

UFRRJ
INSTITUTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

DISSERTAÇÃO

Digestibilidade ileal verdadeira do fósforo de fosfatos bicálcicos para frangos de corte

Gleyce Lopes da Costa

2021



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**DIGESTIBILIDADE ILEAL VERDADEIRA DO FÓSFORO DE FOSFATOS
BICÁLCICOS PARA FRANGOS DE CORTE**

Gleyce Lopes da Costa

Sob a Orientação da Professora
Cristina Amorim Ribeiro de Lima

e Co-orientação de
Felipe Dilelis de Resende Sousa

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Zootecnia** no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração em Produção Animal.

Seropédica, RJ
Dezembro, 2021

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Biblioteca Central /
Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C837d Costa, Gleyce Lopes da, 1993-
Digestibilidade ileal verdadeira do fósforo de
fosfatos bicálcicos para frangos de corte / Gleyce
Lopes da Costa. - Seropédica, 2021.
51 f.: il.
Orientadora: Cristina Amorim Ribeiro de Lima.
Coorientador: Felipe Dilelis de Resende Sousa.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em
Zootecnia, 2021.
1. Nutrição de monogástricos. I. Lima, Cristina
Amorim Ribeiro de, 1963-, orient. II. Sousa, Felipe
Dilelis de Resende, 1988-, coorient. III Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-
graduação em Zootecnia. IV. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA



TERMO Nº 1225 / 2021 - PPGZ (12.28.01.00.00.00.61)

Nº do Protocolo: 23083.083441/2021-02

Seropédica-RJ, 19 de novembro de 2021.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

GLEYCE LOPES DA COSTA

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre(a)**, no Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Área de Concentração em Produção Animal.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 16/11/2021.

Conforme deliberação número 001/2020 da PROPPG, de 30/06/2020, tendo em vista a implementação de trabalho remoto e durante a vigência do período de suspensão das atividades acadêmicas presenciais, em virtude das medidas adotadas para reduzir a propagação da pandemia de Covid-19, nas versões finais das teses e dissertações as assinaturas originais dos membros da banca examinadora poderão ser substituídas por documento(s) com assinaturas eletrônicas. Estas devem ser feitas na própria folha de assinaturas, através do SIPAC, ou do Sistema Eletrônico de Informações (SEI) e neste caso a folha com a assinatura deve constar como anexo ao final da tese/ dissertação.

Banca Examinadora:

Cristina Amorim Ribeiro de Lima, Dr.^a UFRRJ - (Presidente)

Christiane Silva Souza, Dr. UFRRJ

Flávio Medeiros Vieites, Dr. UFRRJ

(Assinado digitalmente em 22/11/2021 10:16)
CRISTINA AMORIM RIBEIRO DE LIMA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptNAP (12.28.01.00.00.00.62)
Matrícula: 387738

(Assinado digitalmente em 23/11/2021 14:42)
FLÁVIO MEDEIROS VIEITES
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 037.683.227-42

(Assinado digitalmente em 19/11/2021 19:07)
CHRISTIANE SILVA SOUZA
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 714.021.361-53

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos aqueles que acompanharam a minha trajetória.

AGRADECIMENTO

A Deus, que permitiu tudo isso acontecer, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitária, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

Aos meus pais, Mauro Pereira da Costa e Rosiana Xavier Lopes e a minha avó Lucimar Pereira da Costa, que são minhas inspirações, que me apoiaram e me deram forças nos momentos difíceis quando mais precisei.

Aos meus tios, Marivaldo Pereira da Costa, Rosenilda Xavier Lopes e Paulo Xavier Lopes, que sempre estiveram comigo e me ajudaram no decorrer dessa jornada.

Aos meus avós Maria Lúcia Xavier Lopes e Benedito Xavier Lopes que me apoiaram mesmo estando distantes.

A toda minha família pelo apoio que sempre me deram durante toda a minha vida.

A minha orientadora, Dr. Cristina Amorim Ribeiro de Lima, pelos ensinamentos, aprendizado, compreensão, paciência, empenho e dedicação à elaboração deste trabalho.

Ao meu coorientador, Dr. Felipe Dilelis de Resende Sousa, que teve a paciência de me orientar, obrigada por todos os ensinamentos.

Ao Corpo Docente, do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

A Marcos Fábio de Lima, juntamente com o IFRJ pela ajuda na aquisição de um dos ingredientes para a realização do meu experimento.

Aos amigos, que participaram dessa jornada Jessica Amaral Costa, Christiane Silva Souza, Guilherme Alves Do Val, Lucas Rodrigo Justino, Cleriston Andrade Machado, Renan Ribeiro e Silva pela amizade e pelo apoio durante todos os momentos desse mestrado.

Aos colegas da Pós-graduação, Debora Vaccari Quaresma, Tulio Leite Reis, Felipe Soares Jiló, Rafael Carvalho Silva e Andreoli Correia Alves.

A Tatiane Frota Dias, parceira de mestrado e de experimento, batalhamos juntas para que tudo ocorresse conforme o planejado, muito obrigada.

A equipe da avicultura, Alex da Silva Mattos, Betinho, Denicio Brito da Silva e Ednaldo Fernandes Guariento que deram muito apoio durante a realização dos experimentos.

A equipe da cunicultura, Pedro Timóteo, Valdeci Galvão e Jeferson Reis, meu muito obrigada.

Ao funcionário Luís Carlos da Silva pela ajuda na fabricação das dietas experimentais.

Ao Centro Integrado de Produção da UFRRJ pelo apoio no fornecimento de insumos para o experimento, na figura do Coordenador Everton da Silva Mattos.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela oportunidade de ter um ensino público, gratuito e de qualidade.

Ao PPGZ, pela oportunidade concedida para a realização do curso de mestrado.

Ao Departamento de Nutrição Animal e Pastagens e ao Instituto de Zootecnia, pelo apoio na realização desse curso.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

O Presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

BIOGRAFIA

Gleyce Lopes da Costa, filha de Mauro Pereira da Costa e Rosiana Xavier Lopes e neta da Lucimar Pereira da Costa, nasceu em 07 de novembro de 1993, na cidade de Belém/PA.

Concluiu o ensino médio na escola de ensino médio Santa Maria de Belém do Grão-Pará no ano de 2010.

No ano de 2013 ingressou no curso de graduação em Zootecnia, na Universidade Federal Rural da Amazônia, em Belém/PA, concluída em 2018.

Em 2019, ingressou no curso de Mestrado em Zootecnia no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, submetendo-se a defesa de dissertação em 16/11/2021.

RESUMO

COSTA, Gleyce Lopes da. **Digestibilidade ileal verdadeira do fósforo de fosfatos bicálcicos em dietas para frangos de corte**. 2021. 51 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Instituto de Zootecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

É provável que a digestibilidade do P varie em função da origem do ingrediente mineral, estrutura química, granulometria e solubilidade, assim, objetivou-se determinar os coeficientes de digestibilidade ileal verdadeiro do fósforo (CdivP) de três fosfatos bicálcicos, em dietas para frangos de corte. Para a determinação do CdivP, foi realizado um ensaio de metabolismo com coleta de conteúdo ileal. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial $3 \times 2 + 1$, sendo três ingredientes (fosfato 1, fosfato 2 e fosfato 3) e dois valores de inclusão, e uma dieta basal, com seis repetições por tratamento e seis aves por unidade experimental ($n=252$). Foram formuladas seis dietas a base de milho e farelo de soja com inclusão gradual dos ingredientes teste. Cada ingrediente teve dois valores de inclusão 0,075 e 0,15% de P. Adotou-se o método de regressão para a determinação da digestibilidade do P dos fosfatos bicálcicos. O dióxido de titânio foi adicionado às rações experimentais em 0,5%, como indicador indigestível. As aves foram alojadas em gaiolas de metabolismo aos 14 dias de idade, alimentadas a partir do 19º dia, com as dietas experimentais. No 22º dia de vida, todas as aves foram eutanasiadas e o conteúdo ileal foi coletado. Os coeficientes de digestibilidade ileal aparente do fósforo das dietas experimentais variou entre 0,489 a 0,543. Não foram verificadas interações entre o nível de fósforo e a fonte utilizada para os coeficientes de digestibilidade ileal aparente do fósforo ($P>0,05$). Os coeficientes de digestibilidade ileal aparente do fósforo não foram afetados pelo nível de fósforo ($P> 0,05$), entretanto, as fontes avaliadas distinguiram-se entre si ($P<0,05$). A dieta com o fosfato bicálcico 2 (FB2) apresentou a maior digestibilidade de P, enquanto a dieta com FB3 apresentou digestibilidade intermediária e a dieta com FB1 apresentou a menor digestibilidade. Os CdivP dos fosfatos FB1, FB2 e FB3 foram 0,3639, 0,4897 e 0,3553 respectivamente. As perdas endógenas de P para FB1, FB2 e FB3 foi de 0,66, 0,27 e 0,76 (g/kgMS) respectivamente. A maior digestibilidade verificada foi do fosfato bicálcico 2 (FB2) 48,97%. Não foram verificadas diferenças significativas entre a digestibilidade ileal verdadeira do fósforo dos fosfatos bicálcicos ($P>0,05$) utilizados, determinados pela análise de covariância. Logo, pode-se afirmar que os coeficientes de inclinação da reta foram iguais entre os fosfatos. Uma forte relação linear entre conteúdo de fósforo digestível e o conteúdo de fósforo total da dieta, indicaram que o método de regressão pode ser utilizado para a estimativa da digestibilidade verdadeira do fósforo do fosfato bicálcico ($R^2=0,9614, 0,9928$ e $0,9114$) respectivamente. A comparação dos resultados com as fontes de P estudadas e os valores descritos na literatura caracterizaram que os detalhes metodológicos, a relação Ca:P e a influência da dieta basal podem influenciar a digestibilidade do P. Desse modo faz-se necessário padronizar o protocolo experimental para alcançar melhor comparabilidade entre resultados. Os resultados apontaram que pode ser utilizado um valor representativo de digestibilidade do fósforo de diferentes fosfatos bicálcicos. A digestibilidade média do fósforo dos fosfatos estudados, de 40,23%, indicando que os valores utilizados em geral estão superestimados, o que pode ocasionar a erros na formulação de rações de frangos de corte.

Palavras-chave: Fontes de fósforo, fósforo digestível, método de regressão.

ABSTRACT

COSTA, Gleyce Lopes da. **True ileal digestibility of phosphorus from dicalcium phosphates in broiler diets.** 2021. 51 p. Dissertation (Masters in Animal Science). Institute of Animal Science, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

It is likely that the P digestibility varies depending on the origin of the mineral ingredient, chemical structure, particle size and solubility, thus, the objective was to determine the true ileal phosphorus digestibility coefficients (CdivP) of three dicalcium phosphates in diets for broiler chickens. cut. For the determination of CdivP, a metabolism assay was performed with collection of ileal content. The experimental design was completely randomized, in a 3 x 2 +1 factorial scheme, with three ingredients (phosphate 1, phosphate 2 and phosphate 3) and two inclusion values, and a basal diet, with six replicates per treatment and six birds per unit experimental (n=252). Six diets based on corn and soybean meal were formulated with gradual inclusion of test ingredients. Each ingredient had two inclusion values, 0.075 and 0.15% of P. The regression method was adopted to determine the P digestibility of dicalcium phosphates. Titanium dioxide was added to the experimental rations at 0.5%, as an indigestible indicator. The birds were housed in metabolism cages at 14 days of age, fed from the 19th day onwards, with the experimental diets. On the 22nd day of life, all birds were slaughtered, and the ileal contents were collected. The apparent ileal digestibility coefficients of phosphorus in the experimental diets ranged from 0.489 to 0.543. There were no interactions between the phosphorus level and the source used for the apparent ileal digestibility coefficients of phosphorus ($P>0.05$). The apparent ileal digestibility coefficients of phosphorus were not affected by the phosphorus level ($P>0.05$), however, the sources evaluated were distinguished from each other ($P<0.05$). The diet with dicalcium phosphate 2 (FB2) had the highest P digestibility, while the diet with FB3 had intermediate digestibility and the diet with FB1 had the lowest digestibility. The CdivP of phosphates FB1, FB2 and FB3 were 0.3639, 0.4897 and 0.3553 respectively. The endogenous P losses for FB1, FB2 and FB3 were 0.66, 0.27 and 0.76 (g/kgMSi) respectively. The highest digestibility was verified for dicalcium phosphate 2 (FB2) 48.97%. There were no significant differences between the true ileal phosphorus digestibility of the dicalcium phosphates ($P>0.05$) used, determined by the analysis of covariance. Therefore, it can be stated that the slope coefficients of the line were equal among the phosphates. A strong linear relationship between digestible phosphorus content and total dietary phosphorus content indicated that the regression method can be used to estimate the true phosphorus digestibility of dicalcium phosphate ($R^2=0.9614, 0.9928$ and 0.9114) respectively. Comparison of the results with the studied P sources and the values described in the literature characterized that the methodological details, the Ca:P ratio and the influence of the basal diet can influence the P digestibility. Thus, it is necessary to standardize the experimental protocol to achieve better comparability between results. The results showed that a representative value of phosphorus digestibility of different dicalcium phosphates can be used. The mean phosphorus digestibility of the studied phosphates, of 40.23%, indicating that the values used in general are overestimated, which can lead to errors in the formulation of broiler rations.

Keywords: Sources of phosphorus, digestible phosphorus, regression method.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Alojamento das aves na fase pré-experimental.....	11
Figura 2. Gaiolas metabólicas, distribuídas em bateria metálicas, equipadas com comedouro tipo calha e bebedouro tipo copo.....	13
Figura 3. Identificação do divertículo de Meckel e a junção ileocecólica para coleta do conteúdo ileal.....	15
Figura 4. Amostras do conteúdo ileal.....	16
Figura 5. Material moído e armazenado nos recipientes.....	16
Figura 6. Regressão do conteúdo de fósforo digestível (g/kg MS) vs o teor de fósforo nas dietas (g/kg MS) fosfato bicálcico 1(FB1).	23
Figura 7. Regressão do conteúdo de fósforo digestível (g/kg MS) vs o teor de fósforo da dieta (g/kg MS) fosfato bicálcico 2(FB2).....	23
Figura 8. Regressão do conteúdo de fósforo digestível (g/kg MS) vs o teor de fósforo da dieta (g/kg MS) fosfato bicálcico 3(FB3).....	24
Figura 9. Comparação dos coeficientes de digestibilidade ileal verdadeira do fósforo (CdviP) dos fosfatos bicálcicos (FB1, FB2 e FB3) determinado pelo método de regressão e comparados pela análise de covariância.	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Ração pré-experimental fornecida até os 18 dias de idade das aves.	12
Tabela 2. Dietas experimentais para determinação do fósforo digestível de três fosfatos bicálcico pelo método de regressão em (g/kg).	14
Tabela 3. Tamanho de partícula e composição analisada (%) do fosfato bicálcico 1(FB1) fosfato bicálcico 2 (FB2) e fosfato bicálcico 3 (FB3) descritas na TBAS.	19
Tabela 4. Desempenho de frangos de corte alimentados com as dietas experimentais de 19 a 22 dias de idade.	21
Tabela 5. Digestibilidade ileal aparente do fósforo (DiAP) das dietas experimentais.	22
Tabela 6. Valores em fósforo digestível(g/kg MS) das dietas experimentais	24
Tabela 7. Regressão Linear entre o fósforo digestível (g/kg de Msi) vs o teor de fósforo de dietas (g/kg de MS) dos três fosfatos bicálcicos utilizados.	25
Tabela 8. Valores de fósforo total e fósforo digestível dos fosfatos bicálcicos utilizados.	28

LISTA DE ABREVIACOES

ADP	adenosina difosfato;
AMP	adenosina monofosfato
ATP	adenosina trifosfato
Ca	cálcio;
CdivP	coeficiente de digestibilidade ileal verdadeiro do fósforo;
DNA	cido desoxirribonucleico;
FB	fosfato bicálcico;
FM	fosfato monocálcico
P	fósforo;
PEP	perdas endógenas de fósforo;
Pnf	fósforo não-ftico;
RNA	cido ribonucleico;
PTH	hormônio da paratireoide
TBAS	tabelas brasileiras de aves e suínos;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1	Importância do P para as Aves	2
2.2	Ácido Fítico e Fitato	3
2.3	Conteúdo de Fósforo nos Alimentos	4
2.4	Fonte de Fósforo de Origem Inorgânica nas Dietas das Aves	4
2.5	Fósforo Digestível	5
2.6	Exigência de Fósforo Digestível para Frangos de Corte	6
2.7	Metodologia para Determinação da Digestibilidade de Fósforo de Ingredientes...7	
2.8	Digestibilidade do Fósforo de Fosfatos	9
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1	Local do Estudo	11
3.2	Aves, Instalações e Manejo Inicial.....	11
3.3	Dietas e Delineamento Experimental	13
3.4	Coleta e Processamento de Amostra	15
3.5	Análises Laboratoriais	16
3.6	Cálculos dos Coeficientes de Digestibilidade do Fósforo	17
3.7	Análises Estatísticas.....	18
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
5	CONCLUSÕES	30
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

1 INTRODUÇÃO

O mineral fósforo (P) é um importante objeto de estudos em nutrição animal, não apenas por questões econômicas e ambientais, mas também por estar altamente relacionado com parâmetros de crescimento e desenvolvimento ósseo das aves.

