

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA SUPLEMENTAÇÃO DE FITASE EM DIETAS DE
FRANGOS DE CORTE CONTENDO DIFERENTES NÍVEIS DE FITATO**

Victor Otávio Aro Mazzi

**JABOTICABAL – SP
2025**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA SUPLEMENTAÇÃO DE FITASE EM DIETAS DE
FRANGOS DE CORTE CONTENDO DIFERENTES NÍVEIS DE FITATO

Victor Otávio Aro Mazzi

Orientador: Prof^a. Dr^a. Nilva Kazue Sakomura

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias –
Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das
exigências para Graduação em Zootecnia.

JABOTICABAL – SP
2º Semestre 2025

M477a Mazzi, Victor Otávio Aro
 Avaliação do impacto da suplementação de fitase em dietas de
 frangos de corte contendo diferentes níveis de fitato / Victor Otávio
 Aro Mazzi. -- Jaboticabal, 2025
 32 p. : tabs.

 Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Zootecnia) -
 Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências
 Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
 Orientadora: Nilva Kazue Sakomura
 Coorientador: Pedro de Carvalho Gaio

 1. Nutrição animal. 2. Fósforo na nutrição animal. 3. Avicultura. I.

Título.

VICTOR OTAVIO ARO MAZZI

**TÍTULO DO TRABALHO ACADÊMICO: AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA
SUPLEMENTAÇÃO DE FITASE EM DIETAS DE FRANGOS DE CORTE
CONTENDO DIFERENTES NÍVEIS DE FITATO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em Zootecnia.

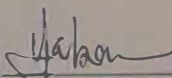
Orientador: Prof. Dr. Nilva Kazue Sakomura

Área de Concentração: Nutrição animal com ênfase em avicultura

Data da defesa: 11/12/2025

(X) Aprovado
() Reprovado

Banca Examinadora:



Profª Dra. Nilva Kazue Sakomura
UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

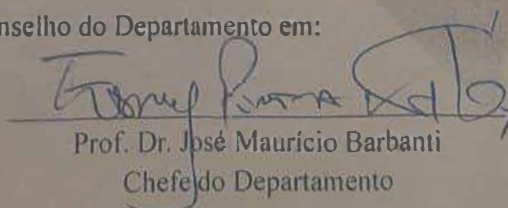


Me. Daniela Keley Custódio
UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal



Dr. Bruno Balbino Leme
UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em:



Prof. Dr. José Maurício Barbanti
Chefe do Departamento

OFERECIMENTOS

Dedico este trabalho, primeiramente, a minha família, por todo apoio e contribuição para que este momento pudesse ser possível. Minha gratidão se estende, ainda, aos meus companheiros de estágio obrigatório e aos meus companheiros no Laboratório de Ciências Avícolas da Unesp “Lavinesp”, que me auxiliaram em todo o processo de pesquisa, não mediram esforços para me apoiar durante essa etapa.

Gostaria de dedicar, também, este trabalho à Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal. Cuja instituição me proporcionou uma sólida base educacional e excelentes docentes, fundamentais para a minha formação como profissional e para a conclusão bem-sucedida dos meus estudos.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Gerson e Mariza, e a minha irmã, Victória, minha profunda gratidão. Vocês foram e são meu porto seguro e minha maior inspiração, apoiando-me e incentivando-me a cada passo rumo a este diploma de zootecnista. Serei eternamente grato por tudo o que construímos juntos, pelo apoio, conselhos e por me manter acreditando sempre, toda essa jornada foi por todos nós.

À República K-Bocanela, meu mais sincero obrigado. Por cinco anos, vocês foram minha casa, constituíram meu verdadeiro lar e refúgio durante toda a graduação. Cada morador que partilhou essa casa se tornou um irmão, e juntos construímos uma segunda família, essencial para que essa jornada fosse mais leve e inesquecível. Minha gratidão se estende, ainda, à Regiane, que, além de cuidar do nosso lar com tanto carinho, zelava por todos nós com imenso afeto e nos mantinha sempre no caminho certo.

