aquelas contendo 30% de farelo de arroz, demonstrando que houve maior aproveitamento dos nutrientes pelo organismo das aves alimentadas com estas rações. Por outro lado, estes resultados demonstram o efeito benéfico da enzima fitase sobre a hidrólise do ácido fítico, liberando nutrientes e enzimas endógenas complexadas, aumentando assim a digestibilidade dos nutrientes nas rações para frangos.

TABELA 5. Médias dos coeficientes de digestibilidade aparente e verdadeira da matéria seca das rações, determinadas pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr₂O₃ (3 dias), Cr₂O₃ (5 dias) e Sibbald

Rações	Coeficientes de digestibilidade *			
	Ileal	Cr ₂ O ₃ - 3 dias	Cr ₂ O ₃ - 5 dias	Sibbald
Milho + soja	84,15 A	83,12 A	83,77 A	79,42 A
Milho + soja +FAI	81,06 B	76,05 B	76,52 B	76,33 B
Milho + soja +FAD	80,45 C	72,40 C	71,92 C	69,43 C
Fitase**				
0	81,51 b	76,68 b	76,95 b	74,42 b
1000	82,26 a	78,30 a	77,85 a	76,00 a
Erro padrão	0,30	0,80	0,84	0,77
CV %	0,73	1,55	1,28	2,03

*Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de SNK.

**Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de F.

Estas observações também confirmam as descrições de Cousins (1999) de que a suplementação de enzimas exógenas nas rações pode auxiliar o sistema enzimático endógeno ou fornecer enzimas que não estão presentes no sistema digestivo do animal, favorecendo uma maior digestibilidade de nutrientes.

Observa-se que o coeficiente de variação (CV%) apresentou baixos valores, o que é esperado para os ensaios de metabolismo, demonstrando que as médias não variaram muito em torno da média geral de digestibilidade da matéria seca das rações.

Mesmo não sendo o objetivo do trabalho, verificou-se que, numericamente, nos ensaios de digestibilidade com frangos intactos em

crescimento (3 e 5 dias), os dias de coleta não influenciaram sobre a digestibilidade da matéria seca, demonstrando que estes dias podem ser reduzidos. Estas observações estão de acordo com as encontradas por Martinez (2002).

Melhoras nos coeficientes de digestibilidade da matéria seca, semelhantes às verificadas nestes ensaios, também foram observadas por Yi et al. (1996a) em ensaios de digestibilidade aparente em frangos e perus, utilizando esta mesma enzima e dieta à base de milho e farelo de soja. Resultados semelhantes, porém superiores (89,20% e 88,89%) aos encontrados nestes ensaios, foram observados por Zanini (1997), usando a mesma enzima (0 e 500 FTU) adicionada a rações à base de milho e farelo de soja em ensaios de digestibilidade aparente, em frangos.

Ravindran et al. (2000), observando o efeito da fitase e a adição do farelo de arroz em dietas a base de trigo, sorgo e soja, observaram que a digestibilidade ileal da matéria seca em frangos foi influenciada pela adição de 400 FTU de fitase. Tejedor (2000), usando a mesma enzima e rações à base de milho e farelo de soja, observou melhoras significativas, encontrando percentuais de digestibilidade ileal de 69,38% e 65,93%, com e sem adição de enzimas, respectivamente.

Incrementos nos coeficientes de digestibilidade da matéria seca, semelhantes às verificadas nestes ensaios, também foram observadas por Schoulten (2002), trabalhando com digestibilidade ileal aparente e adição de 0,5% de óxido crômico em rações para frangos aos 42 dias de idade. Este autor utilizou dois níveis (10% e 20%) de farelos de arroz integral e observou que a adição de 900 FTU de fitase e o aumento dos níveis da enzima xilanase elevaram de maneira linear ($P < 0,05$) o coeficiente de digestibilidade da matéria seca da ração para os dois níveis de farelos de arroz utilizados, encontrando

valores entre 72,3% e 77,9%, sendo, portanto, inferiores aos observados nestes ensaios. Em outro experimento, este autor, trabalhando com digestibilidade ileal aparente em frangos aos 42 dias de idade, utilizando 4 níveis (6%,12%,18% e 24%) de farelos de arroz integral, observou que 900 FTU de fitase e a adição de 400g de xilanase por tonelada de ração melhoraram ($P<0,05$) a média do coeficiente de digestibilidade da matéria seca da ração quando comparada àquela sem xilanase. Foram encontrados valores entre 73,7% e 77,7%, também inferiores aos observados nestes ensaios.

Ao compararem-se valores de digestibilidade na literatura, observa-se que resultados semelhantes também foram encontrados por Silva & Smithard (1996). Estes autores, trabalhando com dietas à base de centeio e farelo de soja, com adição de um complexo enzimáticos em frangos machos, aos 28 dias de idade, obtiveram valores entre 60% e 69,7%. Os resultados encontrados neste ensaio também são coerentes com os observados por Ouhida et al. (2000), que verificaram melhora na digestibilidade da matéria seca em rações à base de milho, trigo e cevada e o uso de um complexo enzimático para frangos, aos 21 e 42 dias de idade.

Rodrigues et al. (2003) trabalharam com digestibilidade ileal em dietas à base de milho e farelo de soja para frangos, formuladas com milhos de várias regiões com ou sem adição de um complexo enzimático. Estes autores verificaram diferenças significativas ($P<0,05$) na digestibilidade da matéria seca, em média 74,12% e 75,34%. Estes percentuais são inferiores ao encontrado neste ensaio, porém, superiores aos obtidos por Zanella (1998), usando a mesma ração e enzima em ensaio de digestibilidade ileal, com média de 64,45%.

Trabalhando com rações à base de milho e farelo de soja para frangos utilizando as metodologias de digestibilidade total e coleta total com uso de óxido crômico, Martinez (2002) observou valores de digestibilidade da matéria

seca de 71,3% para o ensaio de digestibilidade total e 75,31% para a metodologia em que utilizou 0,4% de óxido crômico.

4.1.2 Alimentos

As médias dos coeficientes de digestibilidade da matéria seca (%) dos alimentos avaliados, obtidas por meio de quatro ensaios de metabolismo e calculadas pelas fórmulas de substituição do alimento na ração referência, propostas por Matterson et al. (1965), com ou sem adição de fitase, estão apresentadas na Tabela 6. As análises das variâncias encontram-se na Tabela 2A do Anexo.

Os resultados das análises das variâncias demonstraram que não houve interação significativa ($P > 0,05$) entre os fatores avaliados (A x Z) em nenhum dos ensaios realizados.

De maneira geral, observa-se que, nos ensaios em que foi realizada a análise de variância, esta demonstrou diferenças significativas ($P < 0,05$) entre as médias dos alimentos e também entre as médias dos níveis de enzimas. Portanto, os melhores resultados de digestibilidade foram observados para o alimento farelo de arroz integral contendo enzima.

O farelo de arroz integral é constituído de maiores quantidades de nutrientes digestíveis, apresentando assim maiores coeficientes de digestibilidade quando comparado ao desengordurado. A metodologia que mais expressou numericamente as diferenças da constituição dos alimentos foi o ensaio de Sibbald, enquanto o ensaio de digestibilidade ileal apresentou a menor variação entre os alimentos. A metodologia que mais expressou melhoras pela adição da enzima foi o ensaio de digestibilidade com frangos intactos em

crescimento e coleta de 3 dias, enquanto o ensaio de digestibilidade ileal apresentou a menor variação.

TABELA 6. Médias dos coeficientes de digestibilidade aparente e verdadeira da matéria seca, do FAI e FAD, determinadas pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr₂O₃ (3 dias), Cr₂O₃ (5 dias) e Sibbald

Alimento	Coeficientes de digestibilidade				
	Ileal	Cr ₂ O ₃ – 3 dias	Cr ₂ O ₃ - 5 dias	Sibbald - I	Sibbald-D
FAI	72,51 A	59,95 A	59,99 A	69,39 A	61,60
FAD	70,51 B	48,05 B	46,47 B	46,30 B	43,13
Fitase					
0	70,75 b	52,81 b	51,93 b	56,71 b	-
1000	72,27 a	55,09 a	54,13 a	58,99 a	-
Erro padrão	0,40	1,29	1,48	2,47	
CV %	2,23	2,39	3,32	1,28	-

Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de F.

Como se sabe, o processo de extração por solventes ácidos da gordura do farelo de arroz integral, resultando em farelo desengordurado, não melhora o seu valor nutritivo como alimento em rações para frangos, uma vez que os teores de ácido fítico, fibra e sílica aumentam, dificultando ainda mais a digestibilidade dos nutrientes. A literatura consultada informa que o farelo de arroz integral possui, em média, 25% de polissacarídeos não amidícos. Entretanto, Malathi & Devegowda (2001), analisando ingredientes utilizados em rações, observaram, em média, 59,97% de polissacarídeos não amidícos para o farelo de arroz desengordurado. Por outro lado, estes resultados demonstram o efeito benéfico

da enzima fitase sobre a hidrólise do ácido fítico, liberando nutrientes e enzimas endógenas complexadas, aumentando assim a digestibilidade dos nutrientes nas rações para frangos.

Observa-se que o coeficiente de variação (CV%) apresentou baixos valores, o que é esperado para os ensaios de metabolismo, demonstrando que as médias não variaram muito em torno da média geral de digestibilidade da matéria seca do farelo de arroz integral e do desengordurado.

Na Tabela 6 também se encontram os valores médios dos coeficientes de digestibilidade verdadeira da matéria seca (%) do farelo de arroz integral e do desengordurado, obtidos por meio do ensaio de metabolismo de Sibbald com galos, realizados de forma direta, ou seja, sem o uso das equações propostas por Matterson et al. (1965) e sem adição de enzima. Estes resultados podem ser comparados com os valores obtidos no experimento de digestibilidade de Sibbald com galos, realizados de forma indireta, ou seja, com o uso dos cálculos de substituição do alimento na ração referência.

Verifica-se que os valores observados no ensaio de Sibbald indireto se apresentam superiores aos encontrados no ensaio direto, principalmente para o farelo de arroz integral. Isto deve-se, provavelmente, a efeitos nos cálculos de substituição do alimento na ração referência, propostos por Matterson et al. (1965), uma vez que os valores indiretos foram obtidos por tal metodologia.

Incrementos nos valores de digestibilidade da matéria seca do farelo de arroz semelhantes aos encontrados nestes ensaios também foram observados por Farrel & Martin (1998). Trabalhando com um complexo enzimático contendo 170 FTU de fitase, estes autores encontraram valores bem inferiores (16,1% e 17,9%) aos observados nestes ensaios.

Martin & Farrel (1998) trabalharam com farelo de arroz incluído em rações à base de sorgo e trigo em percentagens de 0 e 400g/kg, em frangos

machos, aos 23 dias de idade e usando complexo enzimático. Os autores obtiveram melhoras significativas para o fator enzima e valores de digestibilidade da matéria seca entre 28,7% e 31,3%, portanto, também inferiores aos observados nestes ensaios.

Comparando-se os valores encontrados na literatura, observa-se que os coeficientes de digestibilidade da matéria seca próximos aos encontrados nestes ensaios, com relação ao farelo de arroz integral, foram relatados por Giacometti (2002) em digestibilidade aparente. Este autor observou médias entre 57,20% e 59,25%, com e sem adição de enzima, respectivamente, mesmo o autor não encontrando diferenças significativas ($P < 0,05$) para a enzima. Esses resultados são superiores aos obtidos por Warren et al. (1990) que, trabalhando com digestibilidade aparente para avaliar duas variedades de farelo de arroz integral na alimentação de frangos de corte, observaram valores de 41,8% e 46,8%.

Entretanto, na literatura consultada não foram encontrados valores de coeficientes de digestibilidade ileal e nem aparente da matéria seca, do farelo de arroz desengordurado em frangos e também coeficientes de digestibilidade verdadeira da matéria seca com galos, utilizando-se farelo de arroz integral nem o desengordurado.

4.2 Coeficientes de digestibilidade da proteína bruta

4.2.1 Rações

Os valores dos coeficientes de digestibilidade da proteína bruta (%) das rações, obtidos por meio dos diferentes ensaios de metabolismo, são apresentados na Tabela 7 e as análises das variâncias encontram-se na Tabela 3A do Anexo.

Os resultados das análises das variâncias demonstraram que não houve interação significativa ($P > 0,05$) entre os fatores avaliados (R x Z) em nenhum dos ensaios realizados.

TABELA 7. Médias dos coeficientes de digestibilidade aparente e verdadeira da proteína bruta das rações (na matéria seca), determinadas pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr_2O_3 (3 dias), Cr_2O_3 (5 dias) e Sibbald

Rações	Coeficientes de digestibilidade*			
	Ileal	Cr_2O_3 - 3 dias	Cr_2O_3 - 5 dias	Sibbald
Milho + soja	60,31 A	64,19 A	64,64 A	71,66 A
Milho + soja +FAI	48,63 C	61,38 B	59,39 B	70,99 A
Milho + soja +FAD	51,54 B	56,57 C	56,23 C	67,60 B
Fitase**				
0	52,92 b	58,77 b	59,43 b	69,51 b
1000	54,06 a	62,64 a	60,74 a	70,65 a
Erro padrão	0,85	0,70	0,63	0,37
CV %	0,51	3,45	2,22	1,64

*Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste de SNK.

**Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste de F.

Verifica-se que, em todos os ensaios, a análise de variância demonstrou diferenças ($P < 0,05$) significativas entre as médias avaliadas, revelando que a enzima fitase melhorou a digestibilidade desse nutriente em todas as rações e que independente da adição ou não da fitase, a ração à base de milho e farelo de

soja apresentou maior coeficiente de digestibilidade quando comparada às demais rações. Estes resultados revelam que estas rações apresentam menores quantidade de fatores antinutricionais do que aquelas contendo 30% de farelo de arroz, demonstrando que houve maior aproveitamento desse nutriente pelas aves alimentadas com estas rações.

As diferenças verificadas nos valores dos coeficientes de digestibilidade da proteína bruta das rações, com e sem enzima, confirmam as observações de Cosgrove (1966), quanto à capacidade do ácido fítico em se ligar às proteínas. Indicam também a habilidade da enzima em liberar nutrientes complexados à molécula, pela hidrólise do fitato, para serem melhor aproveitados pelo organismo da ave (Ravindran et al., 1999).

Verifica-se que, no ensaio de digestibilidade ileal, a ração à base de milho e farelo de soja, contendo 30% de farelo de arroz desengordurado, apresentou maior coeficiente de digestibilidade quando comparada à ração contendo 30% de farelo de arroz integral. Estes resultados podem ser explicados pela maior quantidade de proteína bruta deste alimento, pois o farelo integral possui 13,21% de proteína bruta, enquanto o farelo desengordurado possui 15,5%, em média (Rostagno et al., 2000) e a presença de maior quantidade de proteína pode ter levado à maior digestibilidade da mesma. Outro fator que pode ter contribuído para estes resultados foi a própria metodologia utilizada, uma vez que a atividade da flora microbiana não exerceu nenhuma influência sobre o uso do nitrogênio (este efeito foi detectado apenas neste ensaio).

Observa-se, ainda, que o ensaio de digestibilidade de Sibbald com galos cecectomizados não apresentou diferenças ($P>0,05$) significativas entre as rações à base de milho e farelo de soja e aquelas à base de milho e farelo de soja contendo 30% de farelo de arroz integral, uma vez que foram semelhantes entre si.

Neste ensaio também se verifica uma superioridade numérica em relação às outras metodologias. Essa superioridade pode ser atribuída: a) à idade das aves, uma vez que as excreções endógenas são maiores em galos que em frangos e b) à metodologia utilizada, pois, para a determinação da digestibilidade verdadeira, pelo fator de correção da excreção endógena, determinada com aves em jejum, estas apresentam maiores perdas fecais metabólicas e urinárias endógenas em relação às aves alimentadas normalmente, originando quantidades mais altas de nitrogênio endógeno, as quais resultam em valores mais altos, quando usados nos cálculos dos coeficientes de digestibilidade verdadeira.

Observa-se que o coeficiente de variação (CV%) apresentou baixos valores, demonstrando que as médias não variaram muito em torno da média geral de digestibilidade da proteína bruta das rações.

Resultados semelhantes aos encontrados nestes ensaios, relacionados ao efeito da enzima, também foram observados por Tejedor (2000). Trabalhando com ensaios de digestibilidade ileal em frangos, com dietas à base de milho e farelo de soja e a mesma enzima, este autor encontrou percentuais de 79,05% e 77,23%, com e sem adição de enzimas, respectivamente. Estas observações também estão de acordo com as obtidas por Ravindran & Bryden (1997), usando ensaios de digestibilidade ileal e dietas à base de trigo, sorgo e soja e adição de farelo de arroz.

Melhoras na digestibilidade da proteína bruta foram verificadas por Ravindran et al. (1999) em ensaios de digestibilidade ileal com sementes de oleaginosas e de cereais e adição de 1.200 FTU/kg de fitase; Sebastian et al. (1997), em trabalho com digestibilidade ileal em frangos e suplementação de 600 FTU/kg de fitase e Kies & Schutte (1998), alimentando frangos de corte com níveis adequados de fósforo disponível e a adição de 500 FTU de fitase/kg na ração. A adição de fitase melhora a digestibilidade da proteína de vários

ingredientes das rações e ensaios *in vitro* indicam efeitos positivos dessa suplementação, pois o complexo proteína-ácido fítico é hidrolisado e a ação inibidora do ácido fítico sobre a atividade das enzimas digestivas é reduzida (Rodehutsord, 1998).

Incrementos nos coeficientes de digestibilidade da proteína bruta, semelhantes aos verificados nestes ensaios, também foram observados por Schoulten (2002), trabalhando com digestibilidade ileal aparente e adição de 0,5% de óxido crômico em rações para frangos aos 42 dias de idade. Este autor utilizou dois níveis (10% e 20%) de farelos de arroz integral e observou que a adição de 900 FTU de fitase e o aumento dos níveis da enzima xilanase elevaram de maneira linear ($P<0,05$) o coeficiente de digestibilidade da proteína bruta da ração para os dois níveis de farelos de arroz. Ele encontrou valores entre 68,0% e 76,3%, portanto, superiores aos observados nestes ensaios. Em outro experimento, este mesmo autor trabalhou com digestibilidade ileal aparente em frangos aos 42 dias de idade, utilizando 4 níveis (6%, 12%, 18% e 24%) de farelos de arroz integral. Observou que 900 FTU de fitase e a adição de 400g de xilanase por tonelada de ração melhoraram ($P<0,05$) a média do coeficiente de digestibilidade da proteína bruta da ração quando comparada àquela sem xilanase, encontrando valores entre 73,8 e 77,3%, também superiores aos observados nestes ensaios.