As rações das aves são compostas em grande parte por ingredientes de origem vegetal, que possuem baixos valores de fósforo, presente em grande proporção na forma de inositol fosfato ou fitato, que devido à falta da enzima fitase endógena se tornam indisponíveis para as aves. A fim de reduzir o P total da dieta, o uso de fitase exógena surge como uma alternativa para um uso mais eficiente do P na dieta e leva a uma inclusão menor de fosfatos alimentares.

No entanto, fontes minerais de P nas dietas para frangos de corte são necessárias para atender aos requisitos nutricionais das aves e evitar deficiências desse mineral.

O fosfato inorgânico disponível comercialmente de fontes como o fosfato bicálcico contém cerca de 18,5% de P (ROSTAGNO et al. 2017).

As exigências em fósforo para frangos de corte e a composição dos ingredientes têm sido expressas como fósforo disponível, que é a diferença entre fósforo total e o fósforo presente sob a forma de ácido fítico. Entretanto, nem todo fósforo fítico é excretado pelo animal e nem todo fósforo disponível é absorvido pela ave. Por isso, existe um grande interesse em se expressar as exigências e a composição nos ingredientes em fósforo digestível, contudo, faz-se necessário determinar a digestibilidade desse mineral em diferentes fontes, como as de origem inorgânica.

A digestibilidade de P de ingredientes determinada pelo cálculo da diferença entre P consumido e P excretado nas excretas, pode resultar em uma subestimação da digestibilidade verdadeira do P, pois o P absorvido, mas não utilizado, é excretado pela urina. A determinação ileal da digestibilidade de P pode resultar em coeficientes de digestibilidade mais confiáveis e consistentes.

Dentre as metodologias disponíveis para determinação da digestibilidade ileal do P, o método de regressão é o recomendado pela World's Poultry Science Association (WPSA) para a avaliação de fontes minerais de P. Este método tem como base a regressão total de fósforo encontrado na digesta ileal em relação à quantidade de fósforo ingerida oriunda do ingrediente teste, gerando uma equação linear. Essas condições permitem determinar o coeficiente de digestibilidade ileal verdadeiro do P da fonte teste a partir da inclinação da reta. Assim, as correções para perdas endógenas de P não são necessárias, pois o intercepto da curva será o valor estimado para as perdas endógenas.

O conhecimento de valores de digestibilidade ileal verdadeira do P de diferentes fosfatos bicálcicos, pode permitir a formulação de rações mais precisas, contribuindo para a diminuição da poluição ambiental causada pelo excesso de P nas excretas.

Objetivou-se determinar o coeficiente de digestibilidade ileal verdadeiro do fósforo de três fosfatos bicálcicos para frangos de corte pelo método de regressão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância do P para as Aves

O fósforo é o segundo mineral mais abundante no corpo do animal encontrado nos ossos em quantidade de 80% e os 20% restantes do fósforo corporal estão amplamente distribuídos nos fluidos e tecidos moles do corpo, sendo sua função mais importante a formação e manutenção dos ossos e as mudanças na estrutura e composição óssea (SUTTLE, 2010). Que juntamente com o cálcio é depositado na forma de hidroxiapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$). A maior parte do fósforo presente no organismo se apresenta na forma ligada ao oxigênio, formando o ânion fosfato (ANGEL, 2007).

O P atende a uma série de funções essenciais (SUTTLE, 2010), das quais desempenha um papel crucial na manutenção da pressão osmótica celular, equilíbrio ácido, metabolismo energético e transferência da atividade de adenosina trifosfato (ATP), incluindo a utilização de energia e transferência via AMP e ADP, e creatina fosfato, e uma variedade de outras funções fisiológicas importantes, incluindo a transferência de informação genética e regulação proteica via ácido desoxirribonucleico (DNA), essenciais para o crescimento e diferenciação celular, e ácido ribonucleico (RNA) (SANNI, 2017).

Como fosfolípídeo, contribui para a fluidez e integridade da membrana celular e à mielinização dos nervos; e na forma de fosfato (PO_4) auxiliando no equilíbrio osmótico e ácido-base, com implicações na gliconeogênese, transporte de ácidos graxos, síntese de aminoácidos e proteínas e atividade da bomba de íons sódio / potássio. (UNDERWOOD e SUTTLE, 2010).

O National Research Council (NRC, 1994), evidenciou a importância da suplementação adequada de P durante as fases do crescimento e postura. O consumo inadequado de fósforo pode acarretar vários problemas, entre eles a redução no tamanho e produção de ovos, elevação dos índices de mortalidade, assim como outras enfermidades como o raquitismo e a osteomalácia que são resultados de uma mineralização óssea inadequada em animais jovens e adultos respectivamente, caso a suplementação, de fósforo, esteja abaixo da exigência do animal na dieta (SILVA et al. 2015).

O fósforo pode ser ingerido na forma inorgânica como mono, di ou trifosfato, ou na forma orgânica como fitatos, fosfolípídios ou fosfoproteínas, sua absorção ocorre no intestino delgado sob a forma de ortofosfatos. O fósforo presente nos alimentos é solubilizado no estômago e no intestino proximal, sendo o jejuno a porção mais ativa de absorção deste mineral. A absorção está fortemente correlacionada com o ponto de maior solubilidade do fosfato, sofrendo a interferência de vários fatores como: pH, concentração de cálcio, ortofosfatos e vitamina D₃ (MCDOWELL, 1992; AUMAN, 2003).

O transporte de fósforo através das membranas se dá por processos ativos, cujos transportadores podem ser saturados, e por processos de absorção passiva, não saturáveis. O cotransporte ativo de fósforo, ocorre através da membrana intestinal, é o maior responsável pela absorção de fosfatos na região proximal do intestino delgado. Já o transporte passivo, ocorre quando há um gradiente de concentração eletricamente favorável, promovido pelas cargas presentes nos íons, esse transporte podendo ser facilitado pela presença de carreadores entre as membranas basolaterais, que ao chegar nessas membranas, o grupamento fosfato move-se passivamente por concentração ou por gradiente eletroquímico da célula até o sangue (AUMAN, 2003). A taxa com que é absorvido depende de vários fatores reguladores como o

pH intestinal, nível de fósforo da dieta, relação cálcio: fósforo, vitamina D e outros minerais, além de mecanismos como os que envolvem absorção intestinal e excreção renal.

Com papéis tão diversificados no organismo animal, as concentrações de cálcio e fósforo no plasma, tecidos moles e ossos devem estar em constante equilíbrio, sendo controlados por refinados mecanismos endócrinos (GARZILLO, 1996).

No sangue, o fósforo é rapidamente destinado para a formação dos ossos e dentes de mamíferos em crescimento, os níveis plasmáticos são mantidos através da mineralização e desmineralização dos ossos, quando em excesso, são eliminados através dos rins e todo esse mecanismo é regulado pela ação dos hormônios paratiroídianos (PTH), calcitonina e estrógenos que atuam nos rins, ossos e intestino (MURRAY, 1990).

Baixos níveis de Ca, estimulam a produção do paratormônio no intestino e mantém os níveis, que os níveis de Ca no plasma, sendo liberado quando estes reduzem devido à baixa ingestão, e promovem o aumento da liberação do Ca e P presentes no osso medular (AUMAN, 2003).

Além disso, o PTH faz a ativação da vitamina D₃, que vai estimular a reabsorção de P e Ca pelos túbulos renais. Quando há a concentração baixa de P no sangue (hipofosfatemia) a calcitonina é liberada e a paratireoide suprime o PTH, com o objetivo de cessar a mobilização óssea para que os níveis de Ca no sangue não aumentem, desfavorecendo ainda mais a relação Ca:P plasmática (TAYLOR e DACKE, 1984).

2.2 Ácido Fítico e Fitato

O ácido fítico é formado pela esterificação do álcool cíclico inositol com seis grupos de ácido fosfórico, o qual é chamado quimicamente de Ácido inositol-hexafosfórico (IP6) (ALMEIDA et al. 2003). O ácido fítico pode existir como ácido livre, fitato ou fitina de acordo com o pH fisiológico e os íons metálicos presentes, onde o fitato é o sal de cálcio do ácido fítico e a fitina é o sal de cálcio / magnésio do ácido fítico (OATWAY et al. 2001).

O fitato reduz a disponibilidade do fósforo e forma complexos insolúveis com compostos orgânicos presentes nos alimentos como proteínas, aminoácidos e lipídios (PONTES et al., 2015). E em pH neutro, os grupos fosfato no ácido fítico têm um ou dois átomos de oxigênio carregados negativamente, portanto os cátions, como o cálcio (Ca), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e magnésio (Mg) e a fração proteica do alimento, são capazes de quelar fortemente entre dois grupos fosfatos ou fracamente com um único grupo fosfato (LUDKE et al., 2000; SINGH, 2008).

A interação com proteínas se dá por ligação iônica e é dependente das condições de pH, onde em meio ácido o ácido fítico possui carga negativa podendo se ligar a resíduos básicos por uma forte interação eletrostática, resultando em um complexo insolúvel, podendo interagir com importantes enzimas digestivas como a tripsina, pepsina, amilase e galactosidase, fato que resulta na diminuição da atividade destas enzimas. (PONTES et al. 2015).

A hidrólise completa do ácido fítico resulta em inositol e fosfatos inorgânicos, que são a principal forma de absorção de fósforo em frangos, portanto, a capacidade das várias espécies de aves domésticas para utilizar o fósforo fítico dependerá de sua capacidade de liberar íons de fosfato da molécula de fitato por hidrólise (SINGH, 2008).

De acordo com Sauvant et al. (2004) a ave tem baixa capacidade de aproveitar esta fonte de fósforo, uma vez que não são capazes de produzir a enzima responsável pela hidrólise do fitato, a fitase. Portanto, a maior parte do fósforo presente nos ingredientes acaba sendo excretado, tornando-se um problema ambiental na criação de aves, por isso a necessidade de ser ter um banco de dados baseados em um sistema digestível para que as exigências das aves

sejam atendidas com precisão, diminuindo o impacto ambiental causado pelo excesso de P nas excretas das aves.

2.3 Conteúdo de Fósforo nos Alimentos

Aproximadamente 65% do fósforo que compõe os cereais utilizados na alimentação de animais monogástricos encontra-se na forma de fósforo fítico, enquanto somente 35% da fração total encontra-se disponível para absorção e metabolização pelo organismo do animal (ROSTAGNO et al. 2017). Por diminuir a disponibilidade de minerais e outros nutrientes o fósforo fítico é considerado um fator antinutricional e sua presença aumenta a excreção de minerais e nutrientes não absorvidos, causando poluição ao meio ambiente.

O fósforo pode ser de origem orgânica ou mineral. Os de origem orgânica podem estar sob a forma vegetal ou animal. Nas plantas temos o ortofosfatos, com excelente valor biológico, é encontrado nas folhas e caules, e o metafosfatos com baixa disponibilidade é encontrado nas sementes, e por consequência nos farelos, enquanto, os ortofosfatos apresentam excelente valor biológico, os metafosfatos têm pouca biodisponibilidade. Sob a forma animal, há o ortofosfatos tricálcico, encontrados em farinhas de carne, peixes e de ossos, autoclavadas ou calcinadas (PESTI et al. 2005).

Dois terços de P em ingredientes de origem vegetal estão ligados ao ácido fítico. A capacidade das aves de utilizar o P ligado ao fitato é baixa devido à insuficiência ou falta de fitases endógenas (SELLE e RAVINDRAN, 2007). Os ingredientes de origem animal contêm altos teores de P, mas a disponibilidade de P é variável (VAN DER KLIS e VERSTEEGH, 1996). Milho e farelo de soja apresentam 0,55 e 0,24% de P total respectivamente, além da farinha de carne e ossos 38% e farinha de peixes 54% com 7,54 e 2,99% P total respectivamente (ROSTAGNO et al., 2017).

A tendência de se utilizar fontes alternativas ao uso de ingredientes de origem animal, como a farinha de carne e osso, destaca os fosfatos como o principal meio de suplementação de P na alimentação de frangos de corte (QUEIROZ, 2008). Fosfatos inorgânicos como o fosfato bicálcico é, portanto, amplamente utilizados em dietas avícolas para atender ao requisito de P (SAUVANT et al. 2004; PESTI et al. 2005).

Contudo, ao escolher a fonte de fósforo suplementar, alguns aspectos como disponibilidade e custo devem ser considerados além de ser um recurso mineral não renovável. Apesar do fósforo proveniente das fontes inorgânicas possuir disponibilidade equivalente a 100%, somente 70% é digestível para aves (ROSTAGNO et al. 2017).

2.4 Fonte de Fósforo de Origem Inorgânica nas Dietas das Aves

Várias fontes de P são usadas principalmente nas dietas para aves, o fosfato bicálcico é a forma de suplementação mais utilizada nas dietas para a produção e contém cerca de 18,5% de P (ROSTAGNO et al. 2017). Diferentemente dos alimentos vegetais, a forma inorgânica do fósforo é mais facilmente absorvida pelas células intestinais, não necessitando ser previamente hidrolisado por ação enzimática como ocorre com o ácido fítico (forma orgânica).

Os fosfatos são formados por sais de ácido fosfórico e resultam em uma grande variedade de produtos comerciais que vão se diferenciar em sua estrutura química, tamanho de partícula, processamento, pH e presença de contaminantes (LIMA et al. 1999).

O fosfato monocálcico é considerado a fonte mineral de maior disponibilidade de fósforo comercializada para a suplementação de dietas vegetais, porém representa um alto custo na formulação se comparada às demais fontes (SULLIVAN, 1996).

O fosfato bicálcico comercial é um produto industrial resultante da neutralização do ácido sulfúrico e água, produzindo o ácido fosfórico que neutralizado com o calcário ou cal hidratada origina o fosfato bicálcico comercial (CARDOSO, 1991), é considerada a fonte mais segura e livre de contaminação.

É comum encontrar alimentos comerciais contendo as duas formas de fosfatos Ca (H₂PO₄)₂ (monocálcico) e CaHPO₄ (bicálcico) e com variações na hidratação (Ex. CaHPO₄ . H₂O ou CaHPO₄. 2H₂O). A análise simples e direta de Ca ou P está numa relação de CaHPO₄ (23% Ca, 18,5% P) até Ca (H₂PO₄)₂ (16% Ca e 21% P), o fosfato bicálcico (FBC) pode ser produzido reagindo ácido fosfórico desfluorizado com uma ou mais fontes de cálcio, isso pode originar produto dihidrato ou anhidrato, dependendo das condições da reação, sendo que a forma hidratada possui mais elevada biodisponibilidade para animais, do que a forma anidra (TEIXEIRA et al. 2005). A reação entre ácido fosfórico desfluorizado e uma fonte de cálcio na presença de água é utilizada para produzir fosfato monobicálcico (FMBC).

Tais produtos contêm relações de fosfato monocálcico e fosfato bicálcico que variaram entre 50:50 e 67:33. Essa relação possui efeito sobre a utilização (biodisponibilidade) do fósforo. Uma forma de definir as proporções de fosfato monocálcico (FMC) e FBC é pela solubilidade em água. Assumindo-se que a solubilidade em água para o fosfato monocálcico é 100% e o FBC é 0%.

Huyghebaert et al. (1980), citaram que os produtos comerciais possuem proporções variadas de fosfato monocálcico e bicálcico, dependendo do processamento empregado. Segundo Gill (1997) e Lima et al. (1995), a qualidade do fosfato bicálcico depende do controle no processamento industrial empregado para a sua obtenção e das matérias primas utilizadas, sendo que as fontes de fósforo utilizadas na alimentação não são produzidas igualmente.

Análises químicas realizadas em diferentes fosfatos mostram que existe uma grande variabilidade entre as fontes utilizadas. Lima et al. (1997), estudando fosfatos bicálcicos mostraram que os valores de cálcio (16,5 a 25,7%) e fósforo (17,4 a 21,2%) em fosfatos bicálcicos variaram de acordo com a fonte avaliada.