Aos amigos que fizeram parte essencial da minha jornada acadêmica: Beatriz Colucci, Breno Balabenute, Camila Cheneri, Gabriel Aguilar, Letícia Melo, Matheus Faria, Matheus Ribeiro, Willi Meireles. A presença diária de vocês tornou este período mais leve. Agradeço por estarem sempre presentes e por me auxiliarem quando precisei de ajuda, fazendo desta fase uma experiência enriquecedora e inesquecível.

À toda a equipe do Laboratório de Ciências Avícolas da Unesp (Lavinesp), minha sincera gratidão. Um agradecimento especial à minha orientadora, Prof^ª. Dr.^a Nilva Kazue Sakomura, e ao meu coorientador, Pedro de Carvalho Gaio, cuja valiosa orientação e apoio contínuo foram fundamentais e tornaram este trabalho possível, além de me manter sempre na direção certa. Estendo meus agradecimentos a todos os membros do setor – funcionários, estagiários e membros da pós-graduação, que, com seus ensinamentos, dedicação e amizade, contribuíram imensamente para a minha trajetória e desenvolvimento profissional no laboratório. Em especial, agradeço a Audasley Fialho, Bruno Balbino e Raully Lucas, pelo auxílio essencial em todas as etapas, conselhos e ajuda em momentos necessários.

Minha profunda gratidão à Deus pela dádiva da vida e pela saúde que me sustenta a cada dia, impulsionando-me a lutar pelo meu futuro. Agradeço por ser a força e o guia que me capacitaram a transcender limites e superar os desafios encontrados ao longo da minha jornada acadêmica, sempre com a certeza de que, com fé, tudo se concretiza.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição das dietas experimentais com níveis baixos e altos de fósforo fítico e diferentes doses de fitase (FTU) para frangos de corte de 1 a 21 dias de idade.....	15
Tabela 2. Composição bromatológica das dietas experimentais. Matéria seca (MS), Matéria mineral (MM), Proteína bruta (PB), Energia bruta (EB), Cálcio total (Ca), Fósforo total (P) e Recuperação de fitase (FTU/kg)	17
Tabela 3. Efeito da inclusão de fitase em dietas com alto e baixo teor de fitato sobre o consumo de ração (CR), peso médio final (PM), ganho de peso (GP) e conversão alimentar (CA) de 1 a 21 dias de idade.....	18
Tabela 4. Efeito da inclusão de fitase em dietas com alto e baixo teor de fitato sobre o conteúdo mineral ósseo (CMO), massa magra (PT) e massa gorda (GR) aos 21 dias de idade.....	19

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVO.....	9
3. REVISÃO DE LITERATURA	9
3.1. Fósforo	9
3.2. Fitato	11
3.3. Fitase	13
4. MATERIAL E MÉTODOS	15
4.1. Local e Implicações Éticas.....	15
4.2 Animais e Alojamento.....	15
4.3 Delineamento Experimental.....	15
4.4 Dietas Experimentais	15
4.5 Análise bromatológicas.....	18
4.6 Coleta das respostas de desempenho.....	18
4.7 DXA	18
4.8 Análise Estatística	19
5. RESULTADOS	19
6. DISCUSSÃO.....	22
7. CONCLUSÃO.....	24
8. RESUMO.....	24

9. SUMMARY	25
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

1. INTRODUÇÃO

A avicultura constitui um dos setores agroindustriais de maior relevância, sendo responsável pela produção massiva de carne e ovos destinados ao consumo humano. Em sistemas comerciais, a ração representa a principal parcela dos custos de produção, o que torna a formulação de rações uma prática eficiente.

As dietas comerciais de frangos de corte e poedeiras são, geralmente, ingredientes de origem vegetal (principalmente milho e farelo de soja) e frequentemente utilizam subprodutos como farelo de arroz, farelo de trigo e outros coprodutos industriais para ajustar energia, proteína e custo (Attia, 2023).

Esses ingredientes fornecem a maior parte da energia e da proteína das rações, mas apresentam uma limitação nutricional importante, grande parte do fósforo (P) presente encontra-se na forma de fitato (ácido fítico), composto que é pouco disponível para não-ruminantes. Em consequência, a fração de fósforo biodisponível proveniente de matérias-primas vegetais é insuficiente para suprir as exigências dos frangos sem suplementação (Chen e Xu, 2023).