Comparando-se os valores de digestibilidade encontrados na literatura, observa-se que Rodrigues et al. (2003), trabalhando com digestibilidade ileal de dietas à base de milho e farelo de soja para frangos de corte, formuladas com milhos de várias regiões com ou sem adição de complexo enzimático que não continha fitase, verificaram diferenças significativas na digestibilidade da proteína bruta, em média, de 85,12% e 83,56%. Tais resultados são superiores aos encontrados neste ensaio, porém, são semelhantes aos observados por Marsman (1997) com frangos da linhagem Ross, aos 25 dias de idade,

alimentados com rações à base de farelo de soja e o mesmo complexo enzimático, obtendo médias de 85,2% e 83,7% com e sem enzima, respectivamente.

Melhoras na digestibilidade da proteína bruta atribuídas à adição de um complexo enzimático também foram relatadas por Zanella (1998) em ensaios de digestibilidade ileal, obtendo médias de 81,16%. Os resultados destes ensaios também são coerentes com os encontrados anteriormente por Ouhida et al. (2000), em rações à base de milho, trigo e cevada e o uso de um complexo enzimático para frangos aos 21 e 42 dias de idade. Resultados semelhantes também foram observados por Peterson & Aman (1989), citados por Graham & Inberr (1993b) que, trabalhando com dietas à base de trigo e centeio para frangos de corte aos 15 dias de idade, observaram valores de 76% e 70% com e sem adição de enzima, respectivamente.

Albino (1991), trabalhando com rações à base de milho e farelo de soja, sem adição de enzimas, obteve coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta em pintos, com médias de 92,81%, enquanto as mesmas dietas apresentaram médias de digestibilidade verdadeira em galos de 94,87%.

4.2.2 Alimentos

As médias dos coeficientes de digestibilidade da proteína bruta (%) dos alimentos avaliados, obtidas por meio de quatro ensaios de metabolismo e calculados pelas fórmulas de substituição do alimento na ração referência, propostas por Matterson et al. (1965), com e sem adição de fitase, estão apresentadas na Tabela 8. As análises das variâncias encontram-se na Tabela 4A do Anexo.

Os resultados das análises das variâncias demonstraram que não houve interação significativa ($P>0,05$) entre os fatores avaliados (A x Z) em nenhum dos ensaios realizados.

TABELA 8. Médias dos coeficientes de digestibilidade aparente e verdadeira da proteína bruta (na matéria seca), do FAI e FAD, determinadas pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr_2O_3 (3 dias), Cr_2O_3 (5 dias) e Sibbald

Alimento	Coeficientes de digestibilidade				
	Ileal	Cr_2O_3 - 3 dias	Cr_2O_3 - 5 dias	Sibbald - I	Sibbald-D
FAI	21,99 B	54,99 A	46,89 A	69,59 A	71,35
FAD	31,56 A	39,24 B	38,13 B	58,14 B	65,61
Fitase					
0	26,14 b	45,59 b	40,90 b	63,00 a	-
1000	27,41 a	48,63 a	44,02 a	64,73 a	-
Erro padrão	1,01	1,71	1,05	1,34	
CV%	2,15	3,94	3,94	4,35	-

Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente ($P<0,05$) pelo teste de F.

De maneira geral, observa-se que, nos ensaios em que foi realizada a análise de variância, esta demonstrou diferenças significativas ($P<0,05$) entre as médias dos alimentos e também entre as médias dos níveis de enzimas. Assim, os melhores resultados de digestibilidade foram observados para o alimento farelo de arroz integral contendo enzima, exceto para o ensaio de digestibilidade ileal, em que o farelo de arroz desengordurado apresentou maior coeficiente. Este resultado pode ser explicado pela maior quantidade de proteína bruta deste

alimento quando comparado ao farelo de arroz integral, uma vez que nas análises laboratoriais foram observados, em média, 15,23% de proteína bruta para o farelo integral e 17,75% para o farelo de arroz desengordurado. Quanto ao efeito da enzima, estes resultados confirmam as observações de Cosgrove (1966) de que o ácido fítico se liga às proteínas e que a enzima fitase libera enzimas endógenas e nutrientes complexados à molécula desse ácido.

A metodologia que mais expressou numericamente as diferenças da constituição dos alimentos foi o ensaio de digestibilidade ileal, enquanto o ensaio de Sibbald apresentou a menor variação entre os alimentos. A metodologia que mais expressou melhoras pela adição da enzima foi o ensaio de digestibilidade com frangos intactos em crescimento e coleta de 5 dias, enquanto o ensaio de Sibbald apresentou a menor variação.

Observa-se que o coeficiente de variação (CV%) apresentou baixos valores, demonstrando que as médias não variaram muito em torno da média geral de digestibilidade da proteína bruta do farelo de arroz integral e do desengordurado.

Na Tabela 8 também se encontram os valores médios dos coeficientes de digestibilidade verdadeira da proteína bruta (%) do farelo de arroz integral e do desengordurado, obtidos por meio do ensaio de metabolismo de Sibbald com galos, realizados de forma direta, ou seja, sem o uso das equações propostas por Matterson et al. (1965) e sem adição de enzima. Estes resultados podem ser comparados com os valores obtidos no experimento de digestibilidade de Sibbald com galos, realizados de forma indireta, ou seja, com o uso dos cálculos de substituição do alimento na ração referência.

Verifica-se que os valores observados no ensaio de Sibbald direto se apresentam numericamente superiores aos encontrados no ensaio indireto, principalmente para o farelo de arroz desengordurado. Isto se deve,

provavelmente, a efeitos nos cálculos de substituição do alimento na ração referência, propostos por Matterson et al. (1965), uma vez que os valores indiretos foram obtidos por tal metodologia.

Neste ensaio, verifica-se ainda uma superioridade numérica em relação às outras metodologias, que pode ser atribuída à idade das aves, uma vez que as excreções endógenas são maiores em galos que em frangos. Estas observações também podem ser atribuídas à metodologia utilizada, em que a quantidade do consumo de alimentos influencia na digestibilidade. Isso ocorre porque, para a determinação da digestibilidade verdadeira pelo fator de correção da excreção endógena, determinada com aves em jejum, estas apresentam maiores perdas fecais metabólicas e urinárias endógenas em relação às aves alimentadas normalmente. Originam-se, assim, quantidades mais altas de nitrogênio endógeno, as quais resultam em valores mais altos quando usados nos cálculos dos coeficientes de digestibilidade verdadeira.

Comparando-se os valores de digestibilidade na literatura, observa-se que os coeficientes de digestibilidade da proteína bruta semelhantes aos valores encontrados nestes ensaios, do alimento farelo de arroz integral, foram relatados por Giacometti (2002). Este autor, trabalhando com digestibilidade aparente sem o uso de óxido crômico, obteve médias de digestibilidade da proteína de 44,71% e 54,20% com e sem adição de enzima, respectivamente, tendo o autor observado diferenças significativas ($P < 0,05$) para este fator.

Albino (1991), trabalhando com digestibilidade aparente em frangos, sem adição de enzima, obteve valor bem superior aos encontrados nestes ensaios, observando média de 90,90% para a proteína bruta do farelo de arroz integral. Este mesmo autor, trabalhando com digestibilidade verdadeira da proteína bruta com galos intactos, obteve médias de 75,32% para o farelo de arroz integral. Estes valores são altos, porém, considerados normais quando

comparados com os encontrados neste ensaio, uma vez que neste, os galos eram cecectomizados. Estes resultados também podem ser explicados pela composição nutritiva do farelo, devido à qualidade e ao grau do processamento que o alimento foi submetido.

Entretanto, na literatura consultada não foram encontrados coeficientes de digestibilidade ileal, aparente e nem verdadeira, da proteína bruta do farelo de arroz desengordurado.

4.3 Valores de proteína digestível

4.3.1 Rações

Os valores médios de proteína digestível (%) das rações, obtidos por meio dos diferentes ensaios de metabolismo são apresentados na Tabela 9 e as análises das variâncias encontram-se na Tabela 5A do Anexo.

Os resultados das análises das variâncias demonstraram que não houve interação significativa ($P > 0,05$) entre os fatores avaliados ($R \times Z$) em nenhum dos ensaios realizados.

Verifica-se que, em todos os ensaios, a análise de variância demonstrou diferenças ($P < 0,05$) significativas entre as médias avaliadas, revelando que a enzima fitase melhorou os valores da proteína digestível em todas as rações e que, independente da adição ou não da fitase, a ração à base de milho e farelo de soja apresentou maior valor quando comparada as demais rações.

TABELA 9. Valores de proteína digestível aparente e verdadeira das rações (na matéria seca), determinados pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr₂O₃ (3 dias), Cr₂O₃ (5 dias) e Sibbald

Rações	Coeficientes de digestibilidade*			
	Ileal	Cr ₂ O ₃ - 3 dias	Cr ₂ O ₃ - 5 dias	Sibbald
Milho + soja	13,17 A	14,03 A	14,11 A	17,10 A
Milho + soja +FAI	9,57 C	11,94 B	11,68 B	15,57 B
Milho + soja +FAD	10,54 B	12,23 B	11,50 B	14,80 C
Fitase**				
0	10,91 b	12,49 b	12,23 b	15,55 b
1000	11,27 a	12,97 a	12,63 a	16,09 a
Erro padrão	0,26	0,18	0,21	0,18
CV%	0,53	3,90	2,27	1,47

*Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de SNK.

**Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de F.

Estas observações são explicadas pela menor quantidade de fatores antinutricionais nas dietas à base de milho e farelo de soja, do que aquelas rações contendo farelos de arroz. Isto porque o nível de inclusão de 30% de farelos de arroz em dietas normais para frangos é um percentual elevado, devido, principalmente, à alta quantidade de fatores antinutricionais como ácido fítico, fibra e sílica. Quanto ao efeito da enzima fitase, estes resultados indicam sua habilidade em hidrolisar enzimas endógenas e nutrientes complexados à molécula do ácido fítico para serem melhor aproveitados pelo organismo da ave.

Verifica-se que, no ensaio de digestibilidade ileal, a ração à base de milho e farelo de soja, contendo 30% de farelo de arroz desengordurado, apresentou maior média, quando comparada à ração contendo farelo de arroz integral. Estes resultados podem ser explicados pela maior quantidade de proteína digestível deste alimento pois, segundo dados de Rostagno et al. (2000), o farelo de arroz desengordurado possui maior quantidade de proteína digestível que o farelo integral. Este efeito foi detectado apenas neste ensaio. Entretanto, numericamente, este efeito também foi detectado no ensaio de digestibilidade utilizando coleta de 3 dias.

Observa-se, ainda, que, nos ensaios de digestibilidade com frangos intactos em crescimento (3 e 5 dias) não foram detectadas diferenças significativas ($P>0,05$) para todas as médias das rações. Isto porque, aquelas à base de milho e farelo de soja contendo 30% de farelo de arroz integral, quando comparadas com milho e farelo de soja contendo 30% de farelo de arroz desengordurado foram semelhantes entre si, nas duas metodologias utilizadas.

Entretanto, no ensaio em que se utilizou a metodologia de Sibbald com galos cecectomizados, verifica-se uma superioridade numérica em relação às outras metodologias. Esta diferença pode ser atribuída à idade das aves, uma vez que as excreções endógenas são maiores em galos que em frangos. Estas observações também podem ser atribuídas à metodologia utilizada, em que a quantidade do consumo de alimentos influencia na digestibilidade. Isto porque, para a determinação da digestibilidade verdadeira, pelo fator de correção da excreção endógena, determinada com aves em jejum, estas apresentam maiores perdas fecais metabólicas e urinárias endógenas em relação às aves alimentadas normalmente, originando quantidades mais altas de nitrogênio endógeno, as quais resultam em valores mais altos, quando usados nos cálculos dos coeficientes de digestibilidade verdadeira.

Observa-se que o coeficiente de variação (CV%) apresentou baixos valores, demonstrando que as médias não variaram muito em torno da média geral dos valores da proteína digestível das rações.

Comparando-se os valores de proteína digestível na literatura, observa-se que resultados superiores aos encontrados nestes ensaios foram observados por Albino (1991). Este autor, trabalhando com rações à base de milho e farelo de soja com valor de proteína bruta calculado em 21,68%, sem adição de enzima, obteve médias da proteína digestível em pintos de 20,09%, enquanto as mesmas dietas apresentaram digestibilidade verdadeira em galos de 20,20%. Estes resultados podem ser explicados pela menor quantidade de proteína bruta (19,3%) calculada na ração utilizadas nestes ensaios e, ainda, pela composição nutritiva do farelo de soja, devido à qualidade e ao grau do processamento a que foi submetido, sendo provavelmente de melhor qualidade do que o utilizado nestes ensaios.

4.3.2 Alimentos

Os valores de proteína digestível (%) dos alimentos avaliados, obtidas por meio de quatro ensaios de metabolismo e calculadas pelas fórmulas de substituição de ingredientes propostas por Matterson et al. (1965), com e sem adição de fitase, estão apresentadas na Tabela 10. As análises das variâncias encontram-se na Tabela 6A do Anexo.

Os resultados das análises das variâncias demonstraram que não houve interação significativa ($P > 0,05$) entre os fatores avaliados (A x Z) em nenhum dos ensaios realizados.

De maneira geral, verifica-se que, nos ensaios em que foi realizada a análise de variância, esta demonstrou diferenças significativas ($P < 0,05$) entre as

médias dos alimentos e também entre as médias dos níveis de enzimas, exceto para o ensaio de digestibilidade de Sibbald (galos), que não detectou diferenças ($P>0,05$) entre as médias das enzimas. Os ensaios de digestibilidade ileal e de digestibilidade com frangos intactos em crescimento (3 dias) demonstraram que os melhores resultados foram para o alimento farelo de arroz desengordurado. Estas observações são explicadas pelo maior percentual de proteína digestível deste alimento. Porém, os ensaios de digestibilidade com frangos intactos em crescimento (5 dias) e Sibbald (galos) demonstraram que os melhores resultados foram para o farelo de arroz integral. Estas observações são explicadas pela menor concentração de ácido fítico, fibra e sílica presentes neste farelo, quando comparado ao desengordurado, uma vez que o processo de extração por solventes ácidos da gordura do farelo de arroz integral não melhora o seu valor nutritivo como alimento em rações para frangos. Por outro lado, estes resultados confirmam o efeito benéfico da enzima sobre a hidrólise do ácido fítico, aumentando a digestibilidade dos nutrientes nas rações.

TABELA 10. Valores de proteína digestível aparente e verdadeira (na matéria seca), do FAI e FAD, determinados pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr₂O₃ (3 dias), Cr₂O₃ (5 dias) e Sibbald

Alimento	Coeficientes de digestibilidade				
	Ileal	Cr ₂ O ₃ - 3 dias	Cr ₂ O ₃ - 5 dias	Sibbald - I	Sibbald-D
FAI	1,36 B	7,02 B	6,04 A	11,39 A	10,52
FAD	4,55 A	8,07 A	5,67 B	9,44 B	11,35
Fitase					
0	2,88 b	7,47 b	5,76 b	10,35 a	
1000	3,03 a	7,92 a	6,15 a	10,48 a	
Erro padrão	0,34	0,14	0,10	0,22	
CV%	3,95	1,99	5,43	2,86	

Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de F.

A metodologia que mais expressou numericamente as diferenças da constituição dos alimentos foi o ensaio de digestibilidade ileal, enquanto o ensaio de digestibilidade com frangos intactos em crescimento em que se utilizou a coleta de 5 dias apresentou a menor variação entre os alimentos. A metodologia que mais expressou melhoras pela adição da enzima foi o ensaio de digestibilidade com frangos intactos em crescimento e coleta de 5 dias, enquanto o ensaio de Sibbald apresentou a menor variação.

Observa-se que o coeficiente de variação (CV%) apresentou baixos valores, demonstrando que as médias não variaram muito em torno da média geral dos valores da proteína digestível do farelo de arroz integral e do desengordurado.

Na Tabela 10 também se encontram os valores médios verdadeiros da proteína digestível (%) do farelo de arroz integral e do desengordurado, obtidos por meio do ensaio de metabolismo de Sibbald com galos, realizados de forma direta, ou seja, sem o uso das equações propostas por Matterson et al. (1965) e sem adição de enzima. Estes resultados podem ser comparados com os valores obtidos no experimento de digestibilidade de Sibbald com galos realizados de forma indireta, ou seja, com o uso dos cálculos de substituição do alimento na ração referência.

Verifica-se que o valor de proteína digestível do farelo de arroz integral observado no ensaio de Sibbald indireto se apresenta numericamente superior ao encontrado no ensaio direto. O contrário, ocorre para o farelo de arroz desengordurado, que se apresenta superior no ensaio direto, confirmando assim os resultados dos ensaios de digestibilidade ileal e de frangos intactos em crescimento (3 dias) que também apresentaram maiores valores de proteína digestível para o farelo de arroz desengordurado.

Neste ensaio também se verifica uma superioridade numérica em relação às outras metodologias. Esta superioridade pode ser atribuída à idade das aves e ao tipo de ensaio, uma vez que as perdas endógenas e metabólicas são maiores em galos que em frangos e que a quantidade do consumo de alimentos influencia na digestibilidade.

Na literatura consultada não foram encontrados valores de proteína digestível aparente do farelo de arroz integral e nem do desengordurado em aves. Em suínos, Rostagno et al. (2000), trabalhando com digestibilidade aparente, na matéria natural, descrevem valores do farelo de arroz integral de 10,26% e do desengordurado de 11,35%.

Entretanto, na literatura também não foram encontradas médias de proteína digestível ileal em frangos e nem verdadeira em galos intactos e nem cecectomizados, dos farelos de arroz integral e nem do desengordurado.

4.4 Coeficientes de digestibilidade do amido

4.4.1 Rações

Os valores dos coeficientes de digestibilidade do amido (%) das rações, obtidos por meio dos diferentes ensaios de metabolismo, são apresentados na Tabela 11 e as análises das variâncias encontram-se na Tabela 7A do Anexo.

Os resultados das análises das variâncias demonstraram que houve interação significativa ($P < 0,05$), entre os fatores avaliados (R x Z), no ensaio de digestibilidade com frangos intactos em crescimento, em que se utilizaram 3 dias de coleta. Observa-se, assim, que os coeficientes de digestibilidade do amido das rações apresentaram comportamento diferenciado na presença ou ausência de fitase. Não se observou melhora ($P > 0,05$) na digestibilidade do amido com adição de enzima apenas na ração à base de milho e farelo de soja e que esta apresentou valores superiores às demais rações, tanto na presença como na ausência de fitase.

TABELA 11. Médias dos coeficientes de digestibilidade aparente e verdadeira do amido das rações (na matéria seca), determinadas pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr₂O₃ (3 dias), Cr₂O₃ (5 dias) e Sibbald

Rações	Coeficientes de digestibilidade*			
	Ileal	Cr ₂ O ₃ - 3 dias***	Cr ₂ O ₃ - 5 dias	Sibbald
Milho + soja	84,98 A	91,93	95,70 A	90,49 A
Milho + soja + FAI	72,64 B	86,00	91,37 B	86,36 B
Milho + soja + FAD	67,15 C	84,11	88,31 B	84,46 C
Fitase**				
0	73,89 b	86,75	91,27 b	86,34 b
1000	76,05 a	87,95	92,31 a	87,86 a
Erro padrão	1,29	0,58	0,53	0,45
CV%	1,08	0,61	0,57	0,75

*Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de SNK.

**Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de F.

*** Interação significativa

Desdobramento da interação (rações x enzima)

Enzima	Rações		
	Milho + soja	Milho + soja + FAI	Milho + soja + FAD
0	91,68 Aa	85,19 Bb	83,37 Cb
1000	92,18 Aa	86,82 Ba	84,85 Ca

Dentro de cada linha, médias seguidas de diferentes letras maiúsculas diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de SNK.

Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de F.

Estes resultados demonstram que esta ração apresenta menor quantidade de ácido fítico e, conseqüentemente, menor ação da enzima fitase quando comparadas àquelas contendo 30% de farelos de arroz. Demonstram ainda que houve maior aproveitamento do amido pelo organismo das aves alimentadas com esta dieta.

Nas rações à base de milho e farelo de soja contendo 30% de farelo de arroz integral e milho e farelo de soja contendo 30% de farelo desengordurado a presença de fitase proporcionou maiores coeficientes de digestibilidade do amido. Assim, a enzima expressou mais eficiência em rações que continham maior quantidade de ácido fítico como estas à base de farelos de arroz.

De maneira geral, em todos os ensaios, a análise de variância demonstrou diferenças ($P < 0,05$) significativas entre as médias avaliadas, revelando que a enzima fitase melhorou a digestibilidade desse nutriente em todas as rações e que, independente da adição ou não da fitase, a ração à base de milho e farelo de soja apresentou maior coeficiente de digestibilidade quando comparada às demais rações. A exceção ocorreu para o ensaio de digestibilidade com frangos intactos em crescimento e coleta de 5 dias, que não detectou diferenças ($P > 0,05$) significativas entre as rações contendo 30% de farelo de arroz integral e 30% de farelo desengordurado, uma vez que foram semelhantes entre si.

Teoricamente, não seria esperado efeito de enzima, uma vez que a utilizada foi a fitase, tendo esta atuação específica sobre o fitato. Entretanto, observaram-se diferenças significativas ($P < 0,05$), que podem ser atribuídas à ação indireta da enzima fitase que atua expondo as enzimas endógenas e os nutrientes, contribuindo assim para um maior contato entre substrato e enzimas. Estes resultados confirmam as observações de Thomson & Yoon (1984) de que o ácido fítico também se complexa com amido, interferindo na digestibilidade

deste nutriente. Em pesquisas *in vitro*, Deshpande & Cheryan (1984) também comprovaram que este complexo inibe as enzimas α -amilases, demonstrando que a adição de fitase expõe os nutrientes e as enzimas endógenas, facilitando a digestibilidade dos nutrientes.

Observa-se que o coeficiente de variação (CV%) apresentou baixos valores, demonstrando que as médias não variaram muito em torno da média geral de digestibilidade do amido das rações.

Comparando-se valores de digestibilidade na literatura, observa-se que os resultados apresentados neste ensaio estão de acordo com os obtidos por Noy & Sklan (1995). Estes autores apresentaram digestibilidade ileal do amido variável entre 82% e 89%, em pintos aos 21 dias, sendo considerada baixa. Estes valores também estão coerentes com os encontrados posteriormente por Coon (1996) em frangos com 35 dias de idade, observando digestibilidade de 75,2% e 85,8% para este nutriente, com e sem adição de um complexo enzimático, respectivamente (citado por Moran Jr., 1998). Estes pesquisadores sugerem que uma porção significativa do amido não é absorvida até o final do intestino delgado e que entra no intestino grosso onde fermenta, resultando em baixo aproveitamento energético pelas aves. Esta observação também foi verificada por Autio & Poutanen (1995), citados por Soto-Salanova (1996), em análises microscópicas da digesta ileal, encontrando grandes partículas de endosperma do milho, constatando a presença de amido não digerido.

Em ensaios de digestibilidade, utilizando um complexo enzimático que não continha fitase e rações à base de milho e diferentes tipos de soja com frangos e galos, Zanella (1998) obteve valores de digestibilidade do amido superiores aos encontrados nestes ensaios, de 98%, em média, para frangos e 96% para galos. Resultados também superiores aos encontrados nestes ensaios foram observados anteriormente por Garcia (1997), quando obteve percentual de

90% na digestibilidade ileal com frangos aos 28 dias de idade, submetidos a uma dieta controle à base de milho e farelo de soja e 92,4% quando a dieta foi suplementada com enzima.

Melhoras na digestibilidade do amido também foram observadas por Peterson & Aman (1989), citados por Graham & Inbarr (1993b), trabalhando com dietas à base de trigo e centeio para frangos de corte aos 15 dias de idade, obtendo valores de 99% e 96% com e sem adição de enzimas, respectivamente. Os resultados encontrados nestes ensaios também são coerentes com aqueles verificados anteriormente por Wyatt et al. (1999) usando rações à base de milho e farelo de soja para frangos, suplementadas com um complexo enzimático que não continha fitase. Estes autores observaram que a melhora foi mais evidenciada em rações contendo milho de inferior qualidade.

Rodrigues et al. (2003) trabalharam com digestibilidade ileal de dietas para frangos de corte formuladas com milhos de várias regiões com ou sem adição de um complexo enzimático que não continha fitase. Estes autores não observaram diferenças significativas ($P>0,05$) na digestibilidade do amido, entretanto, obtiveram valores bem superiores (94,9% e 95,8%) aos encontrados nestes ensaios, porém, inferiores aos encontrados por Marsman (1997), em média 99,3% e superiores aos encontrados por Zanella (1998), de 90,37%, em média.

4.4.2 Alimentos

As médias dos coeficientes de digestibilidade do amido (%) dos alimentos avaliados, obtidas por meio de quatro ensaios de metabolismo e calculadas pelas fórmulas de substituição de ingredientes propostas por Matterson et al. (1965), com e sem adição de fitase, encontram-se na Tabela 12. As análises das variâncias encontram-se na Tabela 8A do Anexo.

Os resultados das análises das variâncias demonstraram que não houve interação significativa ($P>0,05$) entre os fatores avaliados (A x Z) em nenhum dos ensaios realizados.

TABELA 12. Médias dos coeficientes de digestibilidade aparente e verdadeira do amido (na matéria seca), do FAI e FAD, determinadas pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr_2O_3 (3 dias), Cr_2O_3 (5 dias) e Sibbald

Alimento	Coeficientes de digestibilidade				
	Ileal	Cr_2O_3 - 3 dias	Cr_2O_3 - 5 dias	Sibbald - I	Sibbald-D
FAI	44,49 A	72,54 A	81,50 A	76,81 A	72,46
FAD	26,49 B	66,34 B	72,41 B	70,39 B	67,79
Fitase					
0	34,90 a	67,99 b	75,90 b	72,71 b	-
1000	36,08 a	71,09 a	78,01 a	75,09 a	-
Erro padrão	1,91	0,77	1,01	0,76	
CV%	2,11	0,93	1,90	2,11	-

Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente ($P<0,05$) pelo teste de F.

De maneira geral, observa-se que nos ensaios em que foi realizada a análise de variância, esta demonstrou diferenças significativas ($P<0,05$) entre as médias dos alimentos e também entre as médias dos níveis de enzimas, exceto para o ensaio de digestibilidade ileal que não apresentou diferenças ($P>0,05$) para o efeito da enzima. Nos demais ensaios, os melhores resultados de digestibilidade observados foram para o alimento farelo de arroz integral contendo enzima. Estas observações são explicadas pela menor concentração de

ácido fítico, fibra e sílica presentes neste farelo quando comparado ao desengordurado, uma vez que o processo de extração por solventes ácidos da gordura do farelo de arroz integral não melhora o seu valor nutritivo como alimento em rações para frangos. Quanto ao efeito da enzima fitase, estes resultados indicam sua habilidade em liberar enzimas endógenas e nutrientes complexados à molécula do ácido fítico, ocorrendo uma maior exposição dessas enzimas e desses nutrientes e, conseqüentemente, um melhor aproveitamento pelo organismo da ave.

A metodologia que mais expressou numericamente as diferenças da constituição dos alimentos foi o ensaio de digestibilidade ileal, enquanto o ensaio de Sibbald apresentou a menor variação entre os alimentos. A metodologia que mais expressou melhoras pela adição da enzima foi o ensaio de digestibilidade com frangos intactos em crescimento em que se utilizou coleta de 3 dias, enquanto o ensaio em que se utilizou coleta de 5 dias apresentou a menor variação.

Observa-se que o coeficiente de variação (CV%) apresentou baixos valores, demonstrando que as médias não variaram muito em torno da média geral de digestibilidade do amido do farelo de arroz integral e do desengordurado.

Na Tabela 12 também se encontram os valores médios dos coeficientes de digestibilidade verdadeira do amido (%) do farelo de arroz integral e do desengordurado. Estes valores foram obtidos por meio do ensaio de metabolismo de Sibbald com galos, realizados de forma direta, ou seja, sem o uso das equações propostas por Matterson et al. (1965) e sem adição de enzimas. Estes resultados podem ser comparados com os valores obtidos no experimento de digestibilidade de Sibbald com galos, realizados de forma indireta, ou seja, com o uso dos cálculos de substituição do alimento na ração referência.

Verifica-se que os valores observados no ensaio de Sibbald indireto se apresentam numericamente superiores aos encontrados no ensaio direto, principalmente para o farelo de arroz integral. Isso se deve, provavelmente, a efeitos nos cálculos de substituição do alimento na ração referência, propostos por Matterson et al. (1965), uma vez que os valores indiretos foram obtidos por tal metodologia.

Comparando-se os valores de digestibilidade na literatura, observa-se que as médias de digestibilidade do amido do farelo de arroz integral, no ensaio em que se utilizou 5 dias de coleta, são inferiores às relatadas por Giacometti (2002). Este autor trabalhou com o mesmo ensaio e números de dias de coleta, obtendo valores de digestibilidade de 83,01% e 89,07%, com e sem adição de enzima, respectivamente, encontrando diferenças significativas ($P < 0,05$) para este fator. Os resultados destes ensaios também estão abaixo dos encontrados por Warren et al. (1990), ao estudarem duas variedades de farelo de arroz na alimentação de frangos, obtendo valores de 95% e 97%.

Entretanto, na literatura consultada não foram encontrados valores de coeficientes de digestibilidade ileal e nem aparente do amido, do farelo de arroz desengordurado em frangos e também coeficientes de digestibilidade verdadeira do amido, com galos, utilizando farelo de arroz integral nem o desengordurado.

4.5 Coeficientes de digestibilidade do extrato etéreo

4.5.1 Rações

Os valores dos coeficientes de digestibilidade do extrato etéreo (%) das rações, obtidos por meio dos diferentes ensaios de metabolismo, são apresentados na Tabela 13 e as análises das variâncias encontram-se na Tabela 9A do Anexo.

TABELA 13. Médias dos coeficientes de digestibilidade aparente e verdadeira do extrato etéreo das rações (na matéria seca), determinadas pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr₂O₃ (3 dias), Cr₂O₃ (5 dias) e Sibbald

Rações	Coeficientes de digestibilidade*			
	Ileal	Cr ₂ O ₃ - 3 dias	Cr ₂ O ₃ - 5 dias***	Sibbald
Milho + soja	89,42 A	90,56 A	92,05	86,35 A
Milho + soja +FAI	84,40 B	83,75 B	85,12	86,00 A
Milho + soja +FAD	81,15 C	79,50 C	80,22	81,80 B
Fitase**				
0	83,98 b	83,75 b	85,09	84,15 b
1000	86,10 a	85,35 a	86,50	85,28 a
Erro padrão	0,63	0,82	0,84	0,40
CV%	0,72	1,55	0,85	1,19

*Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de SNK.

**Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de F.

*** Interação significativa

Desdobramento da interação (rações x enzima)

Enzima	Rações		
	Milho + soja	Milho + soja + FAI	Milho + soja + FAD
0	91,78 Aa	83,96 Bb	79,52 Cb
1000	92,31 Aa	86,27 Ba	80,92 Ca

Dentro de cada linha, médias seguidas de diferentes letras maiúsculas diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de SNK.

Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de F.

Os resultados das análises das variâncias demonstraram que houve interação significativa ($P < 0,05$) entre os fatores avaliados (R x Z), no ensaio de digestibilidade com frangos intactos em crescimento, em que se utilizaram 5 dias de coleta. Demonstrou-se assim que os coeficientes de digestibilidade do extrato etéreo das rações apresentaram comportamento diferenciado na presença ou ausência de fitase. Não se observou melhora ($P > 0,05$) na digestibilidade do extrato etéreo com adição de enzima apenas na ração à base de milho e farelo de soja e que esta apresentou valores superiores às demais rações, tanto na presença como na ausência de fitase. Estes resultados demonstram que esta ração apresenta menor quantidade de ácido fítico e, conseqüentemente, menor ação da enzima fitase quando comparadas àquelas contendo 30% de farelos de arroz. Demonstram ainda que houve maior aproveitamento do extrato etéreo pelo organismo das aves alimentadas com esta dieta.

Nas rações à base de milho e farelo de soja contendo 30% de farelo de arroz integral e milho e farelo de soja contendo 30% de farelo desengordurado, a presença de fitase proporcionou maiores coeficientes de digestibilidade do extrato etéreo. Dessa forma, a enzima expressou mais eficiência em rações que continham maior quantidade de ácido fítico como estas à base de farelos de arroz.

De maneira geral, em todos os ensaios, a análise de variância demonstrou diferenças ($P < 0,05$) significativas entre as médias avaliadas, revelando que a enzima fitase melhorou a digestibilidade desse nutriente em todas as rações e que, independente da adição ou não da fitase, a ração à base de milho e farelo de soja apresentou maior coeficiente de digestibilidade quando comparada às demais rações. A exceção ocorreu para o ensaio de digestibilidade de Sibbald, em que as rações à base de milho e farelo de soja e rações à base de milho e farelo de soja contendo 30% de farelo de arroz integral foram semelhantes entre si.

Teoricamente, não seria esperado efeito de enzima, uma vez que a utilizada foi a fitase, tendo esta atuação específica sobre o fitato. Entretanto, observaram-se diferenças significativas ($P < 0,05$), que podem ser atribuídas à ação indireta da enzima fitase que atua expondo as enzimas endógenas e os nutrientes contidos nas rações, contribuindo para um maior contato entre substrato e enzimas, melhorando, assim, a digestibilidade dos nutrientes. Isso confirma as observações de Cosgrove (1966) de que o ácido fítico se complexa com lipídeos, interferindo assim na digestibilidade destes nutrientes. Provavelmente, este complexo também inibe as enzimas lipases, assim como foi comprovado com as pepsinas, α -amilases (Deshpande & Cheryan, 1984) e tripsinas (Singh & Krikorian, 1982; Caldwell, 1992), uma vez que todas as enzimas são proteínas. Em estudos *in vitro*, Rodehutschord (1998) verificou efeitos positivos da suplementação de fitase na disponibilidade de nutrientes, demonstrando que o complexo é hidrolisado e os efeitos inibidores do ácido fítico sobre a atividade das enzimas digestivas endógenas são reduzidos.

No ensaio em que se utilizou a metodologia de Sibbald com galos cecectomizados, verifica-se uma inferioridade numérica em relação às outras metodologias. Esta diferença pode ser atribuída à idade das aves e ao tipo de ensaio, uma vez que a quantidade do consumo de alimentos também influencia nos resultados de digestibilidade.

Observa-se que o coeficiente de variação (CV%) apresentou baixos valores, demonstrando que as médias não variaram muito em torno da média geral de digestibilidade do extrato etéreo das rações.

Comparando-se os valores de digestibilidade na literatura, observa-se que melhoras nos coeficientes de digestibilidade ileal e parcial das excretas, do extrato etéreo atribuídas à adição de um complexo enzimático que não continha fitase, foram observadas por Zanella (1998). Em ensaios usando rações à base de

milho e vários tipos de soja, foram obtidos valores inferiores aos encontrados nestes ensaios, que foram de 86,71% e 88,94%, em média. As observações verificadas nestes ensaios também são superiores às encontradas por Noy & Sklan (1995), trabalhando com dietas à base de milho e farelo de soja, quando obtiveram média de 85% de digestibilidade ileal para este nutriente.

Em ensaio de digestibilidade com galos, Zanella (1998) não observou diferenças significativas para o fator enzima, encontrando valores médios do extrato etéreo de 89,8%, sendo, portanto, superiores aos observados neste ensaio. Entretanto, Wyatt et al. (1999), usando rações à base de milho e farelo de soja para frangos suplementadas com complexo enzimático que não continha fitase, observaram aumento na digestibilidade ileal deste nutriente. Estes resultados foram mais evidenciados em rações contendo milho de inferior qualidade.

Resultados superiores aos encontrados nestes ensaios também foram observados por Rodrigues et al. (2003). Trabalhando com digestibilidade ileal em dietas formuladas com milhos de várias regiões e a adição de um complexo enzimático que não continha fitase, estes autores observaram média de 98,8%, embora não tenham encontrado diferenças significativas para o fator enzima. Entretanto, valores bem inferiores aos encontrados nestes ensaios foram observados por Silva & Smithard (1997), trabalhando com dietas à base de farelo de soja e centeio e adição de um complexo enzimático que não continha fitase, aos 24 dias de idade das aves. Estes autores observaram médias de digestibilidade entre 36,7% e 77,3%, encontrando diferenças significativas para o fator enzima.

Quanto ao efeito da enzima, Preston et al. (2001) observaram aumento na digestibilidade ileal do extrato etéreo, atribuída a um complexo enzimático que não continha fitase, utilizando rações contendo 70% de trigo em frangos, aos

35 dias de idade. Houve interações significativas entre o uso de trigo (0%, 35% e 70%), o tipo de extrato etéreo (soja, sebo ou mistura de soja e sebo (1:2)) e a enzima.

Os resultados verificados nestes ensaios também são coerentes com os observados anteriormente por McCracken et al. (1996) ao trabalharem com dietas à base de trigo e diversas fontes de gorduras, suplementadas com um complexo enzimático que não continha fitase, em frangos machos, aos 35 dias de idade. Observações semelhantes também foram relatadas por Ouhida et al. (2000), em rações à base de milho, trigo e cevada e o uso de complexo enzimático que não continha fitase, para frangos aos 21 e 42 dias de idade.

Entretanto, na literatura consultada não foram encontrados valores de coeficientes de digestibilidade ileal e nem aparente do extrato etéreo, de rações contendo farelo de arroz desengordurado em frangos e também coeficientes de digestibilidade de extrato etéreo verdadeira com galos utilizando os farelos de arroz integral nem o desengordurado.

4.5.2 Alimentos

As médias dos coeficientes de digestibilidade do extrato etéreo (%) dos alimentos avaliados, obtidas por meio de quatro ensaios de metabolismo e calculadas pelas fórmulas de substituição do alimento na ração referência, propostas por Matterson et al. (1965), com ou sem adição de fitase, estão apresentadas na Tabela 14. As análises das variâncias encontram-se na Tabela 10A do Anexo.

Os resultados das análises das variâncias demonstraram que não houve interação significativa ($P > 0,05$) entre os fatores avaliados (A x Z) em nenhum dos ensaios realizados.