2.5 Fósforo Digestível

Fosforo disponível é a parte do fósforo (P) total da dieta que, ao nível marginal do suprimento de P, pode ser utilizada para cobrir a exigência de P do animal. Disponibilidade descreve o potencial de uma dieta ou de uma matéria-prima (WPSA, 2013). Ocorreram abundantes pesquisas com fósforo disponível em ingredientes alimentares, entretanto com a ampliação das pesquisas e utilização de enzimas fitases a utilização do fósforo disponível para formulação de dietas vem se tornando cada dia mais obsoleta, uma vez que o excesso de excreção desse mineral, pelo animal, pode causar grandes problemas como a contaminação do solo e de lençóis freáticos (OLUKOSI e FRU NJI, 2014).

As recomendações de P digestíveis publicadas variam devido às condições sob as quais o estudo foi conduzido, em particular; genética / variedade de aves, idade das aves, ingredientes da ração (com ou sem suplementação de fitase), fontes de Ca e de P e critérios utilizados para avaliar o resultado da pesquisa (ganho de peso corporal, conversão alimentar), força de ruptura óssea da tíbia, cinzas da tíbia, ou conteúdo de cinzas (LI et al. 2013).

Atualmente, diferentes terminologias são usadas para expressar a disponibilidade de P nos ingredientes e estes incluem o P não-fítico, P retido e P disponível (ANGEL, 2011). A fim de determinar uma forma padrão de nomenclatura do teor fosfórico de ingredientes e dietas, o Grupo de Trabalho nº 2: Filiais da WPSA de Nutrição da Federação Europeia (WPSA, 2013) propôs a utilização dos seguintes termos: Fósforo Total (Pt) que é todo o conteúdo de fósforo no alimento analisado quimicamente, independente da forma de ligação.

Fósforo fítico (Pf), é caracterizado como todo conteúdo de fósforo que está presente na forma de ácido fítico (mio-inositol- 1,2,3,4,5,6-hexaquis dihidrogênio fosfato, Insp6) e seus sais. Fósforo não-fítico (Pnf) é a parte do fósforo total que não está ligado como fitato. É calculado pela diferença entre o Pt analisado e o Pf analisado. A fração Pnf é composta de diferentes compostos orgânicos e inorgânicos e por isso, sua composição é variável, resultando em disponibilidade de Pnf que não é constante. Por esta razão, e pelo fato de parte da fração fítica poder ser utilizada pelas aves, não é apropriado o uso dos termos Pd e Pnf como sinônimos.

O Fósforo Retido (Pr) é a parte do fósforo total (Pt) do alimento que é depositado no corpo do animal. Para a determinação do Pr são necessários estudos com a determinação quantitativa da ingestão e excreção de P (fezes e urina). Também pode ser determinado usando um indicador indigestível. O Fósforo digestível (Pdig) é a parte do Pt do alimento que não é recuperado nas fezes. A determinação do Pdig necessita de estudos com animais com a determinação quantitativa do P ingerido e da excreção de P nas fezes. Também pode ser determinado usando um indicador indigestível. Por definição, a determinação do Pdig necessita de aves colostomizadas para a exclusão da urina. Todavia, o conteúdo de P na urina é desprezível quando o consumo de P é inferior à exigência das aves. Se o Pdig for determinado com um nível de P abaixo da exigência, o valor de Pdig vai ser muito próximo ao valor de Pr.

E o fósforo digestível pré-cecal (Pdpc) é a parte do Pt do alimento que não é recuperado no conteúdo terminal do íleo. É determinado através de metodologia de coleta ileal com o uso de indicadores indigestíveis nas dietas.

Biodisponibilidade relativa de P: usa a resposta de dados ósseos (cinzas, força de quebra etc.) ou outro dado biológico (ganho de peso, fósforo inorgânico sérico etc.). Respostas para uma determinada fonte de fósforo são comparadas com as respostas de uma fonte de fósforo considerada padrão.

Dos vários critérios para expressar a disponibilidade de P, atualmente, a medição da digestibilidade ileal verdadeira do P é considerada o método preferível. Este método é baseado em medições quantitativas e representativas de desaparecimento do P no final do íleo (WPSA, 2013). E os valores de digestibilidade ileal não são afetados por atividade microbiana do intestino posterior (RAVINDRAN et al. 2004) e a excreção de P na urina são excluídas (SHASTAK et al. 2012).

Apesar de importância na nutrição de P em aves, estudos que medem a digestibilidade de P desses fosfatos são limitados (BIKKER et al. 2016; VAN HARN et al. 2017).

Além disso, o fósforo inorgânico é, entre os elementos minerais, o mais oneroso, participando de 2,5 a 3% do custo total de uma ração (BORGES, 1997). Quantificar o fósforo digestível nos alimentos permitirá a melhor utilização do mineral e dessas fontes pelo animal, através da formulação de uma dieta adequada, controlar grandes perdas e reduzir dos custos da ração.

2.6 Exigência de Fósforo Digestível para Frangos de Corte

As exigências de minerais, particularmente cálcio e fósforo é de fundamental importância para o crescimento e desenvolvimento dos animais. E quando essas exigências não são atendidas pode ser observado a redução no desempenho zootécnico e uma menor eficiência de utilização de alimentos (NRC, 1994). Têm-se verificado que as recomendações práticas de fósforo para máximo desempenho são inferiores àquelas necessárias para máxima mineralização óssea (CRENSHAW et al. 2001).

Essas exigências são mostradas pela maioria das tabelas de recomendações nutricionais e são criticadas por apresentarem valores inferiores aos exigidos pelas linhagens de aves e suínos atuais. A maior parte dessas exigências foi determinada há algumas décadas ou simplesmente estimadas, o que levanta questionamento sobre a acurácia destas informações (KNOWLTON et al. 2004). Os valores de exigência de fósforo para os animais podem ser encontrados em diferentes tabelas (NRC, 1994; NRC, 1998; CVB, 1998, Rostagno et al. 2011; Rostagno et al. 2017).

Com isso, zootecnistas utilizam níveis mais elevados de minerais, em grande parte baseados em seu próprio conhecimento prático, ocorre o risco de uma interação adversa entre minerais além do aumento nos níveis excretados (LEESON, et al. 2008). A disponibilidade dos minerais encontrados nos ingredientes e nas fontes minerais atualmente usadas nas rações de aves e suínos foram obtidas ou estimadas com animais que não representam mais a genética utilizada e nem a produção atual (TEIXEIRA et al. 2016). Assim como as variedades de produtos comerciais utilizados que estão presentes do mercado referente ao mesmo ingrediente, o que pode interferir nos resultados (SILVA JUNIOR et al. 2014).

Com o constante melhoramento e seleção genética dos animais, além da necessidade de se reduzir custos com suplementação de fósforo e a excreção deste mineral no ambiente, existe a necessidade de reavaliação contínua da eficiência de utilização dos nutrientes e das exigências nutricionais para obtenção do máximo desempenho nos sistemas de produção intensiva (GOMES et al. 2004; ROSTAGNO et al. 2005).

Considerando que os coeficientes de digestibilidade verdadeira do fósforo nos alimentos podem ser utilizados como parâmetros para determinar a utilização do fósforo pelas aves (DILGER e ADEOLA, 2006; PETEY et al. 2006), estes valores poderiam ser utilizados na determinação das exigências deste mineral e assim manter atualizadas as tabelas de exigências de nutrientes nas diferentes fases de produção.

2.7 Metodologia para Determinação da Digestibilidade de Fósforo de Ingredientes

Na atualidade, os nutricionistas têm buscado maneiras de atender mais precisamente as exigências de fósforo dos animais, bem como de conhecer a disponibilidade do fósforo dos ingredientes usados nas rações, objetivando o uso eficiente deste mineral. Diversos pesquisadores estudaram formas de avaliar qual seria a maneira mais eficaz de determinar a disponibilidade do fósforo para aves. A digestibilidade de um alimento representa o percentual do nutriente que foi absorvido em relação ao que foi ingerido, sendo determinado pela diferença entre a quantidade consumida e a excretada nas fezes (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2007).

Experimentos de metabolismo com a coleta do conteúdo ileal estão sendo bastantes utilizados para determinar a digestibilidade de ingredientes e de aminoácidos para as aves.

Para avaliar a digestibilidade de fósforo os ensaios de coleta ileal têm sido priorizados, pois, os valores determinados não são afetados pela atividade microbiana do intestino grosso e por não sofrer influência da excreção de P urinário (SHASTAK e RODEHUTSCORD, 2013).

Para determinação da digestibilidade ileal é necessário o uso de indicadores indigestíveis. Dentre os principais indicadores utilizados neste tipo de ensaio podem ser citados o óxido crômico, o dióxido de titânio e a cinza ácida insolúvel. Estes indicadores têm como característica não alterar a digestibilidade dos nutrientes e ser recuperado em altas taxas nas excretas ou digesta ileal, bem próxima à quantidade incluída na dieta (SALES e JANESSEN, 2003; OLUKOSI et al., 2012).

Na literatura foram descritas três metodologias como principais para a avaliação da digestibilidade de ingredientes, sendo eles: método da substituição, método direto e o método de regressão.

No método direto, o ingrediente teste serve como única fonte de P na dieta. O cálculo do coeficiente de digestibilidade ileal aparente (CDIA) de P na dieta é assumido como o valor de digestibilidade de P do ingrediente teste. No entanto, como foi descrito para aminoácidos e proteínas (LEMME et al. 2004), quando o método direto é utilizado para a determinação da digestibilidade de P em ingredientes que contém baixo teor de P, a digestibilidade aparente do P pode ser subestimada, devido à proporção relativamente maior de P endógeno na digesta. O coeficiente de digestibilidade de P calculado pelo método direto é "aparente", ou seja, considera que todo o fósforo presente na digesta teve como origem o ingrediente. Esta limitação pode ser solucionada através da correção para a estimativa para perdas de P endógenas, obtendo-se então, o valor de digestibilidade verdadeiro.

No método de substituição, o CDIA de P nos ingredientes teste é avaliado usando duas dietas (uma dieta de referência e uma dieta teste). A dieta de referência pode consistir em dois ou mais ingredientes alimentares comuns (por exemplo, milho e farelo de soja), enquanto a dieta teste consiste em uma mistura (por exemplo, 60:40) de proporções predeterminadas da dieta referência e do ingrediente teste. A digestibilidade de P no ingrediente teste é determinada usando-se equações descrita por ZHOU et al. (2004). O método de substituição pressupõe que não há interação entre a dieta de referência e o ingrediente de teste, e que os valores de CDIA são aditivos (LEMME et al. 2004). O método de substituição também é referenciado na literatura como método da diferença, uma vez que a digestibilidade do nutriente do ingrediente teste é calculado pela diferença entre a digestibilidade da ração referência e dieta teste (ADEOLA, 2001).

No método de regressão, dietas semipurificadas ou com dietas a base de milho e soja são formuladas com inclusões graduais do ingrediente teste, para as dietas conterem concentrações graduais de P, onde o ingrediente teste é a única fonte de variação dietética de P, a excreção total de P por ingestão de matéria seca (PE-MSI) na digesta ileal (g/kg MSI) é regredido ao conteúdo de P na dieta com base na matéria seca (MS). A indigestibilidade verdadeira e as perdas endógenas são a inclinação e interceptação, respectivamente, da regressão linear.

A indigestibilidade verdadeira do P é uma medida indireta da ineficiência em que P dietético é extraído. A digestibilidade verdadeira é calculada subtraindo-se o percentual de indigestibilidade verdadeira de P por 100 (DILGER e ADEOLA, 2006). Embora a perda endógena e o coeficiente de digestibilidade P verdadeiro do ingrediente alimentar específico sejam simultaneamente determinados, a complexidade técnica do método de regressão é uma desvantagem para não obter aceitação mais ampla na pesquisa nutricional.

Entretanto, de acordo com Eeckhout e Paepe (1996), a análise de regressão é a abordagem mais conveniente para comparações, porque a proporção das inclinações calculadas permite uma comparação direta dos fosfatos em envolvidos. Também é possível comparar diferentes critérios da avaliação de P usando as inclinações das regressões lineares.

O uso de análises de regressão para avaliar a disponibilidade de um suplemento é geralmente considerado para evitar possíveis interações entre dieta basal e suplemento, no entanto isso pode ser evitado em estudos de suplementação P, aonde o mineral suplementado pode influenciar na hidrólise do fitato da dieta basal como mostrado em frangos (VAN DER KLIS e VERSTEEGH, 1996).

O uso de dietas livres de fitato sintético na avaliação de disponibilidade de P permite eliminar essa possível interação, mas isso implica que os dados não sejam relevantes para a indústria avícola, onde as dietas contendo fitato são amplamente utilizadas (SHASTAK et al. 2012).

Alguns estudos de regressão com frangos relataram perdas endógenas negativas de P, resultando em estimativas de digestibilidade verdadeira de P mais baixas do que seus correspondentes aparentes de P (IYAYI, 2013; LIU et al. 2013, MUTUCUNARAMA et al.

2015), sendo tais resultados biologicamente impossíveis de acontecer e relatada como uma limitação da técnica de regressão, a qual extrapola os dados a partir da relação linear entre consumo e excreção do nutriente em estudo.

O grupo de trabalho em nutrição da World Poultry Science Association (WPSA, 2013) indicou a “digestibilidade pré-cecal” como a metodologia para determinar a disponibilidade de fósforo e de acordo com protocolo do grupo algumas recomendações gerais devem ser seguidas:

A digestibilidade pré-cecal de P de um alimento é determinada por análise de regressão, onde uma dieta basal com baixo teor de P é usada, mínimo de dois níveis de P da fonte teste deve ser suplementado nas rações teste. No nível mais alto de inclusão, o suprimento de P não deve exceder a exigência do animal. Devem ser usados frangos machos de crescimento rápido.

As dietas experimentais são oferecidas *ad libitum* por pelo menos cinco dias antes da coleta da digesta. A coleta da digesta é realizada quando as aves têm entre 21 e 28 dias. O íleo das aves é imediatamente dissecado com seção entre o divertículo de Meckel de 2 cm antes da junção íleo-ceco-cólica é feita, apenas a metade do posterior é usada, o conteúdo foi lavado com água destilada e reunido para todas as aves da gaiola, congelada e moída.

As dietas experimentais devem ser adequadas em todos os nutrientes, exceto P e Ca, estar livres de aditivos alimentares, como enzimas, microrganismos e ácidos alimentares. As concentrações de Ca e P nos ingredientes são analisadas e os resultados considerados na formulação das rações experimentais. As dietas devem conter marcador indigestível como dióxido de titânio, óxido crômico ou cinza insolúvel em ácido. Os laboratórios devem garantir a recuperação do marcador aplicado da digesta ileal é completa. Deve ser realizada a distribuição do tamanho de partícula das dietas experimentais e das fontes. u

Na seleção de matérias primas para a dieta basal, as fontes de proteína precisam de atenção, pois devem fornecer aminoácidos em quantidades adequadas, mas conter o mínimo de P possível, fitase não deve ser incluída na dieta já a mistura mineral não deve conter P, as matérias primas que podem ser utilizadas são milho, farelo de soja, albumina, caseína, dextrose e amido.

O nível de P disp na dieta basal não deve exceder 0,15%, isso equivale a aproximadamente 0,3% de P total a fonte de P teste deve ser suplementada em pelo menos dois níveis de inclusão da dieta basal os níveis são escolhidos dependendo da concentração de P da fonte teste para alcançar até 0,15% de P total da fonte teste, onde uma relação Ca:p total das dietas pode variar entre 1,3:1 e 1,4:1.

O pdcp em (g/kg dieta) é representado graficamente contra a concentração de fósforo total (g/kg dieta) em uma análise de regressão linear a inclinação da linha de regressão multiplicada por 100 dá a porcentagem da digestibilidade pré-cecal do P da fonte suplementada.

Quando duas ou mais fontes são testadas a regressão pode ser múltipla de interceptação comum e a concentração de fósforo total proveniente do suplemento é variável x, esta permite a determinação simultânea de pdcp para todas as fontes testadas, incluindo a comparação das inclinações.

Os resultados são expressos com a porcentagem pdcp, calculado com a inclinação de regressão linear, multiplicada por 100. Nenhum decimal é fornecido. O erro padrão da inclinação estimado, multiplicando por 100, é relatado como a medida de variação e exibindo com um dígito decimal.

2.8 Digestibilidade do Fósforo de Fosfatos

Diversos autores realizaram ensaios de digestibilidade ileal verdadeira do fósforo em fosfatos: fosfato bicálcico, monocalcico e monobicalcico por diferentes métodos (SAUVANT et al. 2004; BUZEM et al. 2009; RODEHUTSCORD et al. 2012; SHASTAK et al. 2012;

BIKKER et al. 2016 ; VAN HAN et al. 2017; TRAIRATAPIWAN et al. 2018; PAVLOVIĆ et al. 2018; SAÇAKH et al. 2020; SU HYUN NA et al. 2020 e DILELIS et al. 2021).

Método direto: Bunzen et al. (2009) 75,01% (Fosfato bicálcico), Dilelis et al. (2021) 43,34% (Fosfato bicálcico) e Su Hyun Na et al. (2020) 79,5% (Fosfato bicálcico), 89,8% (Fosfato monocálcico), 88,7% (Fosfato monobicálcico).