Além disso, o fitato (myo-inositol hexafosfato) liga-se a minerais reduzindo a solubilidade e a disponibilidade de minerais como cálcio, ferro e zinco, além de formar complexos com proteínas e carboidratos, interferindo na digestibilidade proteica e na energia. Tais interações tornam o P dos alimentos menos aproveitável pelos frangos e agravam o risco de deficiências, afetando desempenho, integridade óssea e eficiência de conversão alimentar (Sun *et al.*, 2021; Chen e Xu, 2023).

Para contornar essa baixa disponibilidade de fósforo, o uso de fontes de fósforo inorgânico nas rações ou a adição de fitases exógenas que hidrolisam o fitato liberando fósforo, minimizam os efeitos antinutricionais do composto (Nuamah *et al.*, 2024; Cozannet *et al.*, 2023). A adição de fitases vem reduzindo a necessidade de fosfato inorgânico, melhorando a digestibilidade do P e reduzindo as perdas ambientais de fósforo por excreção (Nuamah *et al.*, 2024; Cozannet *et al.*, 2023).

A eficácia da fitase exógena em rações para frangos de corte é modulada por diversos fatores, tais como o nível de fitato na dieta, a idade das aves, o pH gastrointestinal, a temperatura e a presença de minerais concorrentes como cálcio (Humer *et al.*, 2015; Oliveira, 2024). Além disso, a idade das aves é relevante, pois as fitases exógenas podem apresentar maior eficácia em frangos mais jovens, cujo tempo de trânsito digestivo e produção de enzimas endógenas difere dos adultos (Martínez-Vallespín *et al.*, 2022).

Apesar de muitos estudos demonstrarem a eficiência da fitase para liberar fósforo e melhorar desempenho (Martínez-Vallespín *et al.*, 2022), há uma lacuna importante na literatura, em que poucos estudos investigaram sistematicamente a atividade da fitase em diferentes níveis de substrato (fitato) para quantificar a resposta enzimática específica à variação de carga de fitato. Parte-se, da hipótese de que a fitase terá resposta mais acentuada em dietas com alto teor de fitato, visto que sua função é justamente catalisar a hidrólise das ligações ésteres do fitato.

2. OBJETIVO

Avaliação do impacto da suplementação de fitase em dietas de frangos de corte contendo diferentes níveis de fitato

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Fósforo

O fósforo (P) é um mineral não-metálico, essencial para o animal. Atua principalmente na formação e manutenção da estrutura óssea na forma de hidroxiapatita ($\text{Ca}_{10}[\text{PO}_4]_6[\text{OH}]_2$), além de estar presente na composição das membranas fosfolipídicas, na formação do ATP (adenosina trifosfato) conhecido como a “moeda energética da célula” e desempenhar papéis fundamentais em diversas funções celulares no organismo (Macari e Maiorka, 2017).

No contexto alimentar, os ingredientes utilizados nas rações das aves em sua maioria são de origem vegetal. No entanto, o P presente nesses alimentos apresenta uma baixa disponibilidade devido a sua forma estrutural, no qual o P se encontra na forma de fitato (IP6), molécula caracterizada pela ligação de um álcool inositol e seis grupos fosfato, formando uma ligação éster de difícil quebra pelo animal, que não apresenta uma produção de fitase endógena eficiente (Lee *et al.*, 2022).

Dentre as fontes de origem vegetal mais utilizadas nas rações das aves, temos o milho, soja, sorgo, amendoim, entre outros grãos e subprodutos. Porém, grande parte do P (60-80%) está na **forma orgânica**, podendo se unir com ácido fítico e prejudicando a disponibilidade para os animais. Quanto às fontes de origem animal, como farinha de

carne e ossos, penas, vísceras, peixe, entre outras, são caracterizadas pela maior digestibilidade do P em relação às fontes de origem vegetal (Varella *et al.*, 2025). Além das fontes orgânicas de P (vegetais e animais) é importante ressaltar as fontes inorgânicas, advindas de rochas, como o fosfato bicálcico, monocálcico, superfosfato triplo, superfosfato simples, entre outros. São extremamente digestíveis, sendo superiores as fontes orgânicas, porém, apresentam um custo mais elevado (Coudert *et al.*, 2025).