TABELA 14. Médias dos coeficientes de digestibilidade aparente e verdadeira do extrato etéreo (na matéria seca), do FAI e FAD, determinadas pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr₂O₃ (3 dias), Cr₂O₃ (5 dias) e Sibbald

Alimento	Coeficientes de digestibilidade				
	Ileal	Cr ₂ O ₃ - 3 dias	Cr ₂ O ₃ - 5 dias	Sibbald - I	Sibbald-D
FAI	72,97 A	68,27 A	69,31 A	85,21 A	81,33
FAD	62,27 B	54,36 B	54,83 B	71,37 B	70,90
Fitase					
0	66,04 b	58,98 b	59,98 b	76,75 b	-
1000	69,21 a	63,05 a	64,07 a	79,84 a	-
Erro padrão	1,19	1,56	1,62	1,53	-
CV%	1,83	2,11	2,36	1,28	-

Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de F.

De maneira geral, observa-se que, nos ensaios em que foi realizada a análise de variância, esta demonstrou diferenças (P<0,05) significativas entre as médias dos alimentos e também entre as médias dos níveis de enzimas, revelando que os melhores resultados de digestibilidade observados foram para o alimento farelo de arroz integral contendo enzima. Estas observações são explicadas pela menor concentração de ácido fítico, fibra e sílica presentes neste farelo quando comparado ao desengordurado, uma vez que o processo de extração por solventes ácidos da gordura do farelo de arroz integral não melhora o seu valor nutritivo como alimento em rações para frangos. Quanto ao efeito da enzima fitase, estes resultados indicam sua habilidade em liberar enzimas

endógenas e nutrientes complexados à molécula do ácido fítico, ocorrendo uma maior exposição dessas enzimas e desses nutrientes e conseqüentemente um melhor aproveitamento pelo organismo da ave.

A metodologia que mais expressou numericamente as diferenças da constituição dos alimentos foi o ensaio de digestibilidade com frangos intactos em crescimento em que se utilizou coleta de 5 dias, enquanto o ensaio de digestibilidade ileal apresentou a menor variação entre os alimentos. A metodologia que mais expressou melhoras pela adição da enzima foi o ensaio de digestibilidade com frangos intactos em crescimento e coleta de 3 dias, enquanto o ensaio de Sibbald apresentou a menor variação.

Observa-se que o coeficiente de variação (CV%) apresentou baixos valores, demonstrando que as médias não variaram muito em torno da média geral de digestibilidade do extrato etéreo do farelo de arroz integral e do desengordurado.

Na Tabela 14 também se encontram os valores médios dos coeficientes de digestibilidade verdadeira do extrato etéreo (%) do farelo de arroz integral e do desengordurado, obtidos no ensaio de metabolismo de Sibbald com galos, realizado de forma direta, ou seja, sem o uso das equações propostas por Matterson et al. (1965) e sem adição de enzima. Estes resultados podem ser comparados com os valores obtidos no experimento de digestibilidade de Sibbald com galos, realizados de forma indireta, ou seja, com o uso dos cálculos de substituição do alimento na ração referência.

Verifica-se que os valores observados no ensaio de Sibbald direto e indireto se apresentam numericamente próximos para o farelo de arroz desengordurado, enquanto que, para o farelo integral, o método indireto se apresenta numericamente superior ao encontrado no ensaio direto. Isto, provavelmente, deve-se a efeitos nos cálculos de substituição do alimento na

ração referência, propostos por Matterson et al. (1965), uma vez que os valores indiretos foram obtidos por tal metodologia.

Neste ensaio, verifica-se também uma superioridade numérica em relação às outras metodologias. Esta superioridade pode ser atribuída à idade das aves e ao tipo de ensaio, uma vez que as perdas endógenas e metabólicas são maiores em galos que em frangos e que a quantidade do consumo de alimentos também influencia nos resultados de digestibilidade.

Comparando-se os valores de digestibilidade na literatura, observa-se que as médias de digestibilidade do extrato etéreo do farelo de arroz integral se apresentam bem superior aos relatados por Giacometti (2002). Ao trabalhar com digestibilidade aparente em frangos, este autor observou valores de digestibilidade de 25,27% e 28,89% com e sem adição de enzima que não era a fitase, respectivamente, tendo o autor encontrando diferenças significativas ($P < 0,05$) para este fator. O coeficiente de digestibilidade do extrato etéreo do farelo de arroz integral também foi superior aos observados por Warren & Farrel (1991), que encontraram médias entre 31% e 42% para duas variedades de farelo, respectivamente.

Entretanto, na literatura consultada não foram encontrados valores de coeficientes de digestibilidade ileal e nem aparente, do extrato etéreo do farelo de arroz desengordurado em frangos, e também coeficientes de digestibilidade verdadeira do extrato etéreo com galos utilizando farelo de arroz integral e nem o desengordurado.

4.6 Coeficientes de digestibilidade da fibra em detergente neutro

4.6.1 Rações

Os valores dos coeficientes de digestibilidade da fibra em detergente neutro (%) das rações, obtidos por meio dos diferentes ensaios de metabolismo são apresentados na Tabela 15 e as análises das variâncias encontram-se na Tabela 11A do Anexo.

Os resultados das análises das variâncias demonstraram que não houve interação significativa ($P > 0,05$) entre os fatores avaliados (R x Z) em nenhum dos ensaios realizados.

TABELA 15. Médias dos coeficientes de digestibilidade aparente e verdadeira da fibra em detergente neutro das rações (na matéria seca), determinadas pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr_2O_3 (3 dias), Cr_2O_3 (5 dias) e Sibbald

Rações	Coeficientes de digestibilidade*			
	Ileal	Cr_2O_3 - 3 dias	Cr_2O_3 - 5 dias	Sibbald
Milho + soja	59,82 A	60,62 A	62,69 A	60,96 A
Milho + soja +FAI	51,55 B	48,43 B	51,07 B	60,90 A
Milho + soja +FAD	48,73 C	48,75 B	48,79 C	56,58 B
Fitase**				
0	52,91 b	52,17 b	53,76 b	59,10 b
1000	54,02 a	53,13 a	54,60 a	59,85 a
Erro padrão	0,83	0,98	1,05	0,39
CV%	1,97	1,95	2,17	1,54

*Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste de SNK.

**Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste de F.

Verifica-se que, em todos os ensaios, a análise de variância demonstrou diferenças ($P < 0,05$) significativas entre as médias avaliadas, revelando que a enzima fitase melhorou a digestibilidade da fibra em detergente neutro em todas as rações e que independente da adição ou não da fitase a ração à base de milho e farelo de soja apresentou maior coeficiente de digestibilidade quando comparada às demais rações. A exceção ocorreu para os ensaios de digestibilidade com frangos intactos em crescimento usando coleta de 3 dias e para o ensaio de Sibbald. Observa-se que, no ensaio em que se utilizou coleta de 3 dias, as rações à base de milho e farelo de soja contendo farelo de arroz integral e rações à base de milho e farelo de soja contendo farelo de arroz desengordurado foram semelhantes entre si. O mesmo resultado foi observado no ensaio de digestibilidade de Sibbald em rações à base de milho e farelo de soja e rações à base de milho e farelo de soja contendo farelo de arroz integral.

Observa-se ainda que os melhores resultados de digestibilidade observados foram para os tratamentos com rações à base de milho e farelo de soja contendo enzimas. Estas observações podem ser explicadas pela menor quantidade de fibra bruta nas dietas à base de milho e farelo de soja, quando comparadas às rações contendo farelos de arroz. Isso porque um nível de inclusão de 30% de farelo de arroz integral e farelo desengordurado em dietas normais para frangos é um percentual elevado.

Teoricamente, não seria esperado efeito de enzima, uma vez que foi utilizada a fitase, tendo esta atuação específica sobre o fitato. Entretanto, observaram-se diferenças significativas ($P < 0,05$), que podem ser atribuídas à ação indireta da enzima atuando na hidrólise do fitato, contribuindo assim para uma maior exposição das enzimas endógenas e dos nutrientes contidos nas rações.

Observa-se que o coeficiente de variação (CV%) apresentou baixos valores, demonstrando que as médias não variaram muito em torno da média geral de digestibilidade da fibra em detergente neutro das rações.

Como se pode observar, os coeficientes de digestibilidade da fibra em detergente neutro se apresentaram bem próximos em todos os ensaios, demonstrando que o tipo de metodologia não contribuiu para uma maior variação nos valores de digestibilidade.

Entretanto, na literatura consultada não foram encontrados coeficientes de digestibilidade ileal, aparente e nem verdadeira da fibra em detergente neutro em frangos e nem em galos utilizando rações à base de milho e farelo de soja, milho e farelo de soja contendo farelo de arroz integral e rações à base de milho e farelo de soja contendo farelo de arroz desengordurado.

4.6.2 Alimentos

As médias dos coeficientes de digestibilidade da fibra em detergente neutro (%) dos alimentos avaliados, obtidas por meio de quatro ensaios de metabolismo e calculadas pelas fórmulas de substituição do alimento na ração referência, propostas por Matterson et al. (1965), com ou sem adição de fitase, encontram-se na Tabela 16. As análises das variâncias encontram-se na Tabela 12A do Anexo.

Os resultados das análises das variâncias demonstraram que não houve interação significativa ($P > 0,05$) entre os fatores avaliados (A x Z) em nenhum dos ensaios realizados.

De maneira geral, observa-se que, nos ensaios em que foi realizada a análise de variância, esta demonstrou diferenças ($P < 0,05$) significativas entre as médias dos níveis de enzimas e também entre as médias dos alimentos. Estes

resultados revelam que os melhores resultados de digestibilidade da fibra em detergente neutro foram observados para o alimento farelo de arroz integral contendo enzima, exceto para o ensaio de digestibilidade com frangos intactos em crescimento e coleta de 3 dias, em que o farelo de arroz desengordurado apresentou maior coeficiente, quando comparado ao farelo de arroz integral.

TABELA 16. Médias dos coeficientes de digestibilidade aparente e verdadeira da fibra em detergente neutro (na matéria seca), do FAI e FAD, determinadas pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr₂O₃ (3 dias), Cr₂O₃ (5 dias) e Sibbald

Alimento	Coeficientes de digestibilidade				
	Ileal	Cr ₂ O ₃ – 3 dias	Cr ₂ O ₃ - 5 dias	Sibbald - I	Sibbald-D
FAI	32,69 A	20,71 B	24,79 A	60,92 A	60,20
FAD	23,44 B	21,77 A	19,15 B	46,11 B	46,53
Fitase					
0	27,43 b	20,90 b	20,97 b	52,45 b	-
1000	28,70 a	22,08 a	22,16 a	54,58 a	-
Erro padrão	0,99	0,27	0,65	1,62	
CV%	3,00	4,26	4,29	2,98	-

Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de F.

Estas observações são explicadas pela menor concentração de fibra bruta presentes no farelo de arroz integral quando comparado ao desengordurado, uma vez que o processo de extração por solventes ácidos da gordura do farelo de arroz integral não melhora o seu valor nutritivo como alimento. As análises laboratoriais realizadas nesses alimentos revelaram, em média, 23,31% de fibra

em detergente neutro para o farelo integral e 28,32% para o farelo de arroz desengordurado. Quanto ao efeito da enzima fitase, estes resultados indicam sua habilidade em liberar enzimas endógenas e nutrientes complexados à molécula do ácido fítico.

A metodologia que mais expressou numericamente as diferenças da constituição dos alimentos foi o ensaio de digestibilidade ileal, enquanto o ensaio de digestibilidade com frangos intactos em crescimento, em que se utilizou coleta de 3 dias, apresentou a menor variação entre os alimentos. A metodologia que mais expressou melhoras pela adição da enzima foi o ensaio de digestibilidade com frangos intactos em crescimento e coleta de 5 dias, enquanto o ensaio de Sibbald apresentou a menor variação.

Observa-se que o coeficiente de variação (CV%) apresentou baixos valores, demonstrando que as médias não variaram muito em torno da média geral de digestibilidade da fibra em detergente neutra do farelo de arroz integral e do desengordurado.

Na Tabela 16 também se encontram os valores médios dos coeficientes de digestibilidade verdadeira da fibra em detergente neutro (%) do farelo de arroz integral e do desengordurado, obtidos por meio do ensaio de metabolismo de Sibbald com galos, realizados de forma direta, ou seja, sem o uso das equações propostas por Matterson et al. (1965) e sem adição de enzima. Estes resultados podem ser comparados com os valores obtidos no experimento de digestibilidade de Sibbald com galos, realizados de forma indireta, ou seja, com o uso dos cálculos de substituição do alimento na ração referência.

Verifica-se que os valores observados no ensaio de Sibbald indireto se apresentam próximos aos encontrados no ensaio direto. Isso demonstra que os cálculos de substituição do alimento na ração referência, propostos por

Matterson et al. (1965), são consistentes, uma vez que no ensaio anterior os resultados foram obtidos por tal metodologia.

Neste ensaio verifica-se também uma superioridade numérica em relação às outras metodologias. Esta superioridade pode ser atribuída à idade das aves e ao tipo de ensaio, uma vez que as perdas endógenas e metabólicas são maiores em galos que em frangos e que a quantidade do consumo de alimentos também influencia nos resultados de digestibilidade.

Comparando-se os valores de digestibilidade na literatura, observa-se que melhoras na digestibilidade da fibra em detergente neutro, atribuídas à adição de enzimas, também foram relatadas por Aboosadi et al.(1996). Em dietas à base de trigo e inclusão de 30% de farelo de arroz integral com adição de um complexo enzimático que não continha fitase, estes autores observaram valores entre 18,10% e 42,16%, com o uso de óxido crômico, aos 21 dias de idade das aves. Os resultados obtidos nestes ensaios são inferiores aos relatados anteriormente por Giacometti (2002). Trabalhando com digestibilidade aparente em frangos aos 26 dias de idade e utilizando farelo de arroz integral, este autor observou valores de digestibilidade da hemicelulose de 38,52% e 42,09% com e sem adição de enzima, respectivamente.

Entretanto, na literatura consultada, não foram encontrados valores de coeficientes de digestibilidade ileal e nem aparente da fibra em detergente neutro, do farelo de arroz desengordurado em frangos e também coeficientes de digestibilidade verdadeira da fibra em detergente neutro com galos utilizando farelo de arroz integral e nem o desengordurado.

4.7 Coeficientes de digestibilidade da energia bruta

4.7.1 Rações

Os valores dos coeficientes de digestibilidade da energia bruta (%) das rações, obtidos por meio dos diferentes ensaios de metabolismo, são apresentados na Tabela 17 e as análises das variâncias encontram-se na Tabela 13A do Anexo.

Os resultados das análises das variâncias demonstraram que não houve interação significativa ($P > 0,05$) entre os fatores avaliados (R x Z) em nenhum dos ensaios realizados.

TABELA 17. Médias dos coeficientes de digestibilidade aparente e verdadeira da energia bruta das rações (na matéria seca), determinadas pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr_2O_3 (3 dias), Cr_2O_3 (5 dias) e Sibbald

Rações	Coeficientes de digestibilidade*			
	Ileal	Cr_2O_3 - 3 dias	Cr_2O_3 - 5 dias	Sibbald
Milho + soja	74,73 A	75,09 A	79,17 A	73,11 A
Milho + soja +FAI	67,82 B	67,99 B	70,62 B	68,90 B
Milho + soja +FAD	66,58 C	67,33 B	69,80 C	68,81 B
Fitase**				
0	68,44 b	69,15 b	72,20 b	70,21 a
1000	70,98 a	71,12 a	74,19 a	70,32 a
Erro padrão	0,65	0,63	0,75	0,66
CV%	0,85	1,21	1,09	0,86

*Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste de SNK.

**Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste de F.

Verifica-se que, em todos os ensaios, a análise de variância demonstrou diferenças ($P < 0,05$) significativas entre as médias avaliadas, revelando que a enzima fitase melhorou a digestibilidade da energia bruta em todas as rações e que, independente da adição ou não da fitase, a ração à base de milho e farelo de soja apresentou maior coeficiente de digestibilidade quando comparada as demais rações. A exceção ocorreu para o ensaio de digestibilidade com frangos intactos em crescimento (3 dias), em que as rações à base de milho e farelo de soja, contendo 30% de farelo de arroz integral e as rações à base de milho e farelo de soja contendo 30% de farelo de arroz desengordurado foram semelhantes entre si. Este mesmo resultado foi observado no ensaio de digestibilidade de Sibbald. Verifica-se, ainda, exceção entre os níveis de enzima no ensaio de digestibilidade de Sibbald, uma vez que foram semelhantes entre si.

Estes resultados podem ser explicados pela menor quantidade de fatores antinutricionais nas rações à base de milho e farelo de soja, do que aquelas contendo 30% de farelo de arroz integral e farelo desengordurado. Isto contribuiu para a redução do aproveitamento energético das rações, uma vez que este nível de inclusão em dietas normais para frangos é um percentual elevado. Esta redução é mais expressiva nas rações contendo farelo de arroz desengordurado, uma vez que este farelo sofreu ação de solventes ácidos para retirada do óleo e também por ser peletizado, o que torna este farelo mais compactado, resultando assim em um aumento dos níveis de fatores antinutricionais como ácido fítico, fibra bruta e sílica. Por outro lado, os resultados da maioria dos ensaios confirmam o efeito benéfico da enzima sobre a hidrólise do ácido fítico, aumentando os coeficientes de digestibilidade do extrato etéreo e do amido, principais constituintes das rações que fornecem energia e também da proteína. Isso porque a energia dos alimentos é um produto da transformação desses nutrientes durante o processo metabólico das rações pelo organismo animal.

Observa-se que o coeficiente de variação (CV%) apresentou baixos valores, demonstrando que as médias não variaram muito em torno da média geral de digestibilidade da energia bruta das rações.

Como se pode observar, os coeficientes de digestibilidade da energia bruta se apresentaram próximos em todos os ensaios, demonstrando que o tipo de metodologia não contribuiu para uma maior variação nos valores de digestibilidade.

Melhoras nas médias de coeficientes de digestibilidade da energia bruta atribuídas à adição de enzimas e próximas às encontradas nestes ensaios foram observadas por Tejedor (2000). Em estudos de digestibilidade ileal, este autor obteve valores de 69,95% e 72,65%, em frangos aos 19 dias de idade, com e sem adição de fitase, respectivamente. Porém, os resultados encontrados nestes ensaios são inferiores aos observados anteriormente por Zanini (1997), utilizando dietas à base de milho e farelo de soja, com e sem adição de fitase, em ensaio de digestibilidade total com frangos aos 21 dias de idade, observando valores entre 90,55% e 91,42%. A autora não encontrou diferenças significativas para a enzima.