Método de substituição: Bunzen et al. (2009) 57,28 (Fosfato Bicálcico), 56,86 (Fosfato monocálcico), Van Han et al. (2017) 82,4 (fosfato bicálcico), 88,5 (fosfato monocálcico).

Método de regressão: Sauvant et al. (2004) 76,0 (Fosfato bicálcico), 80,0 (Fosfato monocálcico), 91,0 (fosfato monobicálcico), Shastak et al. (2012) 54,0 (Fosfato bicálcico), 25,0 (Fosfato monocálcico), Rodehutschord et al. (2012) 88,0 (Fosfato monocálcico), Bikker et al. (2016) 59,0 (fosfato bicálcico), 78,3 (Fosfato monocálcico), Pavlović et al. (2018) 59,4 (fosfato monocálcico), Trairatapiwan et al. (2018) 69,3 (Fosfato bicálcico), 64,6 (fosfato monocálcico), 60,2 (Fosfato monobicálcico) e Saçakh et al. (2020) 79,5 (Fosfato bicálcico), 89,8 (Fosfato monocálcico), 88,7 (Fosfato monobicálcico).

Vários são os fatores que podem influenciar a digestibilidade do fósforo pelas aves. No caso do fosfato bicálcico avaliado com dieta purificada, a alta solubilidade da fonte utilizada e a baixa concentração de fósforo na dieta podem influenciar no aumento da absorção deste mineral, resultando em valores elevados de digestibilidade.

Entretanto, os baixos valores de digestibilidade observados também podem ser afetados pelas mesmas razões. As formas dihidrato e anidrato dos fosfatos refletem em sua biodisponibilidade, onde a forma hidratada possui maior disponibilidade para os animais do que a forma anidra que conseqüentemente afeta sua digestibilidade. A forma química, tipo de rocha (Ígnea ou sedimentar), composição, processo de produção destes produtos comerciais, composição (Ca e P), relação Ca:P além das condições experimentais podem ter influência sobre a digestibilidade do P (BIKKER et al. 2016).

Desse modo, a diferença existente entre os valores de digestibilidade, mesmo dentro da própria origem (fonte inorgânica), e sob o mesmo método. Por isso, torna-se imprescindível quantificar o P digestível nos alimentos pois isto permitirá a melhor utilização do mineral e dessas fontes pelo animal, através da formulação de uma dieta adequada, controlando grandes perdas e reduzindo dos custos da ração.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do Estudo

O experimento foi conduzido de acordo com as normas do Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal do Brasil, e foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais do Instituto de Zootecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, sob o número de protocolo nº 0104-04-2020. O experimento foi realizado no Setor de Avicultura e no Laboratório de Metabolismo Animal do Departamento de Nutrição Animal e Pastagens do Instituto de Zootecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, onde foi realizado o ensaio biológico.

3.2 Aves, Instalações e Manejo Inicial

Foram adquiridos 500 pintos de corte de um dia de idade, machos, da linhagem Cobb 500, adquiridos de um fornecedor local. As aves foram alojadas em galpão de alvenaria, sobre cama de maravalha, aquecimento por campânula a gás, bebedouros do tipo pressão infantil e comedouro tipo bandeja (Figura 1). Os pintos foram vacinados contra a doença de Marek, Bouba Aviária e Gumboro no incubatório, e aos 10 dias de idade, vacinados contra a doença de Newcastle.



Figura 1. Alojamento das aves na fase pré-experimental

As aves foram alimentadas de 1 a 18 dias de idade com ração para a fase inicial, a ração fornecida, descrita na Tabela 1, seguindo-se as recomendações nutricionais de Rostagno et al. (2017).

O ensaio foi dividido em dois períodos, o primeiro: período pré experimental (1 a 18 dias) e o segundo: período experimental (19 a 22 dias). Cabe ressaltar que a dieta inicial não

teve inclusão de fitase, bem como de melhoradores de desempenho e coccidiostáticos. Aos 14 dias de idade todas as aves foram pesadas, das quais 252 mais uniformes foram utilizadas para a distribuição aleatória nas gaiolas metabólicas para compor as unidades experimentais.

Tabela 1. Ração pré-experimental fornecida até os 18 dias de idade das aves.

Ingrediente	Quantidade (%)
Milho grão	54,36
Farelo de soja	37,64
Óleo de soja	3,88
Fosfato bicálcico	1,73
Calcário	0,81
Sal comum	0,51
DL-metionina	0,35
L-lisina HCL	0,25
Suplemento mineral ¹	0,12
Suplemento vitamínico ²	0,12
Cloreto de colina	0,08
L-treonina	0,10
BHT ³	0,01
Nutrientes calculados	
Cálcio	0,878
Fósforo disponível	0,419
Energia metabolizável	3050
Proteína Bruta	24,67
Sódio	0,218
Lisina digestível	1,256
Metionina digestível	0,638
Met + Cis digestível	0,929
Triptofano digestível	0,247
Valina digestível	0,902

¹Composição por kg de produto: Ferro (min) 60 g/kg; cobre (min) 13 g/kg; manganês (min) 120 g/kg; zinco (min) 100 g/kg; iodo (min) 2.500 mg/kg; selênio (min) 500 mg/kg.

² Composição por kg de produto: Vitamina A (min) 7.500.000 UI/kg; vitamina D3 (min) 2.500.000 UI/kg; vitamina E (min) 1.200 mg/kg; vitamina K3 (min) 1.200 mg/kg; tiamina (min) 1.500 mg/kg; riboflavina (min) 5.500 mg/kg; piridoxina (min) 2000 mg/kg; vitamina B12 (min) 12.000 mcg/kg; niacina 35g/kg; panteonato de cálcio (min) 10 g/kg; biotina (min) 67 mg/kg.

Cada gaiola experimental foi equipada com um comedouro tipo calha de 90 cm e um bebedouro tipo copo. As gaiolas tinham dimensões de 90 cm de comprimento, 45 cm de largura e 40 cm de altura. As gaiolas foram dispostas em baterias metálicas de três andares, cada bateria com 12 gaiolas (Figura 2). Dos 14 aos 18 dias de idade as aves foram adaptadas às gaiolas experimentais.



Figura 2. Gaiolas metabólicas, distribuídas em bateria metálicas, equipadas com comedouro tipo calha e bebedouro tipo copo.

Aos 19 dias de idade as aves foram pesadas novamente para determinação do peso inicial, e iniciou-se o fornecimento das dietas experimentais que teve duração de três dias. Ração e água foram fornecidas à vontade.

No 22º dia de idade as aves foram novamente pesadas e o consumo de ração computado para cálculo das variáveis ganho de peso, consumo de ração e conversão alimentar.

Durante o período experimental o programa de luz utilizado foi o de luz natural. O local do experimento contava com três ventiladores para circulação de ar. A temperatura durante o período experimental foi registrada, com registros de máxima de 29,4°C e mínima de 26,4°C e umidade relativa média de 62,8%.

3.3 Dietas e Delineamento Experimental

Foram utilizados três fosfatos bicálcicos obtidos de três fornecedores diferentes e analisados para a determinação da composição bromatológica. Para a condução deste estudo seis dietas experimentais foram formuladas a base de milho e farelo de soja, com dois valores de inclusão de cada fosfato (fosfato um, fosfato dois e fosfato três) e uma dieta basal para os três fosfatos testados e que serviu como o nível zero de inclusão do ingrediente.

Os fosfatos bicálcicos um e três apresentavam forma anidra (CaHPO_4) e o fosfato dois apresentava forma dihidratada ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), composto por ortofosfatos de alta assimilação biológica. A dieta basal foi a base de milho e farelo de soja, sem a inclusão dos ingredientes teste e os ingredientes principais, como milho, farelo de soja, foram escolhidos para atingir uma baixa concentração P.

As inclusões de FB1, FB2 e FB3 foram variadas para atingir as concentrações desejadas em outras seis dietas. Essas dietas foram calculadas para fornecer dois níveis de P suplementar, 0,075 e 0,15%. Dessa forma, os fosfatos um, dois e três em seus dois níveis de inclusões 0,419, 0,839; 0,442, 0,884; 0,443 e 0,887 de cada fosfato em cada nível de inclusão respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2. Composição em g/kg e analisada das dietas experimentais para a determinação do P digestível dos fosfatos bicálcicos FB1, FB2 e FB3.

Níveis de inclusão Ingrediente	Dietas experimentais						
	0% Basal	0,075% FB1	0,15% FB1	0,075% FB2	0,15% FB2	0,075% FB3	0,15% FB3
Milho grão	574,0	574,0	574,0	574,0	574,0	574,0	574,0
Farelo de soja	339,7	339,7	339,7	339,7	339,7	339,7	339,7
Óleo de soja	34,97	34,97	34,97	34,97	34,97	34,97	34,97
Inerte ⁴	20,00	15,82	11,61	15,58	11,16	15,57	11,13
Calcário	8,10	8,10	8,10	8,10	8,10	8,10	8,10
Sal comum	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18
Dióxido de titânio	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
DL-metionina	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86
L-lisina	3,67	3,67	3,67	3,67	3,67	3,67	3,67
L-treonina	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58
L-valina	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Suplemento mineral ¹	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Suplemento vitamínico ²	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Cloreto de Colina	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Fosfato bicálcico ³	0,00	4,19	8,39	4,42	8,84	4,43	8,87
Valores calculados							
Energia metabolizável(kcal/kg)	3.049	3.049	3.049	3.049	3.049	3.049	3.049
Proteína	233,1	233,1	233,1	233,1	233,1	233,1	233,1
Fósforo nf	0,93	1,68	2,43	1,68	2,43	1,68	2,43
Cálcio	4,40	5,38	6,32	5,38	6,37	5,38	6,32
Fósforo	3,18	3,93	4,68	3,93	4,68	3,93	4,68
Ca:P	1,38	1,36	1,35	1,36	1,36	1,36	1,35
Valores analisados							
Fósforo	3,36	4,37	5,70	4,28	5,58	4,66	5,52

¹Composição por kg de produto: Ferro (min) 60 g/kg; cobre (min) 13 g/kg; manganês (min) 120 g/kg; zinco (min) 100 g/kg; iodo (min) 2.500 mg/kg; selênio (min) 500 mg/kg. ²Composição por kg de produto: Vitamina A (min) 7.500.000 UI/kg; vitamina D3 (min) 2.500.000 UI/kg; vitamina E (min) 1.200 mg/kg; vitamina K3 (min) 1.200 mg/kg; tiamina (min) 1.500 mg/kg; riboflavina (min) 5.500 mg/kg; piridoxina (min) 2000 mg/kg; vitamina B12 (min) 12.000 mcg/kg; niacina 35g/kg; pantonato de cálcio (min) 10 g/kg; biotina (min) 67 mg/kg. ³Fosfatos bicálcico: Fosfato bicálcico 1 ingrediente mineral destinado para alimentação animal, Fosfato bicálcico 2 dihidratado para a alimentação animal formado por ortofosfato de mais alta assimilação biológica, obtido através da reação química de elevada pureza com rocha fosfática de qualidade superior Fosfato bicálcico 3 ingredientes mineral destinado para alimentação animal. ⁴Inerte- Areia lavada.

Esses valores de fosfatos adicionados a ração foram em substituição a areia lavada inerte. A relação Ca:P foi mantida próxima de 1,35 seguindo as recomendações da WPSA, (2013) que recomenda uma variação entre 1,33 e 1,4.

Para o método de regressão foram necessários três níveis de inclusão para cada ingrediente teste (dieta basal que serviu como nível zero de inclusão + dois níveis de cada ingrediente). Os fosfatos serviram como única fonte de variação de fósforo das dietas. O Dióxido de titânio foi adicionado em todas as dietas ao nível de 0,5% como indicador indigestível.

3.4 Coleta e Processamento de Amostra

Aos 22 dias de idade as aves foram eutanasiadas por asfixia em câmara de CO₂ para coleta do conteúdo ileal. Duas horas antes do início do abate as aves foram estimuladas a consumir ração, através de estímulos mecânicos e visuais, com o fornecimento e a movimentando da ração nos comedouros.

Após a eutanásia a cavidade abdominal das aves foi exposta para coleta do intestino. Após a coleta do intestino foram identificados o divertículo de Meckel e a junção ileocecólica, sendo as estruturas que definem respectivamente o início e o fim do íleo das aves (Figura 3).

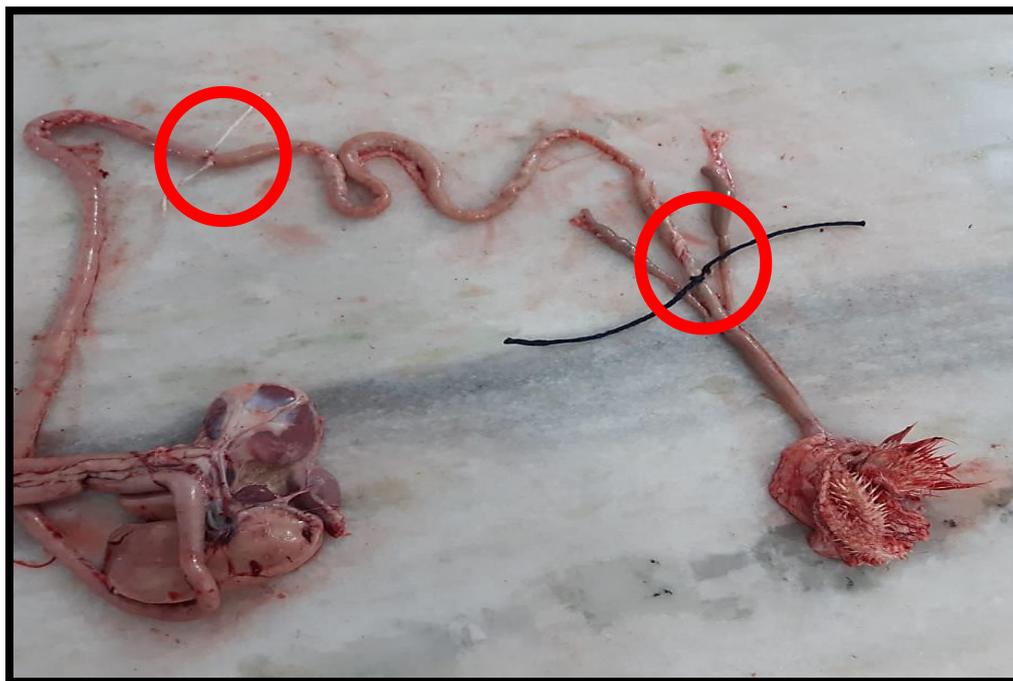


Figura 3. Identificação do divertículo de Meckel e a junção ileocecólica para coleta do conteúdo ileal.

O íleo foi então exposto, e o conteúdo da metade distal (a metade próxima à junção ileocecólica) foi coletado fazendo-se a lavagem com água destilada, e depositado em vasilhame plástico identificado por gaiola experimental (Figura 4). Portanto, o conteúdo ileal de seis aves compôs a amostra de cada unidade experimental.

Para a realização da pré-secagem as amostras foram levadas à estufa ventilada a 55° C por 72h. Posteriormente, foi triturada mecanicamente com o uso de pistilo e graal em cerâmica, até que o conteúdo pudesse passar por uma peneira de um milímetro de abertura. O material

moído foi guardado em recipientes hermeticamente fechados, como mostra a figura 5 para posteriores análises de matéria seca, matéria mineral, fósforo e titânio.



Figura 4. Amostras do conteúdo ileal



Figura 5. Material moído e armazenado nos recipientes.

3.5 Análises Laboratoriais

As análises químicas foram realizadas no laboratório de análises bromatológicas do Instituto de Zootecnia.

A matéria seca foi determinada através de secagem em estufa de esterilização por 24h, à 105° C (método 930.15; Métodos Oficiais de Análise (AOAC, 2005), com pesagem após permanecer por uma hora no dessecador.

A matéria mineral das amostras foi determinada gravimetricamente, através do procedimento padrão da AOAC (método 942.05; AOAC, 2005). As amostras foram queimadas em cadinhos de porcelana em forno mufla por 4 horas após atingir a temperatura de 580°C.

Para determinação dos teores de fósforo, as cinzas geradas na análise de matéria mineral sofreram uma digestão ácida para preparo da solução mineral (Detmann et al. 2012). As cinzas foram transferidas quantitativamente para béquer de 250ml forma baixa, com o uso de 40 ml de solução de HCl 1:1. O béquer foi levado a chapa aquecedora em capela de exaustão, coberto por um vidro de relógio de 80 mm de diâmetro. O material foi aquecido até que houvesse redução de 1/3 do volume. A solução foi filtrada em papel de filtro faixa preta quantitativo tipo Whatmann 41, para balão de 100 mL. O conteúdo do béquer foi lavado quantitativamente com água destilada aquecida, e o volume do balão completado volumetricamente.