O uso de fosfatos inorgânicos pode aumentar o custo da alimentação e depende de fontes não renováveis (rochas), gerando preocupações ambientais. Além disso, níveis excessivos de P na ração podem resultar em aumento da excreção e desperdício na cama, contribuindo para problemas ambientais. Essas preocupações são cada vez mais importantes em termos de sustentabilidade da produção de alimentos (Varella *et al.*, 2025).

O metabolismo do P é estreitamente interligado ao do Ca e vitamina D, sendo controlado por um sistema hormonal de feedback positivo e negativo. A vitamina D3 (colecalciferol) é sintetizada na pele pela ação dos raios solares (UVB) ou fornecida via dieta, passando por dois processos de hidroxilação, a primeira no fígado pela enzima 25-hidroxilase, formando o calcidiol. Já a segunda hidroxilação e ativação da vitamina D, ocorre nos rins através da enzima 1 α -hidroxilase, formando o calcitriol, esse processo é regulado pelo paratormônio (PTH) e pelo fator de crescimento de fibroblastos 23 (FGF 23) (Sinclair-Black *et al.*, 2023; Martínez-Heredia *et al.*, 2024).

Os fatores primários que influenciam o metabolismo do P são o cálcio (Ca), a vitamina D, os sistemas hormonais e a idade do animal (Nunes *et al.*, 2006). Segundo Reece (2006), os vertebrados desenvolveram um sistema elaborado para manter a homeostasia do Ca, por ser um elemento essencial à vida. O sistema mantém constante a concentração extracelular, aumentando a entrada do Ca nos fluídos extracelulares quando há perda do mesmo no compartimento extracelular e, quando o Ca entra no compartimento extracelular mais rápido do que sai, ocorre a deposição de Ca no tecido mole.

O principal sintoma de deficiência de Ca e P é, além de um menor desempenho das aves, o aparecimento de ossos e bicos frágeis. Aves em postura mostram uma pior qualidade de casca (casca mais fina) com a deficiência de Ca ou excesso de P (Macari e Mendes, 2005). A qualidade da casca pode piorar por causa de problemas nutricionais, sendo possível provocar alterações em sua qualidade por meio da manipulação das fórmulas de ração.

A absorção de fósforo pode ocorrer por duas vias distintas: uma dependente e outra independente de sódio. O transporte dependente de sódio não sofre influência da concentração de cálcio na membrana do enterócito, indicando que os transportes de cálcio e fósforo ocorrem de forma independente. Por outro lado, o transporte independente de sódio parece estar relacionado à quantidade de cálcio disponível, ou seja, a proporção entre cálcio e fósforo (Ca:P) influencia a absorção do fósforo (Macari e Maiorka, 2017).

O FGF23 é uma proteína integrante da família dos fatores de crescimento de fibroblastos, cuja principal função é a regulação do metabolismo do fósforo (Sinclair-Black *et al.*, 2023). O FGF23 é predominantemente expresso nos ossos, especialmente em osteoblastos e osteócitos, embora também possa ser encontrado em diversos outros órgãos, como fígado, cérebro, coração, tireoide, intestino e músculo esquelético. O FGF23 atua como um potente inibidor da reabsorção renal de fosfato, promovendo sua excreção pelos rins e reduzindo a expressão dos transportadores de fosfato dependentes de sódio, NaPi-IIa e NaPi-IIc, localizados no túbulo proximal. Além disso, no rim, o FGF23 suprime a expressão do CYP27B1, enzima essencial para a síntese de calcitriol (Martínez-Heredia *et al.*, 2024).