Incrementos nos coeficientes de digestibilidade da energia bruta, semelhantes às observadas nestes ensaios, também foram verificadas por Schouten (2002), trabalhando com digestibilidade ileal aparente e adição de 0,5% de óxido crômico em rações para frangos aos 42 dias de idade. Este autor utilizou dois níveis (10% e 20%) de farelos de arroz integral e observou que a adição de 900 FTU de fitase e o aumento dos níveis da enzima xilanase elevaram de maneira linear ($P < 0,05$) o coeficiente de digestibilidade da energia bruta da ração para os dois níveis de farelos de arroz utilizados, encontrando valores entre 74,1% e 78,8%. Portanto, foram superiores aos observados nestes ensaios. Em outro experimento, este autor, trabalhando com digestibilidade ileal

aparente em frangos aos 42 dias de idade, utilizando 4 níveis (6%,12%,18% e 24%) de farelos de arroz integral, observou que 900 FTU de fitase e a adição de 400g de xilanase por tonelada de ração melhorou ($P<0,05$) a média do coeficiente de digestibilidade da energia bruta da ração quando comparada àquela sem xilanase. Foram encontrados valores entre 76,0% e 80,0%, sendo também superiores aos observados nestes ensaios.

Comparando-se os valores de digestibilidade encontrados na literatura, Rodrigues et al. (2003), trabalhando com digestibilidade ileal de dietas para frangos de corte formuladas à base de milho e farelo de soja, com milhos provenientes de várias regiões com ou sem adição de complexo enzimático que não continha fitase, obtiveram valores bem próximos aos encontrados nas rações destes ensaios, contendo os mesmos ingredientes, entre 76,86% e 78,34%. Os autores observaram diferenças significativas para o fator enzima. Resultados semelhantes, porém inferiores aos observados nestes ensaios, foram encontrados por Silva & Smithard (1997). Trabalhando com dietas à base de farelo de soja e centeio para frangos machos aos 24 dias de idade, adicionada de um complexo enzimático que não continha fitase, este autor encontrou valores entre 56,0% e 71,6%.

4.7.2 Alimentos

As médias dos coeficientes de digestibilidade da energia bruta (%) dos alimentos avaliados, obtidas por meio de quatro ensaios de metabolismo e calculados pelas fórmulas de substituição do alimento na ração referência, propostas por Matterson et al. (1965), com ou sem adição de fitase, estão apresentadas na Tabela 18. As análises das variâncias encontram-se na Tabela 14A do Anexo.

Os resultados das análises das variâncias demonstraram que não houve interação significativa ($P>0,05$) entre os fatores avaliados (A x Z) em nenhum dos ensaios realizados.

De maneira geral, observa-se que, nos ensaios em que foi realizada a análise de variância, apenas nas metodologias de digestibilidade ileal e frangos intactos em crescimento com coleta de três 3 dias, a análise apresentou diferenças ($P<0,05$) significativas entre as médias dos alimentos. Isso demonstra que os melhores resultados de digestibilidade observados foram para o alimento farelo de arroz integral contendo enzimas. Este resultado é explicado pela maior quantidade de energia bruta deste alimento quando comparado ao farelo de arroz desengordurado, uma vez que, nas análises laboratoriais, foi observado, em média, 4.182 kcal/kg de energia bruta para o farelo integral e 3.311 kcal/kg para o farelo de arroz desengordurado. Entretanto, o ensaio de digestibilidade com frangos intactos em crescimento e coleta de 5 dias e o ensaio de Sibbald com galos cecectomizados não detectaram diferenças ($P>0,05$) entre as médias dos alimentos.

TABELA 18. Médias dos coeficientes de digestibilidade aparente e verdadeira da energia bruta (na matéria seca), do FAI e FAD, determinadas pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr₂O₃ (3 dias), Cr₂O₃ (5 dias) e Sibbald

Alimento	Coeficientes de digestibilidade				
	Ileal	Cr ₂ O ₃ - 3 dias	Cr ₂ O ₃ - 5 dias	Sibbald - I	Sibbald-D
FAI	52,08 A	51,86 A	51,12 A	59,06 A	56,45
FAD	48,01 B	49,71 B	49,68 A	58,78 A	53,05
Fitase					
0	48,20 b	48,63 b	47,85 b	58,86 a	-
1000	51,89 a	52,94 a	52,05 a	58,98 a	-
Erro padrão	0,65	0,56	0,65	3,32	
CV%	3,28	2,30	3,57	2,00	-

Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de F.

A análise de variância também demonstrou diferenças (P<0,05) significativas entre as médias das enzimas em todos os ensaios, exceto no ensaio de digestibilidade de Sibbald, que foram semelhantes entre si.

Os resultados do efeito da enzima, na maioria dos ensaios, confirmam o seu efeito benéfico sobre a hidrólise do ácido fítico. Isso porque ocorreu aumento dos coeficientes de digestibilidade do extrato etéreo e do amido, principais constituintes das rações que fornecem energia e também da proteína, pois a energia dos alimentos é um produto da transformação desses nutrientes durante o processo metabólico das rações pelo organismo animal.

A metodologia que mais expressou numericamente as diferenças da constituição dos alimentos foi o ensaio de digestibilidade ileal, enquanto o

ensaio de Sibbald apresentou a menor variação entre os alimentos. A metodologia que mais expressou melhoras pela adição da enzima foi o ensaio de digestibilidade com frangos intactos em crescimento e coleta de 3 dias, enquanto o ensaio de Sibbald apresentou a menor variação.

Observa-se que o coeficiente de variação (CV%) apresentou baixos valores, demonstrando que as médias não variaram muito em torno da média geral de digestibilidade da energia bruta do farelo de arroz integral e do desengordurado.

Na Tabela 18 também se encontram os valores médios dos coeficientes de digestibilidade verdadeira da energia bruta (%) do farelo de arroz integral e do desengordurado, obtidos pelo ensaio de metabolismo de Sibbald com galos, realizados de forma direta, ou seja, sem o uso das equações propostas por Matterson et al. (1965) e sem adição de enzima. Estes resultados podem ser comparados com os valores obtidos no experimento de digestibilidade de Sibbald com galos, realizados de forma indireta, ou seja, com o uso dos cálculos de substituição do alimento na ração referência.

Verifica-se que os valores observados no ensaio de Sibbald indireto se apresentam numericamente superiores aos encontrados no ensaio direto, principalmente para o farelo de arroz desengordurado. Isto se deve, provavelmente, a efeitos nos cálculos de substituição do alimento na ração referência, propostos por Matterson et al. (1965), uma vez que os valores indiretos foram obtidos por tal metodologia.

Neste ensaio, observa-se ainda uma superioridade numérica, quando comparada aos outros ensaios. Isto pode ser atribuído à idade das aves e ao tipo de ensaio, uma vez que as perdas endógenas e metabólicas são maiores em galos que em frangos, resultando em valores mais altos quando realizados os cálculos de digestibilidade.

Comparando-se os valores de digestibilidade encontrados na literatura observa-se que melhoras nos coeficientes de digestibilidade da energia bruta do farelo de arroz integral atribuídas à adição de enzimas e superiores às encontradas nestes ensaios foram relatadas por Giacometti (2002). Ao trabalhar com digestibilidade aparente em frangos e coleta de 5 dias, este autor obteve valores entre 57,56% e 66,89% com e sem adição de enzima, respectivamente, encontrando diferenças significativas ($P < 0,05$) para o fator enzima. Porém, os resultados encontrados nestes ensaios são superiores aos observados anteriormente por Warren & Farrel (1991), ao estudarem duas variedades de farelo na alimentação de frangos, observando valores entre 43,3% e 50,4%.

Entretanto, na literatura consultada não foram encontrados coeficientes de digestibilidade ileal e nem aparente da energia bruta utilizando farelo de arroz desengordurado em frangos e nem digestibilidade verdadeira da energia bruta dos alimentos farelos de arroz integral e desengordurado, utilizando galos intactos e nem cecectomizados.

4.8 Valores médios de energia digestível ileal, metabolizável aparente corrigida e metabolizável verdadeira corrigida

4.8.1 Rações

Os valores médios de energia digestível ileal (ED), energia metabolizável aparente corrigida (EMAn) e energia metabolizável verdadeira corrigida (EMVn) das rações, obtidos por meio dos diferentes ensaios de metabolismo são apresentados na Tabela 19 e as análises das variâncias encontram-se na Tabela 15A do Anexo.

TABELA 19. Valores de energia digestível ileal aparente e energia metabolizável aparente corrigida e energia metabolizável verdadeira corrigida (kcal/kg de matéria seca) das rações, determinadas pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr₂O₃ (3 dias), Cr₂O₃ (5 dias) e Sibbald

Rações	Coeficientes de digestibilidade*			
	Ileal (ED)	Cr ₂ O ₃ - 3 dias (EMAn)	Cr ₂ O ₃ - 5 dias (EMAn)	Sibbald *** (EMVn)
Milho + soja	3514 A	3726 A	3712 A	3762
Milho + soja +FAI	3232 B	3360 B	3355 B	3786
Milho + soja +FAD	3024 C	3177 C	3157 C	3444
Fitase**				
0	3196 b	3378 b	3361 b	3603
1000	3317 a	3464 a	3455 a	3725
Erro padrão	35,73	39,84	40,04	20,77
CV%	0,85	1,22	1,09	1,33

*Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de SNK.

**Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de F.

*** Interação significativa

Desdobramento da interação (rações x enzima)

Enzima	Rações		
	Milho + soja	Milho + soja + FAI	Milho + soja + FAD
0	3749 Aa	3714 Ab	3345 Bb
1000	3774 Aa	3858 Aa	3542 Ba

Dentro de cada linha, médias seguidas de diferentes letras maiúsculas diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de SNK.

Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de F.

Os resultados das análises das variâncias demonstraram que houve interação significativa ($P < 0,05$) entre os fatores avaliados (R x Z), no ensaio de digestibilidade de Sibbald. Isso demonstra que os valores de energia metabolizável verdadeira corrigida das rações apresentaram comportamento diferenciado na presença ou ausência de fitase. Não se observou melhora ($P > 0,05$) nos valores de energia metabolizável verdadeira com adição de enzima apenas na ração à base de milho e farelo de soja e que esta apresentou valores superiores às demais rações tanto na presença como na ausência de fitase. Estes resultados demonstram que esta ração apresenta menor quantidade de ácido fítico e, conseqüentemente, menor ação da enzima fitase, quando comparadas àquelas contendo 30% de farelos de arroz. Demonstrando ainda que houve maior aproveitamento dos nutrientes pelo organismo das aves alimentadas com esta dieta.

Nas rações à base de milho e farelo de soja contendo 30% de farelo de arroz integral e milho e farelo de soja contendo 30% de farelo desengordurado, a presença de fitase proporcionou maiores valores de energia metabolizável. Estes resultados são explicados pela atuação da enzima fitase em rações com maior quantidade de fatores antinutricionais, como nestas contendo farelos de arroz e também pelo efeito positivo observado nos aumentos dos coeficientes de digestibilidade do extrato etéreo e do amido, principais constituintes das rações que fornecem energia e também da proteína, quando foram suplementadas com a enzima.

De maneira geral, em todos os ensaios, a análise de variância demonstrou diferenças ($P < 0,05$) significativas entre as médias avaliadas, revelando que a enzima fitase melhorou os valores de energia digestível e metabolizável em todas as rações e que, independente da adição ou não da fitase, a ração à base de milho e farelo de soja apresentou maior valor quando comparada às demais rações.

Estes resultados são explicados pelo nível de inclusão de 30% dos farelos de arroz integral e desengordurado, sendo este nível elevado em dietas normais para frangos, contribuindo assim para a diminuição do aproveitamento energético das rações. Esta diminuição é mais expressiva nas rações contendo farelo de arroz desengordurado, por ser este farelo peletizado, resultando em um maior aumento dos níveis de fatores antinutricionais como ácido fítico, fibra bruta e sílica. Por outro lado, estas observações confirmam as afirmações de Cousins (1999), de que a suplementação de enzimas exógenas na ração pode auxiliar o sistema enzimático endógeno ou fornecer enzimas que não estão presentes no sistema digestivo do animal, favorecendo uma maior digestibilidade de nutrientes atribuídas à adição de enzima.

Observa-se que o coeficiente de variação (CV%) apresentou baixos valores, demonstrando que as médias não variaram muito em torno da média geral dos valores de energia digestível e metabolizável das rações.

Melhoras nas médias dos valores da energia digestível ileal atribuídas à adição de enzimas e próximas às encontradas nestes ensaios foram observadas por Tejedor (2000). Este autor obteve valores de 3.543 kcal/kg e 3.478 kcal/kg, em frangos aos 25 dias de idade, usando rações à base de milho e farelo de soja com e sem adição de fitase, respectivamente. Resultados coerentes e próximos aos observados nestes ensaios também foram encontrados por Zanini (1997), utilizando rações à base de milho e farelo de soja com enzima, em frangos intactos aos 21 dias de idade, observando valores de 3.692 kcal/kg e 3.387 kcal/kg, com e sem fitase, respectivamente.

Incrementos nas médias dos valores de energia digestível ileal atribuídas à adição de enzimas também foram verificadas por Kies & Schutte (1998). Alimentando frangos com níveis adequados de fósforo disponível, estes autores concluíram que a adição de 500 FTU de fitase/kg na ração melhora a utilização

de energia. Os resultados destes ensaios também são coerentes com os observados por Ravindran et al. (1999), ao avaliarem o efeito da fitase sobre a energia metabolizável do trigo, verificando aumento de 5,3% quando suplementada com fitase.

Comparando-se resultados encontrados na literatura, observa-se que valores de energia metabolizável corrigida inferiores aos encontrados nestes ensaios foram relatados por Zanella (1998), obtendo médias de 3.103 kcal/kg para frangos e 3.136 kcal/kg para galos, em rações à base de milho e vários tipos de soja. Este autor observou diferenças para o complexo enzimático que não continha fitase. Resultados também inferiores aos encontrados nestes ensaios foram relatados anteriormente por Giacometti (2002), trabalhando com ração referência à base de milho e farelo de soja, quando observou valores de 3.209 kcal/kg e 3.283 kcal/kg com e sem enzima, respectivamente, tendo a enzima proporcionado diferenças significativas sobre o valor da energia.

Melhoras nas médias dos valores da energia digestível ileal atribuídas à adição de enzimas e superiores às encontradas nestes ensaios foram observadas por Rodrigues et al. (2003). Trabalhando com frangos e dietas formuladas à base de milhos de várias regiões com ou sem adição de um complexo enzimático que não continha fitase, estes autores obtiveram valores de 3.614 kcal/kg e 3.684 kcal/kg, sendo também superiores aos observados anteriormente por Zanella (1998), em média, de 3.115 kcal/kg de energia.

Valores bem inferiores aos destes ensaios foram observados por Coon (1996). Este autor, trabalhando com frangos aos 35 dias de idade em digestibilidade ileal, obteve médias de 2.718 kcal/kg e 2.893 kcal/kg com e sem adição de um complexo enzimático que não continha fitase, em rações à base de milho e farelo de soja, respectivamente (citado por Moran Jr., 1998). Estes resultados também são inferiores aos verificados por Le Ny et al. (1998).

Trabalhando com frangos aos 35 dias de idade, estes autores observaram valores de energia digestível ileal de 2.810 kcal/kg e 2.950 kcal/kg, com e sem adição de um complexo enzimático que não continha fitase em rações à base de milho e farelo de soja, respectivamente.

Allen et al. (1996), avaliando a energia metabolizável aparente em frangos machos aos 21 dias de idade e dietas à base de trigo e soja, observaram melhoras significativas para um complexo enzimático. Em outro ensaio (1997), estes mesmos autores, utilizando frangos machos e dietas à base de trigo, soja e milho com adição de um complexo enzimático que não continha fitase, observaram melhora para a energia metabolizável aparente.

Martinez (2002), trabalhando com rações à base de milho e farelo de soja usando a metodologia de digestibilidade total e digestibilidade total com uso de óxido crômico, observou valores de 3.542 kcal/kg para coleta total e 3.733 kcal/kg para a metodologia utilizando 0,4% de óxido crômico. Estes resultados estão próximos aos verificados nestes ensaios, em que foi utilizada a mesma metodologia.

4.8.2 Alimentos

As médias dos valores de energia digestível ileal (ED), energia metabolizável aparente corrigida (EMAn) e energia metabolizável verdadeira corrigida (EMVn) dos alimentos avaliados, obtidas por meio de quatro ensaios de metabolismo e calculados pelas fórmulas de substituição do alimento na ração referência, propostas por Matterson et al. (1965), com ou sem adição de fitase, estão apresentadas na Tabela 20. As análises das variâncias encontram-se na Tabela 16A do Anexo.

Os resultados das análises das variâncias demonstraram que não houve interação significativa ($P>0,05$) entre os fatores avaliados (A x Z) em nenhum dos ensaios realizados.

TABELA 20. Valores de energia digestível ileal aparente, energia metabolizável aparente corrigida e energia metabolizável verdadeira corrigida (kcal/kg de matéria seca), do FAI e FAD, determinados pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr_2O_3 (3 dias), Cr_2O_3 (5 dias) e Sibbald

Alimento	Coeficientes de digestibilidade				
	Ileal (ED)	Cr_2O_3 - 3 dias (EMAn)	Cr_2O_3 - 5 dias (EMAn)	Sibbald - I (EMVn)	Sibbald-D (EMVn)
FAI	2587 A	2529 A	2542 A	3867 A	3619
FAD	1906 B	1930 B	1965 B	2726 B	2599
Fitase					
0	2162 b	2125 b	2137 b	3227 b	-
1000	2331 a	2335 a	2360 a	3575 a	-
Erro padrão	74,64	67,29	66,73	96,55	
CV%	3,38	2,51	3,66	4,64	-

Dentro de cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente ($P<0,05$) pelo teste de F.

De maneira geral, observa-se que, nos ensaios em que foi realizada a análise de variância, esta demonstrou diferenças significativas ($P<0,05$) entre as médias dos alimentos e também entre as médias dos níveis de enzimas. Isso revela que os maiores valores de energia observados foram para o alimento farelo de arroz integral contendo enzimas.

Estes resultados são explicados pela maior quantidade de nutrientes digestíveis deste alimento quando comparado ao farelo de arroz desengordurado, uma vez que este farelo é peletizado, resultando em um maior aumento dos níveis de fatores antinutricionais, como ácido fítico, fibra bruta e sílica. Estes resultados também demonstram que o ácido fítico se liga aos nutrientes e às enzimas endógenas e que a ação da fitase torna-os mais solúveis e disponíveis para serem melhor aproveitados pelo organismo da ave.

A metodologia que mais expressou numericamente as diferenças da constituição dos alimentos foi o ensaio de Sibbald, enquanto o ensaio de digestibilidade com frangos intactos em crescimento em que se utilizou 5 dias de coleta apresentou a menor variação entre os alimentos. A metodologia que mais expressou melhoras pela adição da enzima foi o ensaio de Sibbald, enquanto o ensaio de digestibilidade ileal apresentou a menor variação.

Observa-se que o coeficiente de variação (CV%) apresentou baixos valores, demonstrando que as médias não variaram muito em torno da média geral dos valores de energia digestível e metabolizável do farelo de arroz integral e do desengordurado.

Na Tabela 20 também se encontram os valores médios de energia metabolizável verdadeira corrigida (EMVn) do farelo de arroz integral e do desengordurado, obtidos por meio do ensaio de metabolismo de Sibbald com galos, realizados de forma direta, ou seja, sem o uso das equações propostas por Matterson et al. (1965) e sem adição de enzima. Estes resultados podem ser comparados com os valores obtidos no experimento de digestibilidade de Sibbald com galos, realizados de forma indireta, ou seja, com o uso dos cálculos de substituição do alimento na ração referência.