Para determinação do fósforo o método utilizado foi o colorimétrico (Detmann et al., 2012), com uso de molibdato de amônio e vitamina C. A curva padrão foi determinada com uso da solução de K₂PO₄, correspondente a 0,1mg/mL de fósforo. Em um balão de 50 ml são adicionados cinco ml de molibdato de amônio ácido, um ml da solução mineral e 2 mL de vitamina C 4%, o volume é então completado volumetricamente, aguarda-se 6 minutos para desenvolvimento da cor e procede-se a leitura em calorímetro UV visível a 725 nm.

O teor de titânio foi determinado pela metodologia colorimétrica descrita por Detmann et al. (2012), onde 250 mg de amostra foi digerida com ácido sulfúrico e mistura catalítica em tubo microkjeldahl, a 37°C por 1 hora. Após a digestão foram adicionados 10 mL de água oxigenada 30 volumes, 20 ml de água destilada e o conteúdo filtrado para balão de 100 mL com o uso de papel filtro faixa preta quantitativo.

O volume do balão foi completado, e 3 gotas de peróxido de hidrogênio foi adicionado para o desenvolvimento da coloração laranja. A leitura foi realizada em espectrofotômetro UV visível em 410 nm. A curva padrão foi preparada com o mesmo dióxido de titânio utilizado no experimento, com o uso de 11 tubos, cada um com uma quantidade de TiO₂, de 0 a 10 mg.

Para determinação da granulometria dos fosfatos, foi utilizada a metodologia descrita por Zannoto et al. (2016). Em síntese, 200g de amostra em duplicata foram inseridas em um conjunto de seis peneiras de diâmetros diferentes e agitadas por dez minutos. O peso das peneiras vazias e das peneiras com amostra retida foi determinado em balança de precisão, e o diâmetro geométrico médio (DGM) e o desvio padrão geométrico (DPG) foram calculados para cada amostra através do software GranuCalc® (EMBRAPA, 2013).

3.6 Cálculos dos Coeficientes de Digestibilidade do Fósforo

A digestibilidade ileal do P dos ingredientes avaliados foram calculadas de acordo com os procedimentos descritos por WPSA, (2013). A digestibilidade ileal do P (Pd) foi calculado para cada dieta e gaiola usando a seguinte equação:

$$\text{Digestibilidade do P (\%)} = 100 - [100 \times (\text{TiO}_2 \text{ dieta} \times \text{P digesta}) / (\text{TiO}_2 \text{ digesta} \times \text{P dieta})] \text{ (Equação 1)}$$

Onde: TiO₂ dieta e TiO₂ digesta: Concentração do marcador indigestível na dieta ou digesta (g/kg de MS)

P dieta e digesta: Concentração de fósforo na dieta ou digesta (g/kg de MS)

A porcentagem da digestibilidade do P da equação 1 foi usada para calcular o conteúdo de P digestível na dieta da seguinte forma:

$$\mathbf{P\ digestível\ (g/kg/dieta) = Digestibilidade\ do\ P\ (\%) \times P\ dieta) / 100\ (Equação\ 2)}$$

O conteúdo de P digestível (g / kg de MS) foi plotado contra a concentração total de P da dieta (g / kg de MS) e foi desenvolvido uma regressão linear (dieta basal e 2 níveis de inclusão de cada teste ingrediente). A inclinação da linha de regressão foi considerada representativa do coeficiente de digestibilidade ileal verdadeiro do P e intercepto como perdas endógenas de P.

$$y = a + b \times n$$

y = Conteúdo de P digestível (g/kg de MS)

a = Intercepto

b = Declive para fonte de teste

n e x n = Concentração de P proveniente da fonte de teste n (g / kg de MS)

3.7 Análises Estatísticas

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 2 +1 com 7 tratamentos (dietas experimentais) e 6 repetições de 6 aves cada, totalizando 252 aves e 42 unidades experimentais.

As variáveis de desempenho (consumo de ração e peso), digestibilidade aparente do fósforo, conteúdo de fósforo na dieta e digesta foram submetidas à análise de variância utilizando o programa estatístico SISVAR, se significativo ($P < 0,05$), as médias foram comparadas usando o teste de Tukey ($P < 0,05$).

A análise foi feita de acordo com o modelo $y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_{ij} + e_{ijk}$, onde ijk é o parâmetro, μ é a média geral, α é o tipo fosfato ($i = \text{FB1, FB2 e FB3}$), β_j é o nível de fosfato, γ_{ij} é a interação do tipo de fosfato e nível e e_{ijk} é o erro padrão. A digestibilidade do P de cada ingrediente teste foi calculada conforme descrito por WPSA (2013), usando o modelo de regressão linear entre o teor de P digestível (g/kgMS) e a concentração total de P na dieta (g/kgMS) pelo procedimento de regressão (SAS, 2016).

Os coeficientes de regressão entre os fosfatos bicálcicos foram comparadas usando a análise de covariância (SAS, 2016).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O diâmetro geométrico médio (DGM) do FB1, FB2 e FB3 foi 146, 107 e 184 μm , respectivamente. As concentrações de P dos fosfatos bicálcicos variaram de 16,9 a 17,87% e de cálcio 22,3 a 23,5%.

Os valores obtidos de P total dos fosfatos utilizados no experimento foram inferiores ao valor de 18,5%, descritos pelas Tabelas Brasileiras de Aves e Suínos (Rostagno et al. 2017). Assim como, Bikker et al. (2016), Teixeira (2017), Van Harn et al. (2017), Anwar et al. (2018) e Santana et al. (2018) encontraram valores de P total para o fosfato bicálcico de 18,4, 18,3; 19;18,7 e 19,9% respectivamente. Em contraste, Dilelis et al. (2021) em seus resultados encontraram um valor de 17,4% P total para o fosfato bicálcico, valor esse mais próximo aos resultados encontrados nesse estudo.

Tabela 3. Tamanho de partícula e composição analisada (%) do fosfato bicálcico 1(FB1) fosfato bicálcico 2 (FB2) e fosfato bicálcico 3 (FB3) descritas na TBAS.

Item	TBAS ²	FB1 ^a	FB2 ^b	FB3 ^c
Tamanho de partícula				
Diâmetro geométrico médio (DGM)		146	107	184
Desvio geométrico padrão (DGP)		2,52	1,78	2,70
Composição analisada ¹				
Matéria seca		94,83	93,25	96,57
Cinzas		85,84	85,64	88,57
Ca	24,5	23,58	22,37	22,30
P total	18,5	17,87	16,95	16,90
Ca:P	1,32	1,31	1,31	1,31

¹Dados expressos na matéria natural

²Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (ROSTAGNO et al., 2017).

a Fosfato bicálcico ingrediente mineral destinado para alimentação animal(FB1)

b Fosfato bicálcico dihidratado para a alimentação animal formado por ortofosfato de mais alta assimilação biológica, obtido através da reação química de elevada pureza com rocha fosfática de qualidade superior (FB2)

c Fosfato bicálcico ingrediente mineral destinado para alimentação animal (FB3)

Análises químicas realizadas em diferentes fosfatos mostraram que existe uma grande variabilidade entre as fontes utilizadas. Lima et al. (1997), estudaram fosfatos bicálcicos mostrou que os valores de cálcio (16,5 a 25,7%) e fósforo (17 a 21,2%) variam de acordo com a fonte avaliada. De acordo com Butolo et al. (2002), as rochas de fosfatos em sua composição natural podem se diferenciar uma das outras quando são retiradas de fontes diferentes. Essas alterações consistem na disponibilidade do próprio fósforo e na pureza desse material. Além do

caminho percorrido pelo fosfato dentro da indústria até o mercado é marcado por procedimentos que podem interferir diretamente no produto.

Os valores de diâmetro geométrico médio dos fosfatos bicálcicos na literatura são muito variáveis e dependendo do tipo de fosfato utilizado pode variar de 162 μm a 645 μm . Junior, (2016), relatou um DGM de 596,84 μm e 645,25 μm para o fosfato bicálcico em pó e microgranulado respectivamente. Em outro estudo realizado por Sordi, (2019), encontraram valores de 615, 162 e 501 μm para fosfato bicálcico 18%, 19% e 20%.

De acordo com Potter, (1988), quanto maior o tamanho da partícula mais elevada será a disponibilidade do elemento presente no alimento. Kim et al. (2018), com o intuito de verificar o impacto do tamanho de partículas de calcário na digestibilidade aparente de P, observou que quando do fornecimento de calcário com partículas finas, menores que 75 micrômetros (μm), mesmo com adição de fitase, há diminuição da digestibilidade do P.

Durante o período experimental de três dias, todas as aves permaneceram saudáveis e nenhuma mortalidade ou problemas nas patas foram observados. Não houve interações significativas entre a fonte de fósforo utilizada e nível de suplementação de fósforo para as variáveis consumo de ração (g/ave/dia) e variação de peso (g/ave/dia). Os tratamentos dietéticos não exerceram influência ($P>0,05$) no consumo de ração e no ganho de peso corporal das aves (Tabela 4).

Trairatapiwan et al. (2018), avaliaram a digestibilidade ileal verdadeira do P do fosfato bicálcico pelo método de regressão, formularam uma dieta basal para conter 2,5g/kg de P total e cada ingrediente foi incluído em três níveis na dieta basal para garantir concentrações graduais de P total de 3,0, 3,5 e 4,0 g/kg, as dietas experimentais foram fornecidas durante oito dias, e os autores não encontraram diferença significativa ($P>0,05$) para o consumo e peso dos animais, o que corrobora com os dados encontrados nesse experimento. No presente estudo as concentrações de P total foram de 3,1, 3,9 e 4,6g/kg nos níveis 0, 0,075 e 0,15% respectivamente, com um período de 3 dias de fornecimento das dietas experimentais.

Shastak et al. (2012), relataram resultados distintos aos verificados no presente estudo onde o ganho de peso e consumo de ração foram melhorados pelo nível de fósforo ($P<0,04$), com níveis de inclusões de 0,08% 0,16% 0,24% com dez dias de fornecimento das dietas experimentais. Assim como, os resultados de Saçakh et al. (2020), os quais relataram um aumento no consumo de ração e ganho de peso das aves no período de 21 a 28 dias de idade nos níveis de inclusões de 0,075 e 0,15%.

Essas diferenças podem ser atribuídas aos níveis de inclusão dos fosfatos que foram superiores quando comparados ao experimento atual e aos períodos de fornecimento das dietas experimentais no estudo de Shastak et al. (2012) e Saçakh et al. (2020), que foram dez e oito dias respectivamente, onde os animais tiveram um tempo maior de fornecimento das dietas experimentais, o que pode ter contribuído para o aumento no consumo de ração e ganho de peso dos animais, diferentemente do que ocorreu no presente estudo onde os animais tiveram um menor tempo de fornecimento das dietas experimentais, três dias.

No estudo atual foi escolhido um período de adaptação de três dias, É normalmente utilizado um período de adaptação das dietas experimentais entre três a dez dias para mitigar qualquer potencial efeito homeostático negativo, como efeitos de transferência dos animais (DILGER e ADEOLA, 2006; IYAYI et al. 2013; LIU et al. 2013; MUTUCUMARANA et al. 2014a, b). Períodos de adaptação longos com dietas contendo baixo teor de P, podem resultar na adaptação dos frangos para manter a homeostase, resultando em valores altos de digestibilidade, portanto, um período de adaptação mais curto (<5 dias) pode ser vantajoso (YAN et al. 2005).

Perryman et al. (2016), realizaram um estudo para avaliar três períodos de adaptação alimentar 0, 24 e 48 h e se os períodos influenciavam a digestibilidade aparente e verdadeira do P do milho. Os autores não observaram efeito linear significativo para a digestibilidade ileal

aparente do P, nos períodos de adaptação alimentar 0 e 24h, entretanto, após 48h houve aumento linear significativo na digestibilidade aparente do P. De acordo com Perryman et al. (2016) há uma variação nas medidas de disponibilidade do P quando o período de adaptação a dieta é mais curto.

Tabela 4. Desempenho de frangos de corte alimentados com as dietas experimentais de 19 a 22 dias de idade.

	Níveis	Fosfatos			Nível	P valor				
		FB1	FB2	FB3		F	N	FxN	CV	SEM
Consumo	0,075%	107,27aA	109,65aA	111,62aA	109,51aA	0,87	0,53	0,55	8,1	3,63
(g/ave/dia)	0,15%	111,95aA	113,25aA	108,91aA	111,37aA					
Fosfato		109,61aA	111,45aA	110,26aA						
Dieta										
Basal					113,86	-	-	-	-	-
Variação	0,075%	68,5aA	68,85aA	73,14aA	70,16aA	0,75	0,96	0,61	11	3,04
de peso	0,15%	70,9aA	69,57aA	69,64aA	70,04aA					
(g/ave/dia)										
Fosfato		69,7aA	69,21aA	71,39aA						
Dieta										
Basal					67,32	-	-	-	-	-

^{aA}Médias seguidas letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey (p>0,05)
 F=Fosfato
 N=Nível
 CV = coeficiente de variação
 SEM= erro padrão da média

Os coeficientes de digestibilidade ileal aparente do fósforo das dietas experimentais estão descritos na Tabela 5 e variaram entre 48,9 a 54,3%. Não foi encontrada interações

significativas entre o nível de fósforo e fonte utilizada para os coeficientes de digestibilidade ileal aparente do fósforo ($P > 0,05$). A digestibilidade ileal aparente do fósforo não foi significativamente afetada pelo nível de fósforo ($P > 0,05$), mas sim pelas fontes de fósforo ($P < 0,05$). A dieta com o fosfato bicálcico 2 (FB2) apresentou a maior digestibilidade de P, enquanto a dieta com FB3 apresentou digestibilidade intermediária e a dieta com FB1 apresentou a menor digestibilidade ($P < 0,05$).

A dieta FB2 é composta pelo fosfato bicálcico que está na forma hidratada $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ o que pode ter contribuído pelo seu maior valor de digestibilidade (54,24%), quando comparadas com as dietas FB1 e FB3, tendo sido estatisticamente semelhante ao FB3. De acordo com Sarker et al. (2009), as fontes de fósforo podem influenciar a disponibilidade de P. A forma hidratada possui maior biodisponibilidade que a forma anidra, o que conseqüentemente pode afetar sua digestibilidade. Alguns estudos relataram que a biodisponibilidade de P do fosfato monocálcico na forma hidratada, é mais elevada do que o fosfato bicálcico na forma anidra (POTTER et al. 1995; VAN DER KLIS e VERSTEEGH, 1996 ;VAN KRIMPEN et al. 2016).

Os valores de digestibilidade aparente do fósforo podem variar substancialmente entre os ingredientes e entre diferentes amostras de um mesmo ingrediente. Essas variações podem ser atribuídas às diferenças no tratamento tecnológico (processamento) e na estrutura físico-química dos alimentos em estudo (LIMA et al. 1999 e BUZEN et al. 2009).

Um pré-requisito do método de regressão é que o coeficiente de digestibilidade aparente seja constante em todos os níveis de ingestão de fósforo, e esta condição foi satisfeita no presente estudo.

As Figuras 6,7 e 8 representam uma relação linear entre o conteúdo do fósforo digestível (g/kg de MS) e a concentração de fósforo total na dieta (g/kg de MS). Os resultados indicaram uma forte relação entre o conteúdo de fósforo digestível (variável independente) e o conteúdo de fósforo total da dieta (variável dependente) ($R^2 = 0,9614, 0,9928$ e $0,9114$), que é um pré-requisito para a aplicação do método de regressão.

Tabela 5. Digestibilidade ileal aparente do fósforo (DiAP) das dietas experimentais.

Níveis	Fosfatos			Nível Fosfato	P valor				
	FB1	FB2	FB3		Nível Fosfato	FxN	CV	SEM	
0,075%	0,4931	0,5435	0,5295	0,51					
DiAP					0,04	0,33	0,57	9,45	0,019
0,15%	0,4876	0,5414	0,4892	0,52					
Fosfato	0,4902a	0,5424b	0,5093ab						
Dieta Basal				0,54	-	-	-	-	-

^{a,b,c} Médias com letras diferentes na mesma linha representam diferença significativa ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey
 CV: coeficiente de variação;
 SEM: erro padrão da média

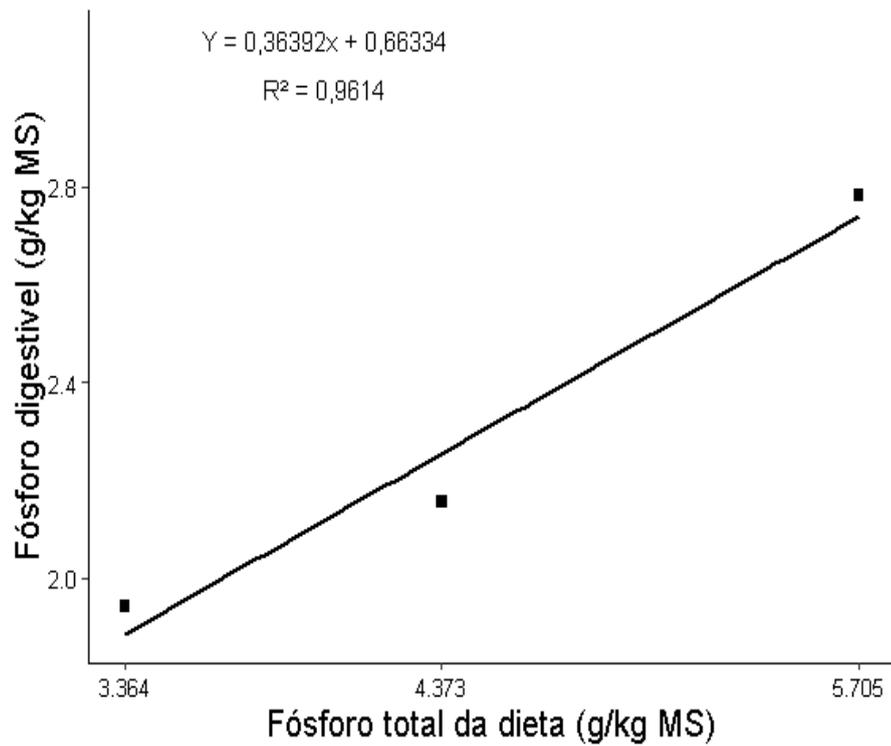


Figura 6. Regressão do conteúdo de fósforo digestível (g/kg MS) vs o teor de fósforo nas dietas (g/kg MS) fosfato bicálcico 1(FB1).

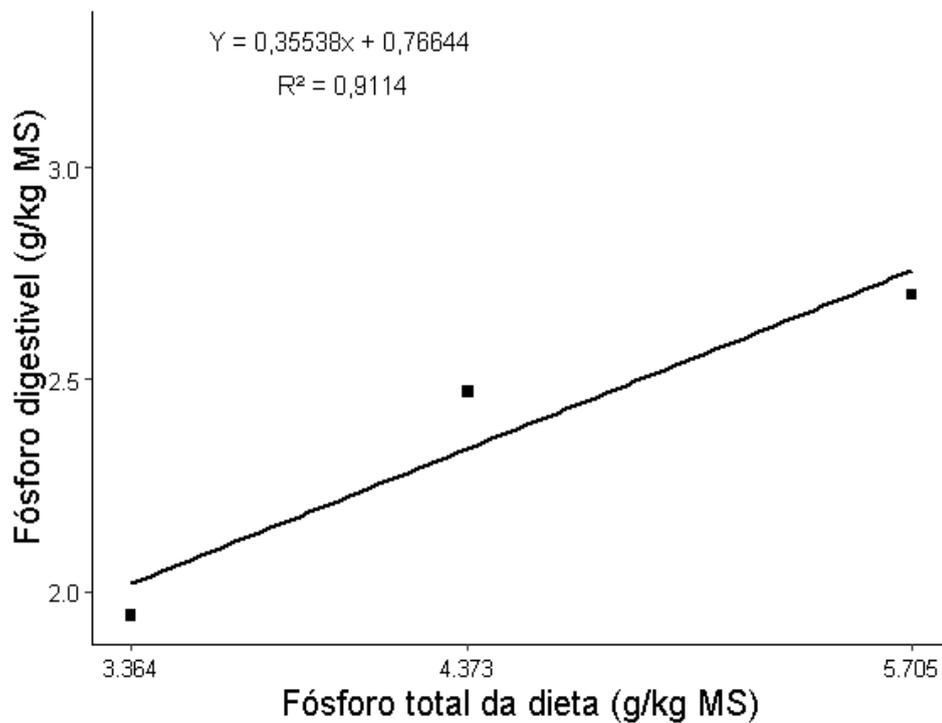


Figura 7. Regressão do conteúdo de fósforo digestível (g/kg MS) vs o teor de fósforo da dieta (g/kg MS) fosfato bicálcico 2(FB2).

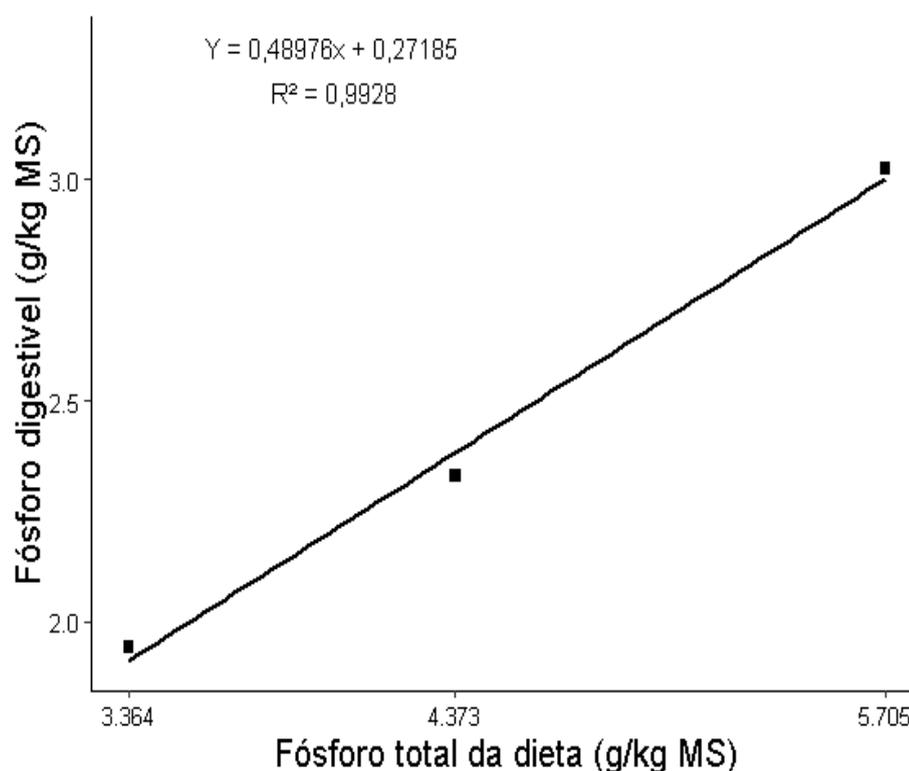


Figura 8. Regressão do conteúdo de fósforo digestível (g/kg MS) vs o teor de fósforo da dieta (g/kg MS) fosfato bicálcico 3(FB3).

Na tabela 6 encontram-se descritos os teores de P digestível (g/kgMS) das dietas experimentais utilizadas. Os valores de P digestível variaram de 2,7 a 2,1 (g/kg MS).

Tabela 6. Valores em fósforo digestível (g/kg MS) das dietas experimentais

Dietas experimentais	P digestível(g/kg)
Fosfato Bicálcico 1 Nível 0,075%	2,156
Fosfato bicálcico 1 Nível 0,15%	2,782
Fosfato bicálcico 2 Nível 0,075%	2,329
Fosfato bicálcico 2 Nível 0,15%	3,026
Fosfato Bicálcico 3 Nível 0,075%	2,470
Fosfato Bicálcico 3 Nível 0,15%	2,700
Dieta basal*	1,816

*Dieta basal representava o nível 0 de inclusão de fosfatos e não continha nenhum dos fosfatos bicálcicos.

Na Tabela 7 encontram-se descritas as equações lineares, as perdas endógenas e os coeficientes de digestibilidade ileal verdadeiro de fósforo (C_{dvi}P) dos fosfatos bicálcicos FB1, FB2 e FB3 determinado pelo método de regressão.

A digestibilidade ileal verdadeira do fósforo dos fosfatos FB1, FB2 e FB3 foi determinada em 36,39, 48,97 e 35,53% respectivamente. As perdas endógenas de P para FB1, FB2 e B3 foi de 0,66, 0,27 e 0,76 (g/KgMS) respectivamente.

Tabela 7. Regressão Linear entre o fósforo digestível (g/kg de Msi) vs o teor de fósforo de dietas (g/kg de MS) dos três fosfatos bicálcicos utilizados.

	Equação de regressão ¹	SE slope ²	SE intercepto ³	r ²	Perda endógena de P (g/kg MS) ³	Digestibilidade ileal Verdadeira do P ⁴
FB1	Y=0,3639x+0,6633	0,074	0,340	0,96	0,6633	36,39
FB2	Y=0,4897x+0,2718	0,056	0,255	0,99	0,2718	48,97
FB3	Y=0,3553x+0,7664	0,084	0,388	0,98	0,7664	35,53

¹Regressão do conteúdo de fósforo digestível (g/Kg MS) em relação ao conteúdo de fósforo da dieta (g/kgMS), conforme recomendado pela WPSA, 2013.

²A inclinação é representativa da digestibilidade ileal verdadeira do P

³O intercepto representa as perdas endógenas de P (g/kg MS)

⁴Valores em porcentagem (%)

A comparação do coeficiente de regressão dos fosfatos bicálcicos utilizados, determinados pela análise de covariância, está descrita na Figura 9. Não foram encontradas diferenças significativas entre a digestibilidade ileal verdadeira do fósforo dos fosfatos (P>0,05) utilizados. Logo, os coeficientes de inclinação da reta são considerados iguais.

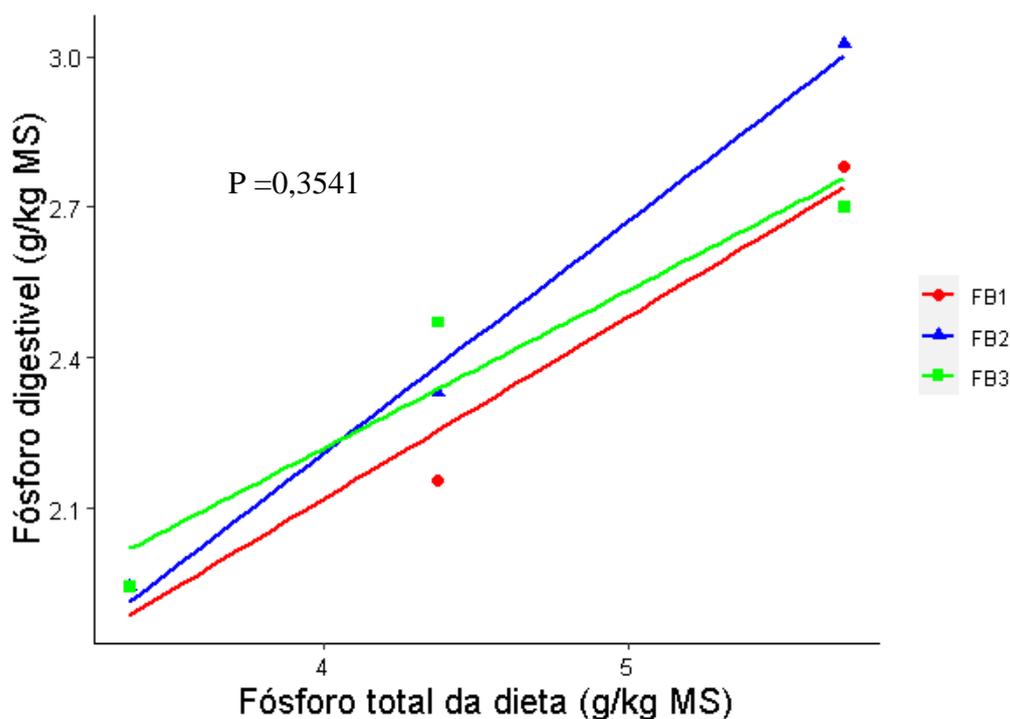


Figura 9. Comparação dos coeficientes de digestibilidade ileal verdadeira do fósforo (C_{dvi}P) dos fosfatos bicálcicos (FB1, FB2 e FB3) determinado pelo método de regressão e comparados pela análise de covariância.

Os valores de digestibilidade ileal verdadeira do fósforo dos fosfatos bicálcicos utilizados no presente estudo podem ser considerados iguais. Estudos escassos acerca da comparação de diferentes fontes de fosfatos bicálcicos. Mutucumarana et al. (2015) analisaram três diferentes amostras de farinhas de carne e ossos (MBM) mostraram que os coeficientes de digestibilidade ileal verdadeiro de fósforo diferiram entre as amostras MBM-1, MBM-2 e MBM-3 foram 0,693, 0,608 e 0,420, respectivamente.

O teor de cinzas pode explicar as diferenças na digestibilidade de P entre as amostras de farinhas. De acordo com Sulabo e Stein, (2013) a digestibilidade do P em farinhas de carne e ossos diminui com o aumento das concentrações de cinzas, sendo os teores das farinhas MB1 237, MB2 357 e MB3 462 g/kg de cinzas. No entanto, essa explicação não pode ser atribuída aos resultados encontrados no presente estudo. A digestibilidade do FB1, FB2 e FB3 foi de 0,3639, 0,4897 e 0,3553 com os respectivos teores de cinzas 855,4, 856,4 e 885,7g/kg respectivamente, ou seja, os dois primeiros valores de cinzas estão bem próximos e com digestibilidades diferentes.

A digestibilidade ileal verdadeira do fósforo do presente estudo variaram de 35,53 a 48,97%, resultados estes inferiores a dados publicados em algumas literaturas (SAUVANT et al. 2004; BUZEM et al. 2009; RODEHUTSCORD et al. 2012; SHASTAK et al. 2012; BIKKER et al. 2016; VAN HAN et al. 2017; TRAIRATAPIWAN et al. 2018; PAVLOVIĆ et al. 2017; SAÇAKH et al. 2020; SU HYUN NA et al. 2020).

Uma das possíveis explicações para os dados verificados deve-se a relação Ca:P. Bikker et al. (2016), relataram que a digestibilidade do fósforo do fosfato monocálcico (MCP) em uma relação Ca:P total 1,33 foi menor que uma relação de 1,16 (78,3 e 88%). No presente estudo a relação Ca:P total variou de 1,35 a 1,36. Entretanto essa relação Ca:P obtida está dentro do protocolo descrito pela WPSA, (2013) para determinação da digestibilidade pré-cecal do fósforo que pode variar de 1,3 a 1,4 que foi a metodologia seguida no presente estudo.

Ao avaliar a digestibilidade ileal verdadeira do fósforo de um fosfato monocálcico (MCP) Rodehutscord et al. (2012), obtiveram uma digestibilidade ainda menor do que as relatadas por Bikker et al. (2016). Rodehutscord et al. (2012) relataram a digestibilidade de P do MCP de 42%, sendo esta digestibilidade foi estabelecida em dietas com uma relação Ca: P média de 1,83. No estudo de Bikker et al. (2016), Rodehutscord et al. (2012) e no presente as dietas foram formuladas para conter baixos teores de fósforo fítico e nas dietas basais os teores de P eram baixos(<2,30g/kg).

A relação Ca:P pode afetar a digestibilidade do P. Segundo Liu et al. (2013) a digestibilidade ileal verdadeira do P diminuiu de 71% para 46% e 51% quando a relação Ca: P da dieta aumentou de 0,8 para 1,6 e 2,0, respectivamente. Possivelmente uma maior relação Ca:P pode ter contribuído para maior formação de complexo fitato-Ca o que conseqüentemente diminuiu a absorção de fósforo no intestino (LIU et al. 2013; AMERAH et al. 2014; BIKKER et al. 2016). Uma alta relação Ca: P na dieta pode causar uma degradação mais baixa do fitato no trato digestivo de frangos de corte (APPLEGATE et al. 2003). Por outro lado, Trairatapiwan et al. (2018) utilizaram uma relação Ca:P entre 1,18 e 1,27 e as diferentes relações Ca:P não afetaram a digestibilidade do P e estão dentro da faixa de 1,2 e 2,0 que não teriam influenciado a digestibilidade do fósforo (LIU et al. 2013). Assim como, um estudo realizado por Omara et al. (2020) relataram que não houve diferença na digestibilidade do P das dietas quando utilizaram uma relação Ca: P variando de 1,4 a 2,0.

A digestibilidade ileal do fósforo do fosfato bicálcico produzido a partir do fosfato de rocha foi de 59,0% de acordo com Bikker et al. (2016). Essa diferença de digestibilidade observada pode ser atribuída a fonte de fósforo utilizada. No ensaio conduzido por Bikker et al. 2016 foi utilizado uma mistura de fosfatos bicálcicos obtida de diferentes fornecedores, sendo o valor encontrado utilizado como valor médio de digestibilidade e não como valor individual da fonte, pois esses valores podem ser diferentes dos valores encontrados em fosfatos

individuais devido a possível diferença em sua composição química e em seus processos de produção.