Verifica-se que os valores observados no ensaio de Sibbald indireto se apresentam numericamente superiores aos encontrados no ensaio direto. Isto,

provavelmente, ocorreu em função dos efeitos nos cálculos de substituição do alimento na ração referência, propostos por Matterson et al. (1965), uma vez que os valores indiretos foram obtidos por tal metodologia.

Melhoras nos valores de energia metabolizável aparente corrigida do alimento farelo de arroz integral atribuídas à adição de enzimas foram observadas por Conte (2000). Trabalhando com o mesmo ensaio e a mesma enzima, este autor obteve valores de 2.534 e 2.719 kcal/kg, com e sem adição de fítase, respectivamente.

Comparando-se os valores de digestibilidade encontrados na literatura observa-se que as médias destes ensaios são inferiores às relatadas por Giacometti (2002). Trabalhando com ensaio de digestibilidade aparente, este autor obteve valores de 2.897 e 3.083 kcal/kg com e sem adição de enzimas, respectivamente. Observa-se, ainda, que os valores encontrados são inferiores também aos obtidos por Albino (1991), de 3.200 kcal/kg. Entretanto, estão próximos aos descritos por Rostagno et al. (2000), na matéria natural, que é de 2.453 kcal/kg.

Em ensaio de digestibilidade verdadeira Albino (1991), trabalhando com galos intactos, obteve valor de 3.820 kcal/kg para o farelo de arroz integral, sendo, portanto, superior ao encontrado neste experimento. Observa-se também que a média encontrada é superior à descrita por Rostagno et al. (2000), verificando para o farelo de arroz integral, na matéria natural, valor de 3.143 kcal/kg.

As diferenças observadas na literatura sobre os valores de energia metabolizável do farelo de arroz integral podem estar atribuídas à composição nutritiva do farelo. Esta é afetada positivamente pela constituição do alimento em proteína e, principalmente, amido e gordura, principais componentes das rações que fornecem energia e negativamente pelo teor de ácido fítico, fibra e

silica. Isto porque a energia dos alimentos é um produto da transformação dos nutrientes digestíveis durante o processo metabólico das rações no organismo animal.

Entretanto, na literatura consultada não foram encontrados valores de energia metabolizável aparente corrigida nem verdadeira, com galos intactos ou cecectomizados, do farelo de arroz desengordurado, com ou sem o uso de enzimas. Mas, existem resultados de energia metabolizável do trigo e do centeio demonstrando que a adição de enzimas à ração melhora entre 4% a 23% a energia metabolizável desses alimentos.

4.9 Coeficientes de digestibilidade de nutrientes e valores de proteína digestível e de energia metabolizável verdadeira do milho e do farelo de soja

As médias dos coeficientes de digestibilidade de nutrientes e dos valores de proteína digestível e de energia metabolizável verdadeira corrigida (EMVn) do milho e do farelo de soja obtidas por meio do ensaio de metabolismo de Sibbald (1976) com galos, realizadas de forma direta, ou seja, sem o uso das equações propostas por Matterson et al. (1965) e sem adição de enzima, estão apresentadas na Tabela 21.

Observa-se que o farelo de soja apresentou digestibilidade da matéria seca muito baixa quando comparada ao do milho. Este valor pode ser explicado pela maior quantidade de ácido fítico e polissacarídeos não amídicos presentes neste alimento, em média, 1,6% e 30%, respectivamente, enquanto o milho apresenta apenas 0,9% e 9%, respectivamente, uma vez que estes fatores antinutricionais reduzem a digestibilidade dos nutrientes. Além de ácido fítico e

polissacarídeos não amídicos, a soja ainda possui outros fatores antinutricionais como os inibidores de tripsina e as lectinas.

TABELA 21. Coeficientes de digestibilidade de nutrientes e valores de proteína digestível e de energia metabolizável verdadeira do milho e do farelo de soja determinados pelo método de digestibilidade de Sibbald

Alimento	Coeficientes de digestibilidade (Sibbald - direto)							
	MS	PB	PD	A	EE	FDN	EB	EMV _n
Milho	89,94	82,04	8,07	87,33	89,51	73,50	78,23	3636
Soja	54,11	90,65	46,86	79,89	82,39	68,56	64,72	2955

Albino (1991), trabalhando com digestibilidade verdadeira da proteína bruta com galos intactos, obteve médias de 96,58% para o farelo de soja e 88,60% para o milho moído. Estes valores são altos, porém, considerados normais quando comparados aos encontrados neste ensaio, uma vez que neste, os galos eram cecectomizados.

Os valores de digestibilidade da energia bruta do milho moído e do farelo de soja observados neste ensaio se apresentam inferiores aos encontrados por Fischer Jr., (1997). Este autor, ao trabalhar com o mesmo ensaio, observou valores de 85,79% e 69,99%, respectivamente, para estes alimentos.

De maneira geral, observa-se que as aves apresentam melhor eficiência de metabolização da energia no alimento energético quando comparado ao protéico. Estes resultados estão de acordo com Noblet (1995) que, ao estudar os coeficientes existentes entre a energia líquida do alimento e a metabolizável,

concluiu que alimentos protéicos apresentam menores valores do que os energéticos.

Os valores de energia metabolizável do milho moído e do farelo de soja observados neste ensaio se apresentam inferiores aos relatados por Fischer Jr., (1997). Ao trabalhar com o mesmo ensaio, este autor observou valores de 3.937 e 3.270 kcal/kg, respectivamente, para estes alimentos. Porém, eles são considerados normais, uma vez que as aves deste ensaio eram cecectomizadas. São inferiores também aos relatados por Albino (1991), trabalhando com galos intactos, quando obteve valores de 3.940 kcal/kg para o milho moído. Entretanto, os valores observados para o farelo de soja, 2.940 kcal/kg, estão próximos aos verificados neste ensaio. Observa-se ainda que as médias encontradas são superiores às descritas por Rostagno et al. (2000), verificando, na matéria natural, valores de energia metabolizável do milho em grão 3.450 kcal/kg e do farelo de soja 2.495 kcal/kg.

Entretanto, na literatura consultada, não foram encontrados valores de proteína digestível do milho e do farelo de soja em aves. Em suínos, Rostagno et al. (2000), trabalhando com digestibilidade aparente, na matéria natural, descrevem valores do milho em grão de 7,11% e do farelo de soja 43,26%. Também não foram encontrados valores de coeficientes de digestibilidade verdadeira da matéria seca, do amido e do extrato etéreo do milho e nem do farelo de soja com galos intactos nem cecectomizados.

5 CONCLUSÕES

Nas condições em que foram realizados os ensaios, conclui-se que:

- a utilização da enzima fitase nas rações formuladas com milho e farelo de soja, milho e farelo de soja contendo 30% de farelo de arroz integral, milho e farelo de soja contendo 30% de farelo de arroz desengordurado, com 0,30% de fósforo disponível, melhorou a digestibilidade dos nutrientes avaliados em todas as metodologias utilizadas;
- maiores valores de digestibilidade dos nutrientes foram observados nas rações formuladas à base de milho e farelo de soja;
- a energia digestível ileal do farelo de arroz integral e do desengordurado, obtida por meio dos cálculos de substituição do alimento na ração referência, foi de 2.587 kcal/kg e 1.906 kcal/kg de matéria seca, respectivamente;
- a energia metabolizável aparente corrigida do farelo de arroz integral e do desengordurado, obtida por meio dos cálculos de substituição foi de 2.536 kcal/kg e 1.948 kcal/kg na matéria seca, respectivamente;
- a energia metabolizável verdadeira corrigida do farelo de arroz integral e do desengordurado, obtida com alimentação forçada utilizando galos cecectomizados, por meio dos cálculos de substituição, foi de 3.867 kcal/kg e 2.726 kcal/kg na matéria seca, respectivamente. Enquanto as EMVn dos alimentos milho moído, farelo de soja, farelo de arroz integral e farelo de arroz desengordurado foram de 3.636 kcal/kg, 2.955 kcal/kg, 3.619 kcal/kg e 2.599 kcal/kg na matéria seca, respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOOSADI, M. A. et al. Effect of supplementation with cell wall degradation enzymes on the growth performance of broiler chickens fed diets containing rice bran. **British Poultry Science**, Edinburgh, v. 37, S41-S83, 1996. Abstract.

ALBINO, L. F. T. **Determinação de valores de energia metabolizável e triptofano de alguns alimentos para aves em diferentes idades**. 1980. 55p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ALBINO, L.F.T. **Sistemas de avaliação nutricional de alimentos e suas aplicações na formulação de rações para frangos de corte**. 1991. 141p. Tese (Doutorado em Zootecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ALBINO, L.F.T. et al. Determinação dos valores de energia metabolizável aparente e verdadeira de alguns alimentos para aves, usando diferentes métodos. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.21, n.6, p. 1047-1058, 1992.

ALLEN, C. M.; BEDFORD, M. R.; McCracken, K. J. Effect of rate wheat inclusion and enzyme supplementation on diet metabolisability and broiler performance. **British Poultry Science**, Edinburgh, v. 37, S41-S83, 1996. Abstract.

ANNISON, G. The role of wheat non-starch polysaccharides in poultry nutrition. **Australian Journal Agricultural Research**, Victoria, v.44, n.2, p.405-422, 1993.

ANNISON, G.; CHOCT, M. Plant polysaccharides - their physiochemical properties and nutritional roles in monogastric animals. In: ALLTECH ANNUAL SYMPOSIUM, 1994, Nottingham. **Proceedings...** Nottingham: Nottingham University, 1994. v 10, p.51-56.

ASADA, K.; KASAI, Z. Formation of myo-inositol and phytin in ripening rice grain. **Plant and Cell Physiology**, Kyoto, v. 3, p. 397, 1962.

ATTEH, J. O.; LEESON, S. Effects of dietary saturated or unsaturated fatty acids and calcium levels on performance and mineral metabolism of poultry chicks. **Poultry Science**, Champaign, v.63, n.12, p. 2252-2260, 1984.

BAKER, D. R.; SPEER, V. C. Protein-amino nutrition of non-ruminant animals with emphasis on pigs: past, present, future. **Journal of Animal Science**, v.57, p.284-299, 1983.

BALDWIN, E. **Comparative biochemistry**. 4.ed. Cambridge: Cambridge University, 1970.

BALLAM, G. C.; NELSON, T. S.; KIRBY, L. K. Effect of fiber and phytate source and of calcium and phosphorus level on phytate hydrolysis in the chick. **Poultry Science**, Champaign, v. 63, p. 333-338, 1984.

BEDFORD, M. R. The effect of enzymes on digestion. **Journal of Applied Poultry Science**, Athens, v. 5, n. 4, p.370-378, 1996.

BEDFORD, M. R.; CLASSE, H.L.; CAMPBELL, G.L. The effect of pelleting, salt and pentosanase on the viscosity of intestinal contents and the performance of broiler fed rye. **Poultry Science**, Ithaca, v.70. n. 7, p.1571-1577, 1991.

BIEHL, R. R.; BAKER, D. H. Microbial phytase improves amino acid utilization in young chicks fed diets based on soybean meal, but not in diets based on peanut meal. **Poultry Science**, Champaign, v.76, p.355-360, 1997.

BORGES, F. M. O. Utilização de enzimas em dietas avícolas. **Cadernos Técnicos da Escola de Veterinária da UFMG**, Belo Horizonte, n. 20, p. 5-30, 1997.

BOWMAN, D. E. Fractions derived from soybeans and navybeans wich retard tryptic digestion of casein. **Proceeding Society Experiment Biological Medicine**, Baltimore, v.57, p.139-140, 1944.

BRAMBILA, S. M.; NESHEIM, M. C.; HILL, F. W. Studies of effect of the tripsin on the utilization of a raw soybean oil meal by the chick. **Poultry Science**, Ithaca, v.39, p.1237-1247, 1960.

BRENES, A. et al. **Utilización práctica de complejos enzimáticos en avicultura**. Madrid: Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, 1996. p.135-151. (Curso de Especialización, 12).

BROZ, J.; OLDALE, P.; PERRIN -VOLTZ, A. H. Effects of supplemental phytase on performance and phosphorus utilisation in broiler chickens fed a low phosphorus diet without addition of inorganic phosphates. **British Poultry Science**, Scotland, v.35. n.2 p.273-280, 1994.

CALDWELL, R. A. Effect of calcium and phytic acid on the activation of trypsinogen and the stability of trypsin. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, n.40, p.43-46, 1992.

CANTOR, A. Enzimas usadas na Europa, Estados Unidos e Ásia. Possibilidades para uso no Brasil. In: RONDA LATINO AMERICANA DE BIOTECNOLOGIA 5., 1995, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ALLTECH, 1995. p.31-32.

CHERYAN, M. Phytic acid interactions in foods systems. **C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 13, n.4, p.296-335, 1980.

CHESSON, A. Avances recientes en la nutrición de animales. In recent advances in animal nutrition. **Avicultura Professional**, v.7, n.3, p.71-89, 1987.

CHILDS, G. R. Factors affecting the metabolizable energy values of feedstuffs for poultry. In: ANNUAL MEETING, 31, 1971. **Proceedings...** [S.l.]: AFMA, 1971. p. 12-13.

CLASSEN H. L.; BEDFORD, M.R. The use of enzymes to improve the nutritive value of poultry feed. In: HARESION, W.; COLO, D.J.A. (Ed.). **Recent advances in animal nutrition**. Butterworth Heinemann: Surrey, 1991. p.95-116.

CLOSE, W. Enzyme in action. **Feed mix**. Illinois, v.4, n.3, p.16-20, 1996.

CONTE, A. J. **Valor nutritivo do farelo de arroz integral em rações para frangos de corte, suplementadas com fitase e xilanase**. 2000. 164 p. Tese (Doutorado em Zootecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

COSGROVE, D. J. The chemistry and biochemistry of inositol polyphosphates. Ver. **Pure Apply Chemistry**, v.16, p.209-224, 1966.

COUSINS, B. Enzimas na nutrição de aves. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL ACAV - EMBRAPA SOBRE NUTRIÇÃO DE AVES, 1., 1999, Concórdia. **Anais...** Concórdia: Embrapa, 1999. p. 118-132.

COWAN, W. D. Understanding the manufacturing distribution, application, and overall quality of enzymes in poultry feeds. **Journal of Applied Poultry Research**, v.1, p.93-99, 1993.

DALE, N.M.; FULLER, H. L. Aplicability of the metabolizable energy system in practical feed formulation. **Poultry Science**, Champaign, v.61, n.2, p.351-356, 1982.

DAVIS, R. L. Triticale's potential as a source of amino acids for pigs. **Animal Production Australian**, n.13, p.140-143, 1980.

DESHPANDE, S. S.; CHERYAN, M. Effects of phytic acid, divalent cations, and their interactions on alpha-amylase activity. **Journal of Food Science**, n.49, p.516-519, 1984.

DOMENE, S. M. A. **Estudo do valor nutritivo mineral do farelo de arroz. Utilização do zinco, ferro, cobre e cálcio pelo rato em crescimento.** 1996. 104p. Tese (Doutorado em Ciência da Nutrição)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

EDWARDS JR., H.M. Dietary 1,25-dihydroxycholecalciferol supplementation increases natural phytate phosphorus utilization in chickens. **Journal of Nutrition**, v.23, p.567-577, 1993.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESSQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves. **Tabela de composição química e valores energéticos de alimentos para suínos e aves.** 3.ed. Concórdia, SC: Embrapa, 1991.97 p. (Documento, 19).

EUCLYDES, R. F. **Sistema de análises estatísticas e genéticas - versão 5.0:** guia do usuário. Viçosa, MG: UFV. Central de Processamento de Dados. 1993.

FARREL, D. J. Utilization of rice bran in diets for domestic fowl and duckings. **World's Poultry Science Journal**, London, v.50, n.2, p.115-131, 1994.

FARREL, 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**, Cambridge, v.39, n.4, p.549-554, 1998.

FIALHO, F. B. **Disponibilidade do manganês do farelo de arroz para frangos de corte**. 1991. 156 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

FISCHER Jr. A. A. **Valores de energia metabolizável e de aminoácidos digestíveis de alguns alimentos para aves**. 1997. 55p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

FISCHER Jr. A. A. et al. Determinação dos valores de energia metabolizável de alguns alimentos usados na alimentação de aves. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.27, n.2, p.314-318, 1998.

FITASE, a enzima milagrosa. **Aves e ovos**, São Paulo, n. 8/9, p.24-28, 1999.

FRANCESCH. M. **Bases de la utilización de complejos enzimáticos en avicultura**. Madrid: Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. 1996. p.119-131. (Curso de Especialización, 12).

FRIZZAS, A. C. **Efeito do uso de probióticos sobre o desempenho e atividade de enzimas digestivas de frangos de corte**. 1996, 70 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP

GARCIA, O. Enzimas: recentes contribuições para a sua aplicação em nutrição animal. In: ENCONTRO DE NUTRIÇÃO ANIMAL, 3., 1997, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Finnfeeds, 1997. p.1-9.

GIACOMETTI, R. A. **Valores energéticos e digestibilidade de nutrientes do farelo de arroz integral suplementado com complexos enzimáticos para frangos de corte**. 2002. 54 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

GRAHAM, H.; INBORR, J. Stability of enzymes during processing. **Feed Mix**, Doetinchen, v.1, n.3, p.18, 1993a.

GRAHAM, H.; INBORR, J. Enzimas para piensos. In: SEMINARIO AMANDUS KAHL EUROTIER, 1993, Hannover. **Proceedings...** Hannover: Finnfeeds International, 1993b. p.145.

GUILHAUME, J.; SUMMERS, J. D. Maintenance energy requirements of the rooster and influence of plane of nutrition on metabolizable energy. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v.50, p.363-369, 1970.

HASSAN, A. S.; DELPECH, P. Metabolizable energy and digestibility of protein in growing chickens: Effect of genotype age and diet. **Nutrition Abstracts and Reviews**, Série B, v.57, n.1, p.52, 1987. Abstracts.

HILL, F. W.; ANDERSON, D.L. Comparison of metabolizable energy and productive energy determinations with growing chicks. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 64, n.4, p. 587-603, 1958.

JONGBLOED, A. W.; MROZ, Z.; KEMME, P. A. The effect of supplementary *Aspergillus Niger* phytase in diet for pigs on concentration and apparent digestibility of dry matter, total P, and phytic acid in different sections of the alimentary tract. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.70, n.4, p.1159-1168, 1992.

JONGBLOED, A. W. et al. Non - mineral related effects of phytase in pig diets. In: BASF FORUM ON ANIMAL NUTRITION, 6., 1997, Ludwigshafen, Germany. **Proceedings...** Ludwigshafen, Germany: BASF, 1997. p. 92-106.