A maior digestibilidade encontrada no presente estudo foi do fosfato bicálcico 2 (FB2) 48,97%, entretanto, sem diferenças significativas, quando comparado a digestibilidade dos diferentes fosfatos utilizados. Uma maior digestibilidade da dieta com essa fonte de fósforo poderia ser explicada pelo grau de hidratação da fonte utilizada, que está na forma hidratada. Van der klis e Versteegh, (1996), mostraram níveis de retenção de fósforo de 92% para o fosfato monocálcico hidratado (MCP + H₂O) e 55% para o fosfato bicálcico na forma anidra.

Saçakh et al. (2020) ao avaliarem a digestibilidade ileal verdadeira do fósforo do fosfato bicálcico hidratado (CaHPO₄. 2H₂O) e encontraram um valor de 76,60%, e essa discrepância quando comparado ao presente estudo, pode estar relacionado a fonte de obtenção do fosfato utilizado, condições experimentais e processamento do fosfato utilizado.

Trairatapiwan et al. (2018) determinaram a digestibilidade ileal verdadeira do fósforo de uma fonte orgânica de fosfato bicálcico (DCP) e obtiveram um valor de 69,3%, valor superior ao encontrado no presente estudo. Tal fato, poderia ser explicado pela origem do fosfato utilizado, que foi processado através de ossos, o tornando-o mais digestível, resultados estes que corroboram com os encontrados por Van Harn et al. (2017) relataram que o DCP produzido através de ossos apresentou uma digestibilidade ileal verdadeira maior que o de fosfato de rocha 94,5 e 82,4% respectivamente.

A digestibilidade do P pode ser influenciada pelo tamanho de partícula. São poucos os trabalhos acerca da influência do tamanho de partícula sobre a digestibilidade de P do fosfato bicálcico com frangos de corte. De acordo com Potter (1988), quanto maior o tamanho da partícula mais elevada será a disponibilidade do elemento presente no alimento.

Anwar et al. (2016) avaliaram a digestibilidade do cálcio do calcário, observaram que o coeficiente de digestibilidade aparente do Ca com partículas maiores, que se situam entre 1-2 milímetros (mm), foi mais elevado, obtendo um coeficiente de 71% em comparação a 43% quando do fornecimento de partículas finas, menores que 0,5 mm. Já em um estudo realizado por Sordi, (2019), encontrou um valor de digestibilidade do P maior, de 76,69% quando o DGM foi de 615 µm e uma digestibilidade de 68% quando o DGM foi de 102 µm.

No atual estudo o diâmetro geométrico médio (DGM) dos fosfatos FB1, FB2 e FB3 foram 146, 107 e 184 µm respectivamente. Diferentemente dos relatados por Anwar et al. (2018) e Sordi, (2019) no atual estudo a maior digestibilidade encontrada foi de 48,97% com um valor de DGM menor e a menor digestibilidade de 35,53% com o maior DGM.

Esse aumento da digestibilidade quando do fornecimento de partículas finas, pode estar relacionado como grau de moagem do alimento, pois a redução do tamanho da partícula aumenta a superfície de contato desta à ação dos agentes digestivos e, dessa forma exerce influência na digestibilidade dos nutrientes (ZANOTTO et al.1995).

A perda endógena de fósforo dos fosfatos utilizados foi estimada como interceptação, para o FB1 0,663, FB2 0,271 e FB3 0,766 (g/kg MS). Em alguns estudos perdas endógenas negativas foram relatadas (LIU et al. 2013; MUTUCUMARANA et al. 2015; ANWAR et al. 2018; TRAIRATAPIWAN et al. 2018; DILELIS et al. 2021) o que não ocorreu no presente estudo. Perdas endógenas negativas não são fisiologicamente possíveis, o que pode considerada uma possível limitação para o método de regressão. Entretanto, nesse estudo e em outros como Sauviant et al. 2004; Shastak et al. 2012; Bikker et al. 2016; Trairatapiwan et al. 2018; Saçakh et al. 2020) não foram relatadas perdas endógenas negativas através do método de regressão.

Dietas semipurificadas também podem ser utilizadas em estudos que medem a digestibilidade de nutrientes de ingredientes para aves. A escolha dessa dieta pode levantar a um questionamento se os resultados provenientes de estudos com essa dieta são válidos para dietas que contém fitato, pois a alimentação que compõem as rações de frangos de cortes são a base de milho e farelo de soja (SHASTAK et al. 2014 e BIKKER et al. 2016).

No presente estudo utilizou-se uma dieta basal com milho e farelo de soja, e além da relação Ca:P ter influenciado os valores baixos de digestibilidade dos fosfatos utilizados, a dieta basal também pode ter contribuído para esses índices menores. Uma suposição comum para o método de regressão é que não existem interações entre a dieta basal e a fonte mineral de fósforo suplementar (SHASTAK et al. 2013 e SU HYUN NA et al. 2020), no entanto essa suposição não é válida para dietas basais que contém fitato, pois a fonte de fósforo suplementar pode influenciar a hidrólise do fitato da dieta basal (SHASTAK et al. 2014).

Em um estudo realizado por Shastak et al. (2014) avaliando a disponibilidade do P do fosfato monossódico anidro e fosfato monossódico hidratado utilizaram-se dietas basais semipurificadas e a base de milho e farelo de soja para estimar a digestibilidade ileal do fósforo, a dieta basal com milho e soja reduziu a hidrólise do fitato, diminuindo conseqüentemente a retenção e a digestibilidade do P dessas dietas. De acordo com os autores, a digestibilidade do fosfato é subestimada, porque a contribuição da dieta basal é menor do que o assumido.

Dilelis et al. (2021) ao avaliarem a digestibilidade verdadeira do fósforo do fosfato bicálcico pelo método direto, com a utilização de dietas semipurificadas encontraram uma digestibilidade de 43,34%, resultados que corroboram ao verificados no presente estudo.

Vários são os fatores que podem influenciar a digestibilidade do fósforo em fosfatos. Fatores como: diferença na metodologia utilizada, idade dos animais, nível de fósforo da dieta basal, fonte de fósforo, Ca na dieta, relação Ca:P e entre outros. A digestibilidade do fósforo a partir de fontes de hidratadas de fosfato bicálcico é maior do que a das formas de anidra (DE GROOTE e LIPPENS, 2002).

Outro fator que afeta a digestibilidade do fósforo é o tamanho da partícula da fonte de fosfato. Fontes de fosfato com tamanho de partícula maior têm maior disponibilidade biológica por causa da maior retenção na moela para a digestão completa é benéfico para o desenvolvimento das funções da moela e do intestino (HETLANDET e SVIHUS, 2002). De acordo com (BIKKER et. al (2016), as diferenças nos valores de digestibilidade do fósforo para os fosfatos não são devidas somente a composição dos ingredientes e suas propriedades, mas também nas condições experimentais onde foram conduzidos os estudos.

Na tabela 8 ilustra a necessidade em se expressar aos valores das fontes de origem inorgânica com base em seu conteúdo de P digestível e não conteúdo de P total.

Tabela 8. Valores de fósforo total e fósforo digestível dos fosfatos bicálcicos utilizados.

Ingrediente	P total (%)	Digestibilidade ileal verdadeira do	
		P (%)	P digestível (%)
Fosfato bicálcico 1	17,9	36,4	6,5
Fosfato bicálcico 2	17,0	49,0	8,3
Fosfato bicálcico 3	16,9	35,5	6,0

Viljoen, (2001) relata a necessidade em se utilizar o conteúdo de P digestível das fontes inorgânicas em detrimento ao conteúdo de P total. Em seu estudo observou-se que o fosfato bicálcico anhidrato possuiu um teor de P total mais elevado que o fosfato bicálcico dihidrato (20 versus 18%), demonstrando que o teor de P total pode ser duvidoso, mas quando a digestibilidade foi considerada o fosfato bicálcico anhidrato foi o que demonstrou conter apenas 11% de P digestível contra 13,9% do fosfato bicálcico dihidrato. No entanto, deve ser ressaltado que está comparação só teria valor se o nutricionista formulasse as rações utilizando valores P digestíveis para todos fontes de alimentação.

Os resultados de digestibilidade obtidos nesse estudo com fosfatos brasileiros são inferiores aos tabelados. Os resultados apontaram que pode ser utilizado um valor representativo de digestibilidade do fósforo de diferentes fosfatos bicálcicos.

5 CONCLUSÕES

O coeficiente de digestibilidade ileal verdadeiro do fósforo dos diferentes fosfatos bicálcicos determinados pelo método de regressão, foram 0,363; 0,489 e 0,355 para FB1, FB2 e FB3, respectivamente.

A comparação dos resultados entre as fontes de P estudadas e os valores da literatura sugerem que os detalhes metodológicos, relação Ca:P e influência da dieta exercer podem exercer efeito significativo na digestibilidade do P, dessa forma, faz-se necessário padronizar o protocolo experimental de determinação de P digestível entre diferentes ingredientes, de modo a permitir comparabilidade entre os resultados.

A forte relação linear entre conteúdo de fósforo digestível e o conteúdo de fósforo total da dieta, indicou que o método de regressão pode ser utilizado para a estimativa da digestibilidade verdadeira do fósforo do fosfato bicálcico.

A digestibilidade média do fósforo dos fosfatos estudados, de 40,23%, indicou que os valores utilizados em geral estão superestimados, o que pode levar a erros na formulação de rações de frangos de corte.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEOLA, O. **Digestion and balance techniques in pigs**. A.J. Lewis, L.L. Southern (Eds.), Swine nutrition (2nd ed.), CRC Press, Washington, DC, pp. 903-916, 2001.

ALMEIDA, M. V. et al. A cascata dos fosfoinositídeos. **Química Nova**, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 105-111, 2003.

AMERAH, A.M., PLUMSTEAD, P.W., BARNARD, L.P. & KUMAR, A. Effect of calcium level and phytase addition on ileal phytate degradation and amino acid digestibility of broilers fed corn-based diets. **Poultry Science**. 2014.

ANGEL, R., Calcium, and phosphorus requirements in broilers and laying hens. 22nd Annual Australian **Poultry Science Symposium**, Sydney, New South Wales, 2011.

ANWAR, M.N.; RAVINDRAN, V.; MOREL, P.C.H.; RAVINDRAN, G.; COWIESON, A.J. Measurement of the true ileal calcium digestibility of some feed ingredients for broiler chickens. **Animal Feed Science and Technology**, v.237, p.118-128, 2018.

ANWAR, M.N., RAVINDRAN, V., MOREL, P.C.H., RAVINDRAN, G., COWIESON, A.J. Effect of limestone particle size and calcium to non-phytate phosphorus ratio on true ileal calcium digestibility of limestone for broiler chickens. **British Poultry Science**, v. 57, p. 707–713, 2016.

AOAC International. **Official methods of analysis of AOAC International**. AOAC International, USA, 2005.

APPLEGATE, T. J., ANGEL, R., CLASSEN, H. L. Effect of dietary calcium, 25-hydroxycholecalciferol, or bird strain on small intestinal phytase activity in broiler chickens. **Poult. Sci.** 82:1140–1148. 2003.

AUMAN, S.K. Increasing dietary phosphorus retention and decreasing fecal phosphate excretion in modern commercial broilers. 179p. ISBN:31924094632803. 2003.

BIKKER, P., SPEK, J.W., VAN EMOUS, R.A., VAN KRIMPEN, M.M., Precaecal phosphorus digestibility of inorganic phosphate sources in male broilers. **Br. Poult. Sci.** 2016.

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

BÜNZEN, S.; ROSTAGNO, H.S.; LOPES, D.C.; GOMES, P.C.; HASHIMOTO, F.A.M.; APOLÔNIO, L.R.; BORSATTO, C.G. Digestibilidade aparente e verdadeira do fósforo de alimentos de origem animal para suínos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.61, p.903–909, 2009.

BUTOLO, J.E. **Qualidade de ingredientes na alimentação animal**. Campinas: Agro Comunicação, 2002. 430p.

CARDOSO, J. L. A. **Produção, processamento e perspectivas do fosfato na alimentação animal**. In: MINI SIMPÓSIO DO COLÉGIO BRASILEIRO DE NUTRIÇÃO ANIMAL, 6., 1991, Campinas. Anais... Campinas: CBNA, 1991. p. 35-52.

CRENSHAW, T. D. **Calcium, phosphorus, vitamin D, and vitamin K in swine nutrition**. I n: 2ª Edition, 26 p, 2001. ISBN 9780429115073.

CVB Veevoedertabel: Gegevens over chemische samenstelling, verteerbaarheid en voederwaarde van voedermiddelen). Centraal Veevoeder Bureau, Lelystad, Países Baixos. 1998.

DE GROOTE, G., M. LIPPENS. **Phosphorus bioavailability for poultry**. Pages 43–48. EMF EMA, Brussels, Belgium. 2002.

DETMANN, E.; SOUZA, M A.; VALADARES FILHO, S.C.; QUEIROZ, A.C.; BERCHIELLI, T.T.; SALIBA, E.O.S.; CABRAL, L.S.; PINA, D.S.; LADEIRA, M.M. E AZEVEDO, J.A.G. **Métodos para análise de alimentos - INCT - Ciência Animal**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012.

DILELIS, F.; FREITAS, L. W.; QUARESMA, D. V.; REIS, T. L.; SOUZA, C. S.; LIMA, C. A. R. Determination of True ileal digestibility of phosphorus of meal in broiler diets. **Animal Feed Science and Technology**, 2021.

DILGER, R. N. & ADEOLA, Estimation of True Phosphorus Digestibility and Endogenous Phosphorus Loss in Growing Chicks Fed Conventional and Low-Phytate Soybean Meals, **Poultry Science** 85:661–668, 2006.

EECKHOUT, W., DE PAEPE, M. The bioavailability of three calcium phosphates for pigs: digestibility as measured by difference and by slope-ratio assay. Communication on the 47th **Annual Meeting of the European Association for Animal Production**, Lillehammer, Norway. 1996.

EMBRAPA SUÍNOS E AVES. Núcleo de Tecnologia e Informação. GranuCalc. Concórdia, 2013. **Software online. Aplicativo para o cálculo do Diâmetro Geométrico Médio (DGM) e do Desvio Padrão Geométrico (DPG) de partículas de ingredientes**. Disponível em: [http://www.cnpsa.embrapa.br/softgran/softgran. php](http://www.cnpsa.embrapa.br/softgran/softgran.php). Acesso em: 31 de outubro de 2021.

GARZILLO, J. M. F. **Parâmetros biológicos usados na avaliação da biodisponibilidade do fósforo para frangos de corte em fosfatos comerciais e em fosfatos de rocha**. 1996. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

GILL, C. Phosphorus; be careful white cheap P. **Feed international**, September, 1997, p. 19-26.

GOMES, P.C., RUNHO, R.C., D'AGOSTINI, P. et al. Exigência de fósforo disponível para frangos de corte machos e fêmeas de 22 a 42 e de 43 a 53 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, p.1734-1746, 2004 (Supl. 1), 2004.

HETLAND, H.; SVIHUS, B. V.; Olaisen Effect of feeding whole cereals on performance, starch digestibility and duodenal particle size distribution in broiler chickens; **Br. Poultry Science**, v.43; p. 416–423; 2002.

HUYGHEBAERT, G., DE GROOTE, G., KEPPENS, L. The relative biological availability of phosphorus in feed phosphates for broilers. **Annales de Zootechnie**, v. 29, p. 245-263, 1980.

IYAYI E.A., FRU-NJI F., ADEOLA O. True phosphorus digestibility of black-eyed pea and peanut flour without or with phytase supplementation in broiler chickens. **Poultry Science**, v.92, p. 1595-160, 2013.

JUNIOR, C. R. S. **Avaliação do desempenho e da seletividade de frangos tipo caipira e função da granulometria dos fosfatos utilizados na ração**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Zootecnia, da Universidade Federal de São João Del Rei-MG. Campus Tancredo de Almeida Neves, p 37. 2016.

KIM, S.W.; LI, W.; ANGEL, R.; PROSZKOWIEC-WEGLARZ, M. Effects of limestone particle size and dietary Ca concentration on apparent P and Ca digestibility in the presence or absence of phytase. **Poultry Science**, n. 97, p. 4306–4314, 2018.

KNOWLTON, K.F., RADCLIFFE, J.S., NOVAK, C.L. et al. Animal management to reduce phosphorus losses to the environment. **Journal of Animal Science**, v. 82 (E. Suppl.) p. E173-E195. 2004.

LEESON, S. Trace minerals in poultry nutrition- Copper and zinc- The next pollution frontier: **World Poultry**, Doetinchem, v.3, p.14-16, 2008.

LEMME A., RAVINDRAN V., BRYDEN W. L. Ileal digestibility of amino acids in feed ingredients for broilers. **World's Poultry Science Journal**, v. 60, p. 423-438, 2004.