JORGENSEN, H.; ZHAO, X.Q.; KNUDSEN, K. E. B. The influence of dietary fibre source and level on the development of the gastrointestinal tract digestibility and energy metabolism in broiler chickens. **British Journal Nutrition**, Cambridge, v.75, n.3, p.379-395, 1996.

KESHAVARZ, K. Por que "es necesario emplear la fitasa en la dieta de las ponedoras? **Industria Avícola**, Mount Morris, v.46, n.10, p.13-14, 1999.

KESSLER, J. W.; THOMAS, O. P. The effect of cecectomy and extension of the collection period on the true metabolizable energy values of soybean meal, feather meal, fish meal and blood meal. **Poultry Science**, Champaign, v.57, n. 12, p. 2639-2647, 1981.

KHAN, N. Tackling the phosphate burden. **Feed Mix Special Series**, Feed mix v.4, n.3, p.22-26, 1996.

KIES, A.; SCHUTTE, B. **The effect of microbial phytase on broiler performance**. Netherlands: ILOB, 1998. 2p. (Comunicado Técnico).

KIISKINEN, T.; PIIRONEN, J.; HAKONEN, T. Effects of supplemental microbial phytase on performance of broiler chickens. **Agricultural Science in Finland**, Jokioinen, v.3, n.5, p.457-466, 1994.

KISS, C. Bioavailability: a factor in protein quality. **Journal Agricultural Food Chemistry**, v.29, p.435-438, 1981.

KORNEGAY, E.T. et al. Response of broilers to graded levels of microbial phytase added to maize-soyabean-meal-based diets containing three levels of non-phytate phosphorus. **The Journal of Nutrition**, Bethesda, v.75, n.4, p. 839-852, 1996.

KRATZER, F. H.; PAYNE, C. G. Effect of autoclaving, hot-water treating, parboiling and addition of ethoxyquin on the value of rice bran as a dietary ingredient for chicks. **British Poultry Science**, Abingdon, v. 18, p. 475-482, 1977.

KUNITZ, M. Crystallization of a trypsin inhibitor from soybean. **Science**, Washington, v.101, p.668-669, 1945.

LE NY, P.; WYATT, C.; CRESWELL, D. El uso de enzimas para maximizar la utilización de los nutrientes en dietas para ponedoras. In: ENZIMAS - DESARROLLANDO SU POTENCIAL EN DIETAS PARA AVES BASADAS EN MAÍZ/SOJA, 1998, Atlanta. **Proceedings...** Atlanta:Finnfeeds, 1998. p.32-37.

LESSON, S. A.; YERSIN, L. V. Nutritive value of 1992 corn crop. **Journal Applied Poultry Research**, Athens, v.2, p.208-213, 1993.

LIEBERT, F.; WECKE, C.; SCHONER, F. J. Phytase activities in different gut contents of chickens as dependent on level of phosphorus and phytase supplementations. In: SYMPOSIUM KARTAUSE ITTINGEN: enzymes in animal nutrition, 1993, Switzerland. **Proceedings...** Switzerland, 1993. p.125.

LIENER, I.E.; KAKADE, M. L. Protease inhibitors. In: LIENER, I.E. **Toxic constituents of plant foodstuffs**. 2.ed. New York: Academic, 1980. p.7-71.

LODHI, G. N.; DAULATSINGH, ICHHPONANI, J. S. Variation in nutrient content of feedingstuffs rich in protein and reassessment of the chemical method for metabolizable energy estimation for poultry. **Journal of Agricultural Science**, v.86, n.1, p.293-303, 1976.

MACARI, M.; FURLAN, R. L.; ELIZABETH, G. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 1994. 296p.

MAGA, J. A. Phytate: its chemistry, occurrence, food interactions, nutritional significance, and methods of analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.30, n.1, p.1-9, 1982.

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

MARSMAN, G. J. P. 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**, Ithaca, v.76, p.864-872, 1997.

MARTIN, E. A.; FARREL, D. J. Strategies to improve the nutritive value of rice bran in poultry diets. II. Changes in oil digestibility, metabolizable energy and attempts to increase the digestibility of the oil fraction in the diets of chickens and ducklings. **British Poultry Science**, Cambridge, v.39, n.4, p.555-559, 1998.

MARTINEZ, R. S. **Avaliação da metodologia e do período de coleta na determinação do valor energético de rações para aves.** 2002. 41 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MATEOS, G. G.; REBOLLAR, P. G.; MEDEL, P. **Utilização de graxas e produtos lipídicos na alimentação animal:** graxas puras e mistas. Madrid: Fundación Española para el desarrollo de la nutrición animal. 1996. p.3. (Curso de Especialización, 12).

MATEOS, G.G.; SELL, J.L. Influence do fat and carbohydrate source on rate of food passage of semipurified diets for laying hens. **Poultry Science**, Champaign, v.60, p.2114-2119, 1981.

MATTERSON, L. D. et al. **The metabolizable energy of feeds ingredient for chickens.** Storrs, Connecticut: The University of Connecticut. Agricultural Experiment Station, 1965. 11p. (Research Report, 7).

McCRACKEN, K. J.; McALLISTER, A.; RUTLEDGE, B. Effect of dietary fat source and enzyme supplementation in wheat-based diets for broilers on nutrient utilisation and performance. **British Poultry Science**, Champaign, v.37, p. S41-S83, 1996.

McINTOSH, J. I.; SLINGER, S. I.; SIBBALD, I. R. Factors affecting the metabolizable energy content of poultry feeds. 7. The effect of gronging, pelleting and grit feeding on the availability of the energy of weat corn, oats and barley. **Poultry Science**, Champaign, v.41, p. 445-456, 1962.

McKNIGHT, W.F. Technical specifications and properties of phytase. In: BASF TECHNICAL SYMPOSIUM, 5., 1996, Ithaca, NY. **Proceedings...** Ithaca, NY: BASF, 1996. p. 1-15.

MISIR, R.; SAUER, W. C. Effect of starch infusion at the terminal ileum on nitrogen balance and apparent digestibilitis of nitrogen and amino acids in pig feed meat-and bone and soybean meal diets. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.55, n.3, p.599-607, 1982.

MORAN Jr., T. E. La adición de enzimas complementa la digestión en las aves. In: ENZIMAS - DESARROLLANDO SU POTENCIAL EN DIETAS PARA AVES BASADAS EN MAÍZ/SOJA, 1998, Atlanta. **Proceedings...** Atlanta: Finnfeeds International, 1998. p.9-16.

MUNARO, F. A. **Efeito da fitase na biodisponibilidade do fósforo do farelo de arroz desengordurado em rações para frangos de corte.** 1993. 174p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

MUNARO, F. A. et al. Efeito da fitase em rações com 15% de farelo de arroz desengordurado no desempenho de frangos de corte. **Revista de Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 25, n. 5, p. 910-920, 1996.

NAMKUNG, H.; LEESON, S. The effect of phytase enzyme on dietary nitrogen-corrected apparent metabolizable energy and the ileal digestibility of nitrogen and amino acids in broiler chicks. **Poultry Science**, Champaign, v.78, n.9, p.1317-1319, 1999.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of poultry.** 9.ed. Washington, DC: National Academy of Science, 1994. 155 p.

NELSON, T. S. The utilization of phytate phosphorus by poultry – a review. **Poultry Science**, Champaign, v. 46, p. 862-871, 1967.

NELSON, T. S.; FERRARA, L. W.; STORER, N. L. Phytate phosphorus content of feed ingredients derived from plants. **Poultry Science**, Champaign, v.47, n.4, p.1372-1374, 1968.

NELSON, T. S. et al. Effect of supplemental phytase on the utilization of phytate phosphorus by chicks. **The Journal of Nutrition**, Bethesda, v.101, n. 10, p. 1289-1294, 1971.

NOBLET, J. Remodelling net energy systems. **Feed Mix**, Illinois, v.5, p.22-25, 1995.

NOY. Y.; SKLAN, D. Digestion and absorption in the young chick. **Poultry Science**, Ithaca, v.74, n.2, p.336-373, 1995.

OUHIDA, I. et al. Enzymes (β -glucanase and arabinoxylanase) and/or sepiolite supplementation and the nutritive value of maize-barley-wheat based diets for broiler chickens. **British Poultry Science**, Cambridge, v.41, n.5, p.617-624, 2000.

PARSONS, C. M. Amino acid availability in feedstuffs for poultry and swine. In: RECENT ADVANCES IN AMINO ACID NUTRITION, 1985. **Proceedings...** São Paulo:Ajinomoto, 1985. p. 35-48.

PARSONS, C. M.; POTTER, L. M; BLISS, B. A. True metabolizable energy corrected to nitrogen equilibrium. **Poultry Science**, Champaign, v.61, n.11, p. 2241-2246, 1982.

PENZ Jr., A. M. Enzimas em rações de aves e suínos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35., 1998, Botucatu, SP. **Anais...** Botucatu, SP: SBZ, 1998. p.165-178.

PENZ Jr., A. M; VIEIRA, S. L. Nutrição na primeira semana. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE MANEJO DE PINTOS DE CORTE, CONFERÊNCIA APINCO 1998, Campinas, SP. **Anais...** Campinas, SP: Facta, 1998. p.121-139.

PERNEY, K. M. et al. The effect of dietary on growth performance and phosphorus utilization of broiler chicks. **Poultry Science**, Champaign v.72, p.2106-2114, 1993.

PINHEIRO, L. W. **Soja integral processada pelo calor em rações de frangos de corte**. 1993. 175 p. Tese (Doutorado em Zootecnia)-Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP

PIZZOLANTE, C. C. **Estabilidade da fitase e sua utilização na alimentação de frangos de corte**. 2000. 117p. Tese (Doutorado em Zootecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

POTTER, L. M. The precision of measuring metabolizable energy in poultry feedstuffs. **Feedstuffs**, Minneapolis, v.44, n.12 p. 28-30, 1972.

PRESTON, C. M.; McCracken, K. J.; Bedford, M. R. Effect of wheat content, fat source and enzyme supplementation on diet metabolisability and broiler performance. **British Poultry Science**, Cambridge, v.42, n.5, p.625-632, 2001. Abstract.

RAVINDRAN, V.; BRYDEN, W.L. Influence of dietary phytic acid and available phosphorus levels on the response of broilers to supplemental natuphos®. In: SHORT COURSE ON FEED TECHNOLOGY, 7., 1997, Ansong, Korea. **Proceedings...** Ansong, Korea: Korean Society of Animal Nutrition and Feedstuffs, 1997. p. 130.

RAVINDRAN, V. et al. Influence of microbial phytase on apparent ileal amino acid digestibility of feedstuffs for broilers. **Poultry Science**, Champaign, v.78, n.4, p.699-706, 1999.

RAVINDRAN, V. et al. Response of broiler chickens to microbial phytase supplementation as influenced by dietary phytic acid and non-phytate phosphorous levels. II. Effects on apparent metabolisable energy, nutrient digestibility and nutrient retention. **British Poultry Science**, Champaign, v.41, p.193-200, 2000.

REDDY, N. R.; SUTLE, S.K.; SALNKLE, D.K. Phytases in legumes and cereals. **Advances Food Research**, v.28, p.1-92, 1982.

REFSTIE, S.; SVIHUS, B.; SHEARER, K.D. Nutrient digestibility in atlantic salmon and broiler chickens related to viscosity and non-starch polysaccharide content in different soyabean products. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.79, n.2, p.331-345, 1999.

RENNER, R.; HILL, F. W. Utilization of fatty acids by the chicken. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v.74, p. 259-264, 1961.

RHODES, A. P.; JENKINS, G. The effect of varying nitrogen supply on the protein composition of high-lysine mutant barley. **Journal of Science Food Agricultural**, Washington, v.26, p.705-709, 1975.

RODEHUTSCORD, M. The effect of phytase on the availability of phosphorus in different ingredients in swine. In: BASF TECHNICAL SYMPOSIUM, 7., 1998, Durham. NC, 1998. **Proceedings...** Durham, NC: Caroline Swine Nutrition Conference, 1998. p. 32-45.

RODRIGUES, P. B. **Digestibilidade de nutrientes e valores energéticos de alguns alimentos para aves.** 2000. 203p. Tese (Doutorado em Zootecnia)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

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 da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n.1, p. 171-182, 2003.

ROSTAGNO, H. S. Exigências nutricionais e biodisponibilidade de fósforo para frangos de corte. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE NUTRIÇÃO DE AVES, 1998, Campinas. **Anais...** Campinas: CBNA, 1998. p.1-27.

ROSTAGNO, H. S.; QUEIROZ, A. C. Milho, sorgo e novas fontes energéticas para aves. In: ENCONTRO NACIONAL DE TÉCNICOS EM NUTRIÇÃO AVÍCOLA, 1978, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: Unesp, 1978. p. 83-103.

ROSTAGNO, H. S.; ROGLER, J. C.; FEATHERTON, W. R. Studies on the nutritional values of sorghum grains with varying tannin contents for chicks. 2. Amino acid digestibility studies. **Poultry Science**, Champaign, v.52, n.2, p.772-778, 1973.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais.** 2.ed. Viçosa: UFV, 2000. 141 p.

SCHOULTEN, N. A. **Viabilidade técnica e econômica do farelo de arroz em rações suplementadas com fitase e xilanase para frangos de corte.** 2002. 161p. Tese (Doutorado em Zootecnia)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SCOTT, M. L.; NESHEIM, M. C.; YOUNG, R. **Journal nutrition of the chicken.** 3.ed. Ithaca, NY: M. L. Scott e Associates, 1982. 562 p.

SEBASTIAN, S. et al. Apparent digestibility of protein and amino acids in broiler chickens fed a corn-soybean diet supplemented with microbial phytase. **Poultry Science**, Champaign, v.76, n.12, p.1760-1769, 1997.

SELLE, P.H. The potential of microbial phytase the sustainable production of pigs and poultry. In: SHORT COURSE AND FEED TECHNOLOGY,7., 1997, Ansong, Korea. **Proceedings...** Ansong, Korea: Korean Society of Animal Nutrition and Feed Stuffs, 1997. p.124.

SHIRES, A. et al. Effect of the age of chickens on the true metabolizable energy values of feed ingredients. **Poultry Science**, Champaign, v.59, n.2, p.396-403, 1980.

SIBBALD, I. R. The effect of level of feed intake on metabolizable energy values measured with adult roosters. **Poultry Science**, Champaign, v.54, n.6, p.1990-1997, 1975.

SIBBALD, I. R. A bioassay for the true metabolizable energy in feedstuffs. **Poultry Science**, Champaign, v.55, n.1, p.303-308, 1976.

SIBBALD, I. R. Measurement of bioavailable energy in poultry feedingstuffs: a review. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v.62, n.4, p.983-1048, 1982.

SIBBALD, I. R.; SLINGER, S. J. A biological assay for metabolizable energy in poultry feed ingredients together with findings which demonstrate some of the problems associated with the evaluation of fats. **Poultry Science**, Champaign, v.42, n.2, p.313-325, 1963.

SIBBALD, I. R.; SUMMERS, I.D.; SLINGER, S. J. A Factores affecting the metabolizable energy content of poultry feedstuffs. **Poultry Science**, Champaign, v.44, n.2, p.544-556, 1960.

SILVA, D. J. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2002. 235p.

SILVA, J. F. C.; LEÃO, M. I. **Fundamentos de nutrição de ruminantes**. Piracicaba: Livrocere, 1979. 384p.

SILVA, P. S. S.; SMITHARD, R. R. Exogenous enzymes in broiler diets: crypt cell proliferation, digesta viscosity, short chain fatty acids and xylanase in the jejunum. **British Poultry Science**, Cambridge, v.37, p. S41-S83, 1996. Abstract

SILVA, P. S. S.; SMITHARD, R. R. Digestion of protein, fat and energy in rye-based broiler diets is improved by the addition of exogenous xylanase and protease. **British Poultry Science**, Cambridge, v.38, p. S25-S45, 1997. Abstract.

SILVA, Y. L.; PEIXOTO, R. R.; PEIXOTO, C. R. Efeito da rancidez no valor nutricional do farelo de arroz com alto teor de gordura para poedeiras. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 19, p. 23-30, 1990.

SINGH, M.; KRIKORIAN, A. D. Inhibition of trypsin activity in vitro by phytate. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 30, p.799-800, 1982.

SOHAIL, S.S.; ROLAND, D. A. Influence of supplemental phytase on performance of broilers four to six weeks of age. **Poultry Science**, Champaign v.78. n.3, p.550-555, 1999.

SOTO-SALANOVA, M. The use of enzymes to improve the nutritional value of corn-soy diets for poultry and swine. In: SIMPÓSIO LATINO- AMERICANO DE NUTRIÇÃO DE SUÍNOS E AVES, 1996. Campinas, **Proceedings...** Campinas: CBNA, 1996. p.1-13.

SUMMERS, J. D.; LEESON, S. Influence of nutrient density on feed consumption, weight gain and gut capacity of broilers, leghorns and turkeys reared to 26 days of age. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.16, p.129 - 141, 1986.

TARDIN, A. C. Conceituação e importância da energia na nutrição das aves. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE AMBIÊNCIA E INSTALAÇÃO NA AVICULTURA INDUSTRIAL, 1995, Campinas. **Anais...** Campinas: APINCO, 1995. p.213-239.

TEICHMANN, H. F.; LÓPEZ, J.; LÓPEZ, S. E. Efeito da fítase na biodisponibilidade de fósforo em dietas com farelo de arroz integral para frangos de corte. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 27, n.2, p.338 -344, 1998.

TEIXEIRA, A. S. **Alimentos e alimentação dos animais**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 402 p.

TEJEDOR, A. A. **Uso de enzimas em dietas à base de milho e farelo de soja para frangos de corte**. 2000. 67p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

THOMSON, L. U.; YOON, J. H. Starch digestibility as affected by poly phenols and phytic acid. **Journal of Food Science**, n.49, p.1228-1229, 1984

TORIN, H. R. **Utilização do farelo de arroz industrial. Composição e valor nutritivo em dietas recuperativas**. 1991. 147 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Nutrição)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

TORRES, D. M. **Suplementação de rações para frangos de corte com protease, amilase e xilanase**. 1999. 80 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2nd ed. Ithaca, NY: Cornell University, 1994. 476p.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal Dairy Science**, v.74, p. 220, 1991. (Suppl. 1).

VANDERHOOF, J. A. Immunonutrition: the role of carbohydrates. **Nutrition Research**, New York. v.14, n.7/8, 1998.

WARDEN, W.K.; SHAIABLE, P.J. Action of antibiotics in stimulating growth of poultry. **Poultry Science**, Champaign, v.41, n.2, p.725-732, 1962.

WARNER, A. C. I. Rate of passage of digesta through the gut of mammals and birds. **Nutrition Abstract**, Farnham Royal, v.51, p.789-975, 1981. (Series B).

WARREN, B. E.; FARELL, D. J. The nutritive value of full-fat and defatted Australian rice bran. V. The apparent retention of minerals and apparent digestibility of amino acids in chickens and adult cockerels fitted with ileal cannulate. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.34, n 3/4, p. 323-342, 1991.

WARREN, B.; FARREL, E.; PARSONS, D.J. The nutritive value of full-fat and defatted rice bran. III. The apparent digestible energy content of defatted rice bran in rats and pigs and the metabolizability of energy and nutrients in defatted and full-fat bran in chickens and adult cockerels. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.27, n.3, p.245-247, 1990.

WOLYNETS, M. N.; SIBBALD, I. R. Relationships between apparent and true metabolizable energy and the effects of a nitrogen correction. **Poultry Science**, Champaign, v.63, n.7, p.1386-1399, 1984.

WYATT, C. L.; BEDFORD, M. R.; WALDRON, L. A. Role of enzymes in reducing variability in nutritive value of maize using the ileal digestibility method. In: AUSTRALIAN POULTRY SCIENCE SYMPOSIUM, 1999, Sydney. **Proceedings...** Sydney: University of Sydney, 1999. v. 11, p. 108-111.

YI, Z.; KORNEGAY, E.T.; DENBOW, D.W. Effect of microbial phytase on nitrogen and amino acid digestibility and nitrogen retention of turkey poultry fed corn-soybean meal diets. **Poultry Science**, Champaign, v.75, n.8, p. 979-990, 1996a.

YI, Z. et al. Improving phytase phosphorus availability in corn and soybean meal for broilers using microbial phytase and calculation of phosphorus equivalency values for phytase. **Poultry Science**, Champaign, v.75, n.12, p.240-249, 1996b.

YOUNG, R. J.; GARRETT, R. L. Effect of oleic and linoleic acids on the absorption of saturated fatty acids in the chick. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v.81, p. 321-329, 1963.

ZANELLA, I. **Suplementação enzimática em dietas a base de milho e sojas processadas sobre a digestibilidade de nutrientes e desempenho de frangos de corte**. 1998. 179 p. Tese (Doutorado em Zootecnia)-Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP.

ZANINI, S. F. **Efeitos da adição de enzimas à ração sobre a utilização de nutrientes para frangos de corte.** 1997. 77p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

ZEOULA, L. M. Recentes avanços em amido na nutrição de vacas leiteiras. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM BOVINOCULTURA DE LEITE, 2., 2001, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA/ FAEPE, 2001. p.249-284.

ZHAO, X.; JORGENSEN, H. R.; EGGUM, B.O. The influence of dietary fibre on body composition, visceral, organ weight, digestibility and energy balance in rats housed in different thermal environments. **British Journal Nutrition**, Cambridge, v. 73, n.5, p.687-699, 1995.

ZUPRIZAL, M. L.; CHAGNEAU, A. M.; GERAERT, P. A. Influence of ambient temperature on true digestibility of protein and amino acids of rapeseed and soybean meals in broilers. **Poultry Science**. Champaign v.72, p.289-295, 1993.

ANEXO

ANEXO A	Pág
TABELA 1A. Resumo da análise de variância para os coeficientes de digestibilidade da matéria seca, das rações determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr ₂ O ₃ (3 dias), Cr ₂ O ₃ (5 dias) e Sibbald	165
TABELA 2A. Resumo da análise de variância para os coeficientes de digestibilidade da matéria seca, do FAI e FAD, determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr ₂ O ₃ (3 dias), Cr ₂ O ₃ (5 dias) e Sibbald	165
TABELA 3A. Resumo da análise de variância para os coeficientes de digestibilidade da proteína bruta das rações determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr ₂ O ₃ (3 dias), Cr ₂ O ₃ (5 dias) e Sibbald	166
TABELA 4A. Resumo da análise de variância para os coeficientes de digestibilidade da proteína bruta, do FAI e FAD, determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr ₂ O ₃ (3 dias), Cr ₂ O ₃ (5 dias) e Sibbald	166
TABELA 5A. Resumo da análise de variância para os valores de proteína digestível das rações determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr ₂ O ₃ (3 dias), Cr ₂ O ₃ (5 dias) e Sibbald	167
TABELA 6A. Resumo da análise de variância para os valores de proteína digestível, do FAI e FAD, determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr ₂ O ₃ (3 dias), Cr ₂ O ₃ (5 dias) e Sibbald	167

TABELA 7A. Resumo da análise de variância para os coeficientes de digestibilidade do amido das rações, determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr ₂ O ₃ (3 dias), Cr ₂ O ₃ (5 dias) e Sibbald	168
TABELA 8A. Resumo da análise de variância para os coeficientes de digestibilidade do amido, do FAI e FAD, determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr ₂ O ₃ (3 dias), Cr ₂ O ₃ (5 dias) e Sibbald	168
TABELA 9A. Resumo da análise de variância para os coeficientes de digestibilidade do extrato etéreo das rações, determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr ₂ O ₃ (3 dias), Cr ₂ O ₃ (5 dias) e Sibbald	169
TABELA 10A. Resumo da análise de variância para os coeficientes de digestibilidade do extrato etéreo, do FAI e FAD, determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr ₂ O ₃ (3 dias), Cr ₂ O ₃ (5 dias) e Sibbald	169
TABELA 11A. Resumo da análise de variância para os coeficientes de digestibilidade da fibra em detergente neutro das rações, determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr ₂ O ₃ (3 dias), Cr ₂ O ₃ (5 dias) e Sibbald	170
TABELA 12A. Resumo da análise de variância para os coeficientes de digestibilidade da fibra em detergente neutro, do FAI e FAD, determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr ₂ O ₃ (3 dias), Cr ₂ O ₃ (5 dias) e Sibbald	170
TABELA 13A. Resumo da análise de variância para os coeficientes de digestibilidade da energia bruta das rações, determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr ₂ O ₃ (3 dias), Cr ₂ O ₃ (5 dias) e Sibbald	171

TABELA 14A. Resumo da análise de variância para os coeficientes de digestibilidade da energia bruta, do FAI e FAD, determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr ₂ O ₃ (3 dias), Cr ₂ O ₃ (5 dias) e Sibbald	171
TABELA 15A. Resumo da análise de variância para os valores de energia digestível e metabolizável das rações, determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr ₂ O ₃ (3 dias), Cr ₂ O ₃ (5 dias) e Sibbald	172
TABELA 16A. Resumo da análise de variância para os valores de energia digestível e metabolizável do FAI e FAD, determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr ₂ O ₃ (3 dias), Cr ₂ O ₃ (5 dias) e Sibbald	172

TABELA 1A. Resumo da análise de variância para os coeficientes de digestibilidade da matéria seca, das rações determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr₂O₃ (3 dias), Cr₂O₃ (5 dias) e Sibbald

Causas de variação	G.L.	Ileal		Cr ₂ O ₃ - 3 dias		Cr ₂ O ₃ - 5 dias		Sibbald	
		Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC
Ração (R)	1	47,3232	0,0000	356,4224	0,0000	428,2812	0,0000	305,4605	0,0000
Enzima (E)	1	4,9878	0,0008	44,1561	0,0000	7,2361	0,0109	26,2853	0,0022
R * E	1	0,7124	0,1570	0,0124	****	0,7186	****	1,1205	****
Erro	20	0,3616		1,4259		0,9809		2,3279	
CV %		0,73		1,55		1,28		2,03	

TABELA 2A. Resumo da análise de variância para os coeficientes de digestibilidade da matéria seca, do FAI e FAD, determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr₂O₃ (3 dias), Cr₂O₃ (5 dias) e Sibbald

Causas de variação	G.L.	Ileal		Cr ₂ O ₃ - 3 dias		Cr ₂ O ₃ - 5 dias		Sibbald	
		Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC
Alimento (A)	1	24,0600	0,0060	850,850	0,0000	1097,148	0,0000	3047,22 0	0,0000
Enzima (E)	1	14,0301	0,0293	33,8913	0,0002	53,850	0,0005	29,6400	0,0000
A * E	1	0,0260	****	0,0580	****	0,019	****	3,8345	****
Erro	20	2,5467		1,6604		3,129		0,5570	
CV %		2,23		2,39		3,32		1,28	

TABELA 3A. Resumo da análise de variância para os coeficientes de digestibilidade da proteína bruta das rações determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr₂O₃ (3 dias), Cr₂O₃ (5 dias) e Sibbald

Causas de variação	G.L	Ileal		Cr ₂ O ₃ - 3 dias		Cr ₂ O ₃ - 5 dias		Sibbald	
		Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC
Ração (R)	1	443,4216	0,000	178,1666	0,000	216,9030	0,0000	54,5847	0,0000
Enzima (E)	1	11,8336	0,000	134,6760	0,000	15,3403	0,0062	14,1686	0,0029
R * E	1	0,0086	****	0,0481	****	0,6614	****	0,0288	****
Erro	20	0,0742		4,4285		1,7704		1,3327	
CV%		0,51		3,45		2,22		1,64	

TABELA 4A. Resumo da análise de variância para os coeficientes de digestibilidade da proteína bruta, do FAI e FAD, determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr₂O₃ (3 dias), Cr₂O₃ (5 dias) e Sibbald

Causas de variação	G.L	Ileal		Cr ₂ O ₃ - 3 dias		Cr ₂ O ₃ - 5 dias		Sibbald	
		Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC
Alimento (A)	1	549,031 1	0,000	1488,69 0	0,0000	460,075 3	0,000	748,197 6	0,000
Enzima (E)	1	9,614	0,000	55,2067	0,0007	87,554 4	0,0 00	17,1881	0,154
A * E	1	0,1365	****	0,1380	****	0,4004	****	0,0167	****
Erro	20	0,3308		3,4447		2,8040		7,7794	
CV%		2,15		3,94		3,94		4,35	

TABELA 5A. Resumo da análise de variância para os valores de proteína digestível das rações determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr₂O₃ (3 dias), Cr₂O₃ (5 dias) e Sibbald

Causas de variação	G.L	Ileal		Cr ₂ O ₃ - 3 dias		Cr ₂ O ₃ - 5 dias		Sibbald	
		Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC
Ração (R)	1	41,6178	0,0000	15,4046	0,0000	25,5192	0,0000	16,0806	0,0000
Enzima (E)	1	1,1165	0,0000	2,0592	0,0071	1,4121	0,0002	2,9154	0,0000
R * E	1	0,0070	0,1442	0,0124	****	0,0083	****	0,7398	0,0001
Erro	20	0,0034		0,2464		0,0796		0,5436	
CV%		0,53		3,90		2,27		1,47	

TABELA 6A. Resumo da análise de variância para os valores de proteína digestível, do FAI e FAD, determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr₂O₃ (3 dias), Cr₂O₃ (5 dias) e Sibbald

Causas de variação	G.L	Ileal		Cr ₂ O ₃ - 3 dias		Cr ₂ O ₃ - 5 dias		Sibbald	
		Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC
Alimento (A)	1	61,4016	0,0000	6,6782	0,0000	0,8177	0,0100	21,6169	0,0000
Enzima (E)	1	0,1305	0,0057	3,3600	0,0000	2,1301	0,0002	0,0902	0,3277
A * E	1	0,0171	0,2750	0,0451	0,1732	0,0063	*****	0,0670	****
Erro	20	0,0136		0,0226		0,1011		0,0894	
CV %		3,95		1,99		5,43		2,86	

TABELA 7A. Resumo da análise de variância para os coeficientes de digestibilidade do amido das rações, determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr₂O₃ (3 dias), Cr₂O₃ (5 dias) e Sibbald

Causas de variação	G.L	Ileal		Cr ₂ O ₃ - 3 dias		Cr ₂ O ₃ - 5 dias		Sibbald	
		Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC
Ração (R)	1	1000,60 80	0,0000	199,738 4	0,0000	165,867 6	0,0000	105,823 0	0,0000
Enzima (E)	1	63,3616	0,0000	12,9960	0,0000	9,6410	0,0000	18,6900	0,0000
R * E	1	0,35363	****	1,1348	0,0283	0,1937	****	0,4792	0,3345
Erro	20	0,6540		0,2821		0,2757		0,4213	
CV%		1,08		0,61		0,57		0,75	

TABELA 8A. Resumo da análise de variância para os coeficientes de digestibilidade do amido, do FAI e FAD, determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr₂O₃ (3 dias), Cr₂O₃ (5 dias) e Sibbald

Causas de variação	G.L	Ileal		Cr ₂ O ₃ - 3 dias		Cr ₂ O ₃ - 5 dias		Sibbald	
		Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC
Alimento (A)	1	1942,5610	0,0000	230,2682	0,0000	495,0418	0,0000	235,2532	0,0000
Enzima (E)	1	8,2838	0,1302	91,3380	0,0000	27,0513	0,0019	50,6770	0,0000
A * E	1	0,6734	****	0,3851	****	0,0081	*****	0,0568	****
Erro	20	3,3259		0,4178		2,121164		0,8828	
CV%		2,11		0,93		1,90		2,11	

TABELA 9A. Resumo da análise de variância para os coeficientes de digestibilidade do extrato etéreo das rações, determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr₂O₃ (3 dias), Cr₂O₃ (5 dias) e Sibbald

Causas de variação	G.L	Ileal		Cr ₂ O ₃ - 3 dias		Cr ₂ O ₃ - 5 dias		Sibbald	
		Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC
Ração (R)	1	208,3415	0,0000	373,4905	0,0000	423,4728	0,0000	75,3561	0,0000
Enzima (E)	1	71,6281	0,0000	39,8161	0,0000	18,0059	0,0000	14,7899	0,0007
R * E	1	0,2784	****	1,3488	****	2,4081	0,0188	0,1908	****
Erro	20	0,3734		1,7187		0,5293		1,0264	
CV%		0,72		1,55		0,85		1,19	

TABELA 10A. Resumo da análise de variância para os coeficientes de digestibilidade do extrato etéreo, do FAI e FAD, determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr₂O₃ (3 dias), Cr₂O₃ (5 dias) e Sibbald

Causas de variação	G.L	Ileal		Cr ₂ O ₃ - 3 dias		Cr ₂ O ₃ - 5 dias		Sibbald	
		Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC
Alimento (A)	1	686,1912	0,0000	1160,651	0,0000	1258,312	0,000	1094,362	0,0000
Enzima (E)	1	60,2617	0,0000	142,2040	0,0000	137,4731	0,000	54,4017	0,0003
A * E	1	5,6551	0,0686	3,4961	0,1636	15,81125	****	0,7872	****
Erro	20	1,5259		1,6715		2,1400		2,7529	
CV%		1,83		2,11		2,36		1,28	

TABELA 11A. Resumo da análise de variância para os coeficientes de digestibilidade da fibra em detergente neutro das rações, determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr₂O₃ (3 dias), Cr₂O₃ (5 dias) e Sibbald

Causas de variação	G.L	Ileal		Cr ₂ O ₃ - 3 dias		Cr ₂ O ₃ - 5 dias		Sibbald	
		Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC
Ração (R)	1	398,6306	0,000	579,3643	0,0000	666,9816	0,0000	75,6778	0,0000
Enzima (E)	1	39,8792	0,000	10,15485	0,0040	6,3420	0,0404	7,0357	0,0073
R * E	1	0,1290	****	0,0827	****	0,1581	****	0,04761	****
Erro	20	1,1091		1,0466		1,3819		0,8448	
CV%		1,97		1,95		2,17		1,54	

TABELA 12A. Resumo da análise de variância para os coeficientes de digestibilidade da fibra em detergente neutro, do FAI e FAD, determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr₂O₃ (3 dias), Cr₂O₃ (5 dias) e Sibbald

Causas de variação	G.L	Ileal		Cr ₂ O ₃ - 3 dias		Cr ₂ O ₃ - 5 dias		Sibbald	
		Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC
Alimento (A)	1	514,115	0,0000	6,8160	0,0092	190,8576	0,000	1253,349	0,0000
Enzima (E)	1	9,6520	0,0015	16,9848	0,0002	23,7208	0,000	25,9252	0,0051
A * E	1	0,5222	****	0,1162	****	0,7776	****	0,9143	****
Erro	20	0,7094		0,8194		0,8872		2,5808	
CV%		3,00		4,26		4,29		2,98	

TABELA 13A. Resumo da análise de variância para os coeficientes de digestibilidade da energia bruta das rações, determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr₂O₃ (3 dias), Cr₂O₃ (5 dias) e Sibbald

Causas de variação	G.L.	Ileal		Cr ₂ O ₃ - 3 dias		Cr ₂ O ₃ - 5 dias		Sibbald	
		Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC
Ração (R)	1	231,0338	0,0000	221,9367	0,0000	323,2033	0,0000	248,0710	0,0000
Enzima (E)	1	58,3951	0,0000	34,8297	0,0000	35,48192	0,0000	0,0323	****
R * E	1	0,2247	****	1,20231	0,2056	1,5455	0,1059	0,0586	****
Erro	20	0,3508		0,7207		0,6381		0,3933	
CV%		0,85		1,21		1,09		0,86	

TABELA 14A. Resumo da análise de variância para os coeficientes de digestibilidade da energia bruta, do FAI e FAD, determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr₂O₃ (3 dias), Cr₂O₃ (5 dias) e Sibbald

Causas de variação	G.L.	Ileal		Cr ₂ O ₃ - 3 dias		Cr ₂ O ₃ - 5 dias		Sibbald	
		Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC
Alimento (A)	1	99,1860	0,0000	27,7350	0,0002	12,5570	0,0630	5511,109	0,0000
Enzima (E)	1	81,7335	0,0000	111,4566	0,0000	156,3662	0,0000	0,2923	****
A * E	1	0,8778	*****	7,4148	****	0,6734	*****	0,0391	****
Erro	20	2,6911		1,3696		3,2418		2,1752	
CV%		3,28		2,30		3,57		2,00	

TABELA 15A. Resumo da análise de variância para os valores de energia digestível e metabolizável das rações, determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr₂O₃ (3 dias), Cr₂O₃ (5 dias) e Sibbald

Causas de variação	G.L	Ileal		Cr ₂ O ₃ - 3 dias		Cr ₂ O ₃ - 5 dias		Sibbald	
		Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC
Ração (R)	1	726613,6	0,0000	936735,7	0,0000	948863,900	0,0000	183046,4	0,0000
Enzima (E)	1	131023,5	0,0000	67113,82	0,0000	78086,700	0,0000	67038,93	0,0000
R * E	1	551,9	****	3412,50	0,1602	3190,318	0,1175	11299,18	0,0175
Erro	20	763,3		1751,85		1386,083		2422,99	
CV%		0,85		1,22		1,09		1,33	

TABELA 16A. Resumo da análise de variância para os valores de energia digestível e metabolizável, do FAI e FAD, determinada pelos métodos de digestibilidade ileal, Cr₂O₃ (3 dias), Cr₂O₃ (5 dias) e Sibbald

Causas de variação	G.L	Ileal		Cr ₂ O ₃ - 3 dias		Cr ₂ O ₃ - 5 dias		Sibbald	
		Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC	Q.M	P>FC
Alimento (A)	1	2784255,0	0,000	2150848,00	0,000	1993059,00	0,000	3398639,00	0,0000
Enzima (E)	1	171609,4	0,000	263075,60	0,000	325219,300	0,000	874579,90	0,0000
A * E	1	4563,934	****	22814,85	****	3723,296	****	33355,79	0,2754
Erro	20	5749,1		3140,43		6794,188		26450,11	
CV%		3,38		2,51		3,66		4,64	