LI, X; ZHANG, D; HUANG, K. H.; WAYNE L. BRYDEN, W. L. Available Phosphorus Requirement of Meat Chickens, **Rural Industries Research and Development Corporation**, Publication No. 17/013, 2013.

LIMA, F.R. Importância do fósforo na dieta de vacas de leite. **Revista Balde Branco**. 1999; Disponível em: <http://www.bichooonline.com.br/artigos/bb0029.htm>. Acesso em: 12/11/2021.

LIMA, F. R.; MENDONÇA JR, C. X.; ALVAREZ, J. C. Biological evaluation of commercial dicalcium phosphates as sources of available phosphorus for broiler chicks. **Poultry Science**, v. 76, p. 1707-1713, 1997.

LIMA, F. R.; MENDONÇA JR, C. X.; ALVAREZ, J. C. Chemical and physical evaluations of commercial dicalcium phosphates as sources of phosphorus in animal nutrition. **Poultry Science**, v. 74, p. 1659-1670, 1995.

LIU J., CHEN D., ADEOLA O. Phosphorus digestibility response of broiler chickens to dietary calcium-to-phosphorus ratios. **Poultry Science**, v.92, p. 1572-1578, 2013.

LUDKE, M.C.M.M.; LOPEZ, J.; NICOLAIEWSKY, S. Efeito da fitase com ou sem fosfato inorgânico para suínos em crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, p.485-494, 2000.

MCDOWELL, L.E. **Minerals in animal and human nutrition**, p.26-77, Academic Press INC, San Diego, CA. 1992.

MURRAY, R. K.; GRANNER, D. K.; MAYNES, P. A.; RODWELL, V. W.: **Bioquímica**. São Paulo: Atheneu, 1990. 705 p.

MUTUCUMARANA, R.K.; RAVINDRAN, V.; RAVINDRAN, G.; COWIESON, A.J. Measurement of true ileal phosphorus digestibility in meat and bone meal for broiler chickens. **Poultry Science**, v.94, p.1611-1618, 2015.

MUTUCUMARANA, R. K.; RAVINDRAN, V.; RAVINDRAN, G.; COWIESON, A. J.; Measurement of true ileal digestibility and total tract retention of phosphorus in corn and canola meal for broiler chickens, **Poultry Science**, 93 :412–419, 2014a.

MUTUCUMARANA, R. K.; RAVINDRAN, V.; RAVINDRAN, G.; COWIESON, A. J.; Measurement of true ileal digestibility of phosphorus in some feed ingredients for broiler chickens, **Journal. Of Animal Science**, 2014b.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Committee on Animal Nutrition. Subcommittee on Swine Nutrition. **Nutrient requirements of swine**. 9 ed. Washington: National Academy of Science, 1998. 211p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **Nutrient requirements of poultry**. Ninth revised edition. Washington, D.C, National Academy Press. 1994.

OATWAY, L., VASANTHAN, T. HELM, J.H. Phytic acid. **Food Rev. Int.**, 17, 419–431. 2001.

OLUKOSI, O. A.; FRU-NJI, F.; The interplay of dietary nutrient level and varying calcium to phosphorus ratios on efficacy of a bacterial phytase: 2. Ileal and total tract nutrient utilization; **Poultry Science Association**; 2012.

OMARA II, MOU CT, PERSIA ME, WONG EA. Effects of available phosphorus source and concentration on performance and expression of sodium phosphate type IIb cotransporter, vitamin D-1 α -hydroxylase, and vitamin D-24-hydroxylase mRNA in broiler chicks. **Poult Sci**. 2020.

PAVLOVIĆ, M.; MARKOVIĆ, R.; PETRUJKIĆ, B.; JOVANOVIĆ, D.; BALTIĆ, M. Z.; ŠEFER, D. Estimation of apparent and true total tract digestibility of phosphorus from monocalcium phosphate in broiler diets. **Poult. Sci**, 82. 1612-9199, 2018.

PERRYMAN, K.R.; MASEY O'NEILL, H.V.; BEDFORD, M.R.; DOZIER, III, W. A. Effects of calcium feeding strategy on true ileal phosphorus digestibility and true phosphorus retention determined with growing broilers. **Poult. Sci**. v.95, p.1077–1087, 2016.

PESTI, G.M., BAKALLI, R.I., DRIVER, J.P., ATENCIO, A., Foster, E.H., **Poultry Nutrition and Feeding: A Textbook**. Trafford, Victoria, 2005.

PETTEY, L.A.; CROMWELL, G.L.; LINDEMANN, M.D. Estimation of endogenous phosphorus loss in growing and finishing pigs fed semipurified diets. **Journal of Animal Science**, v. 84, p. 618-626, 2006.

PONTES, T. C.; CAGOL, L.; DUTRA, F. M.; PORTZ, L. Disponibilidade do fósforo em alimentos de origem vegetal: atuação na nutrição de peixes. **Arq. Ciênc. Vet. Zool. UNIPAR**, Umarama, v. 18, n. 3, p. 199-205, 2015.

POTTER, L. M. Bioavailability of phosphorus from various phosphates based on body weights and toe ash measurements. **Poultry Science**, v. 67, p. 96 – 102, 1988.

POTTER, L. M.; POTCHANAKORN, M.; RAVINDRAN, V.; KORNEGAY, E. T. Bioavailability of phosphorus in various phosphates sources using body weight and toe ash as response criteria. **Poultry Science**, v. 74, p. 813-820, 1995.

QUEIROZ, L. S. B. Utilização de fosfatos comerciais para frangos de corte na fase inicial. **Pesquisa Agropecuária Brasileira (online)**. 43, 1678-3921, 2008.

RAVINDRAN, V., WU, Y.B., HENDRIKS, W.H., 2004. Effects of sex and dietary phosphorus level on the apparent metabolizable energy and nutrient digestibility in broiler chickens. **Arch. Anim. Nutr.** 58, 405-411, 2004.

RODEHUTSCORD, M. WPSA, Worlds's Poultry Science Association, Working group 2 - Nutrition- of the European Federation of Branches. Determination of phosphorus availability in poultry. **World's Poultry Science Journal**, v. 69, p. 687–698, 2013.

RODEHUTSCORD, M., DIECKMANN, A., WITZIG M., SHASTAK. Y., A note on sampling digesta from the ileum of broilers in phosphorus digestibility studies. **Poult. Sci.** 91, 965-971, 2012.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; HANNAS, M.I.; DONZELE, J.L.; SAKOMURA, N.K.; PERAZZO, F.G.; SARAIVA, A.; TEIXEIRA, M.V.; RODRIGUES, P.B.; OLIVEIRA, R.F.; BARRETO, S.L.T.; BRITO, C.O. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 4ed. Viçosa, MG: Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, 2017. 488p.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L.; GOMES, P.C.; OLIVEIRA, R.F.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A.S.; BARRETO, S.L.T. **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais**. 3ª ed. Viçosa, MG: UFV, Departamento de Zootecnia, 2011. 252p.

ROSTAGNO, H.S., ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L.; SAKOMURA, N.K.; PERAZZO, F.G.; SARAIVA, A.; TEIXEIRA, M.L.; RODRIGUES, P.B.; OLIVEIRA, R.F.; BARRETO, S.L.T.; BRITO, C.O. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 2.ed. Viçosa, MG: UFV, Departamento de Zootecnia, 2005.186p.

SAÇAKH, P., SIZMAZ O., PIRPANAHI M. Pre-cecal Phosphorus Digestibility of Dicalcium Phosphate and Monocalcium Phosphate in Broilers. **Journal of Poultry Research**. Vol 17, 2147-9003,2020.

SAKER, P. K., FUKADA, H., MATSUMOTO, T. Phosphorus availability from inorganic phosphorus sources in yellowtail (*Seriola quinqueradiata* Temminck and Schlegel). **Aquaculture** 289, 113-117. 2009.

SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Jaboticabal: Funep, 2007. 283p

SALES, J., JANSSENS, G. P. J. Acid-insoluble ash as a marker in digestibility studies: a review. **Journal of Animal Feed Science**, v.12, p.383–401, 2003.

SANNI, C. O. **Evaluation of techniques for improving phosphorus utilisation in meat poultry**. 275 f. Tese - A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements of Nottingham University for the degree of Doctor of Philosophy, 2017.

SANTANA, A. L. A.; TEIXEIRA, A. O.; LOPES, D. C.; SANTANA, R.A.; ROCHA JUNIOR, C.M.; MOREIRA, L.M.; HANNAS, M.I.; CORASSA, A. Digestibility of calcium and digestible calcium from inorganic sources evaluated in swine by two methods. **Revista Brasileira de Saúde Produção Animal**, v.19, n.1, p.93-104. 2018.

SAS INSTITUTE INC., 2016. A Recipe for Success Using SAS® University Edition: How to Plan Your First Analytics Project. SAS Institute Inc. Cary, NC.

SAUVANT, D., PEREZ, J.M., TRAN, G., Tables of Composition and Nutritional Value of Feed Materials: Pigs, Poultry, Cattle, Sheep, Goats, Rabbits, Horses and Fish. **Wageningen Academic Publishers**, Wageningen, 2004.

SELLE, P.H., RAVINDRAN, V. microbial phytase in poultry nutrition. **Anim. Feed Sci. Technol.** 135, 1-41, 2007.

SHASTAK, Y., ZELLER, E., WITZIG, M., SCHOLLENBERGER, M., RODEHUTSCORD, M., Effects of the composition of the basal diet on the evaluation of mineral phosphorus sources and interactions with phytate hydrolysis in broilers. **Poultry Sci.** 93,2548-2559,2014.

SHASTAK, Y., RODEHUTSCORD, M.; Determination and estimation of phosphorus availability in growing poultry and their historical development, **World's Poultry Science Journal**, Vol. 69, September 2013.

SHASTAK, Y., WITZIG, M., HARTUNG, K., RODEHUTSCORD, M., Comparison of retention and prececal digestibility measurements in evaluating mineral phosphorus sources in broilers. **Poult. Sci.** 91, 2201-2209, 2012.

SILVA JUNIOR, C. R.; TEIXEIRA, A.O.; BRIGHENTI, C. R. G.; MOREIRA, L. M.; RESENDE, V. A.; ROCHA JUNIOR, C. M.; MELO JUNIOR, D. A. **Avaliação da correlação entre solubilidade in vitro e a digestibilidade de fosfatos em suínos** In: XXIV Congresso Brasileiro de Zootecnia - ZOOTEC 2014, Vitória – ES, 2014.

SILVA, A.F.; RABELLO, C.B.; BARROS, J.S.; AQUINO, R.S.; SILVA, E.G.; LIMA, R.S; GOMES, J.A.F. Exigência nutricional de fósforo disponível para poedeiras comerciais após 63 s emanadas de idade. **Pubvet**, v. 9, n. 9, p. 422-428, 2015.

SINGH, P.K. Significance of phytic acid and supplemental phytase in chicken nutrition: A review. **World's Poultry Science Journal**, 64, 553-580, 2008.

SORDI, C. **Digestibilidade de cálcio e de fósforo de fontes inorgânicas para galinhas poedeiras**. 72 p. Dissertação (Mestrado)- Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Chapecó, Santa Catarina, 2019.

SU, H. A; JUNG, Y.S; CHANG, K. Ileal Digestibility and Total Tract Retention of Phosphorus in Inorganic Phosphates Fed to Broiler Chickens Using the Direct Method. **Journals Animals**, 10, 2167, 2020.

SULABO, R.C.; STEIN, H.H. Digestibility of phosphorus and calcium in meat and bone meal fed to growing pigs. **Journal of Animal Science**, v.91, p.1285–1294, 2013.

SULLIVAN, T. W. A triple method for determining biological value of phosphorus sources with young turkeys. **Poultry Science**, v. 45, p. 1236-1245, 1966.

SUTTLE, N. F. (4 Ed.) **Mineral Nutrition of Livestock**. CAB International. 587 p. 2010.

SVIHUS, ET AL.; SVIHUS, B. E.; JUVIK, H.; HETLAND, A.; Krogdahl Causes for improvement in nutritive value of broiler chicken diets with whole wheat instead of ground wheat; **Poultry Science**, v.45 p. 55–60; 2004.

Swine Nutrition. 2nd ed. A. J. Lewis and L. L. Southern, ed. CRC Press, Washington, DC. p. 187-212. 2001.

TAMIM, N.M.; ANGEL, R.; CHRISTMAN, M. Influence of dietary calcium and phytase on phytate phosphorus hydrolysis in broiler chickens. **Poultry Science**, v. 83, n. 8, p. 1358-1367, 2004.

TAYLOR, T. G., DACKER, C. G. Calcium metabolism and its regulation, in: B. M. Freeman (Eds.). **Physiology and Biochemistry of the Domestic Fowl**, (pp. 125- 170). Academic Press, London, UK, 1984

TEIXEIRA, A. D. R. **Modelos de predição da digestibilidade do fósforo em função das características químicas dos fosfatos utilizados em rações para aves e suínos**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Zootecnia, da Universidade Federal de São João Del Rei – MG. Campus Tancredo de Almeida Neves, 2017.

TEIXEIRA, A.O.; CORASSA, A.; MOREIRA, L.M.; NOGUEIRA, E.T.; LOPES, J.B.; ROCHA JUNIOR, C.M.; FERREIRA, V.P.A. Bone characteristics of pigs fed with different phosphorus sources. **Revista Colombiana de Ciências Pecuárias**, v.29, p.245-254, 2016.

TEIXEIRA, A.O., LOPES, D.C., GOMES, P.C. et al. Níveis de substituição do fosfato bicálcico pelo monobicálcico em dietas para suínos nas fases de crescimento e terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.1, p.142-150, 2005.

TEIXEIRA, A. O., LEONEL, F.P., KNOOP, R., SOUZA, D.P., FERREIRA, J.J. **Aspectos da nutrição mineral em animais monogástricos**. Em: IV Encontro sobre zootecnia de Mato Grosso do Sul, Campo Grande- MS. Anais 20p. 2004.

TRAIRATAPIWAN, T., RUANGPANIT, Y., O. SONGSERM, O., ATTAMANGKUNE, S., True ileal phosphorus digestibility of monocalcium phosphate, monodicalcium phosphate and dicalcium phosphate for broiler chickens. **Animal feed Sci Technol**, 10.1016. 2018.

UNDERWOOD, E.J.; SUTTLE, N.F.: **Phosphorus. In: The Mineral Nutrition of Livestock**, 3.ed., London. 2001, p.375-395.

VAN DER KLIS, J.D., VERSTEEGH, H.A.J. Phosphorus nutrition in poultry. In: P.C. Garnworthy, J. Wiseman, W. Hareasign, Recent Advances in Animal Nutrition. **Nottingham University Press, Nottingham**. pp. 71-83, 1996.

VAN HARN, J., SPEK, J.W., VAN VUURE, C.A., VAN KRIMPEN, M.M., Determination of prececal phosphorus digestibility of inorganic phosphates and bone meal products in broilers. **Poult. Sci.** 96, 1334-1340. 2017.

VAN KRIMPEN, M. M.; LEENSTRA, F.; MAURER, V.; BESTMAN, M. How to fulfill the EU requirements to feed organic laying hens with 100% organic ingredients? **J. Appl. Poult. Res.** 25:129-138.2016.

VILJOEN, J. **Quality of feed phosphate supplements for animal nutrition**. Kynoch Feeds (Pty) Ltd., P.O. Box 10520. 2001.

WORKING GROUP NO. 2: NUTRITION OF THE EUROPEAN FEDERATION OF BRANCHES OF WORLD POULTRY SCIENCE ASSOCIATION (WPSA). Determination of phosphorus availability in poultry. **World's Poultry Science Journal**, v.69, p.687-698, 2013.

YAN, F., R; ANGEL, C.; ASHWELL, A.; MITCHELL, AND M. CHRISTMAN. Evaluation of the broiler's ability to adapt to an early moderate deficiency of phosphorus and calcium. **Poult. Sci.** 84:1232-1241, 2005.

ZANOTTO, D.L., MONTICELLI, C., MAZZUCO, H. **Implicações da granulometria de ingredientes de rações sobre a produção de suínos e aves**. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE NUTRIÇÃO DE SUÍNOS E AVES, 1995, Campinas. Anais... Campinas: CBNA, 1995 p. 111- 133.

ZANOTTO, L. Z.; CUNHA Jr., A.; LUDKE, J. V.; COLDEBELLA, A. **Análise de granulometria de milho moído**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 2016. 5 p. (EMBRAPA-CNPSA. Comunicado Técnico, 536). Disponível em: < <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1062014/1/Cot536.pdf>>. Acesso em: 22 de outubro de 2021.

ZHOU Q. C., TAN B. P., MAI K. S., LIU Y. J. Apparent digestibility of selected feed ingredients for juvenile cobia *Rachycentron canadum*. **Aquaculture** v. 241, p.441-451, 2004.