Sua atuação ultrapassa a simples regulação da homeostase do fosfato, influenciando também o metabolismo ósseo, a função cardiovascular, a homeostase do ferro, a resposta imunológica e as alterações metabólicas relacionadas à obesidade. A complexa interação entre FGF23, vitamina D, PTH e metabolismo ósseo evidencia seu papel multifatorial na manutenção do equilíbrio mineral e da integridade do tecido ósseo (Sinclair-Black *et al.*, 2023).

Para enfrentar esses desafios, a inclusão de fitase exógena nas dietas avícolas tornou-se uma prática comum entre nutricionistas. A fitase aumenta a disponibilidade de P, reduzindo a necessidade de suplementação mineral com P e, conseqüentemente, diminuindo a excreção de P (Moura *et al.*, 2023).

3.2. Fitato

O fitato, principal forma de reserva de fósforo nas plantas, exerce não apenas funções nutricionais e antioxidantes, mas também apresenta efeito antinutricional. Em espécies não ruminantes, como frangos de corte, sua disponibilidade é limitada. No intestino delgado, o fitato pode se ligar fortemente a cátions como Ca^{2+} e Zn^{2+} , formando complexos estáveis e pouco solúveis, os quais reduzem a ação da fitase endógena típica do trato

gastrointestinal das aves (BARRILLI *et al.*, 2023). Consequentemente, há menor liberação de fósforo e prejuízo na digestão de proteínas. Assim, a suplementação com fosfato inorgânico tornou-se uma prática essencial para compensar a baixa biodisponibilidade do P e atender às exigências nutricionais da avicultura (Nuamah *et al.*, 2024).

Os fitatos ou ácido hexafosfórico mioinositol, formam quelatos com íons divalentes, tais como o Ca e magnésio, formando complexos solúveis resistentes à ação do trato intestinal, que diminuem a disponibilidade desses minerais e, embora esse seja seu maior efeito, os fitatos também interagem com resíduos básicos das proteínas, participando da inibição de enzimas digestivas como a pepsina, pancreatina e a α -amilase (Selle *et al.*, 2012).

Nas sementes de leguminosas o ácido fítico contém aproximadamente 70% do conteúdo de fosfato, sendo estruturalmente integrado com proteínas e/ou minerais na forma de complexos (Bloot *et al.*, 2021). Cerca de 75% do ácido fítico está associado com componentes da fibra solúvel presentes na semente. Durante a estocagem, fermentação, germinação, processamento e digestão dos grãos e sementes, o ácido fítico pode ser parcialmente desfosforilado. O grau de ação inibitória dos fosfatos de inositol na absorção mineral depende do grau de fosforilação. Deste modo, a quantificação dos referidos compostos é de importância nutricional (Bloot *et al.*, 2021).

Nos alimentos, sob condições naturais, o ácido fítico encontra-se carregado negativamente, o que lhe confere alto potencial para complexação com moléculas carregadas positivamente como cátions e proteínas (Nuamah *et al.*, 2024). As interações entre proteínas e fitato ocorrem predominantemente por meio de ligações eletrostáticas, estabelecidas entre os grupos fosfato altamente carregados negativamente do ácido fítico e resíduos de aminoácidos básicos presentes nas proteínas, como lisina, arginina e histidina. Essas interações são fortemente influenciadas pelo pH, sendo intensificadas em condições próximas ao ponto isoelétrico proteico, quando a carga líquida das proteínas é reduzida e sua afinidade por moléculas aniônicas aumenta (Humer *et al.*, 2015).

A formação dos complexos proteína–fitato pode resultar em estruturas insolúveis, capazes de reduzir a digestibilidade proteica, interferir na atividade de enzimas digestivas e alterar a funcionalidade tecnológica das proteínas em sistemas alimentares. Além disso, a presença simultânea de cátions bivalentes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+}) favorece a criação de complexos ternários proteína–mineral–fitato, que apresentam ainda menor solubilidade e maior estabilidade (Humer *et al.*, 2015).

A ligação proteína-fitato ocorre por combinações de interações eletrostáticas, ligações de hidrogênio e possivelmente interações hidrofóbicas quando a proteína sofre alterações conformacionais. Fitato também pode participar de complexos ternários proteína-cátion-fitato, ou seja, o Ca pode ligar fitato e ao mesmo tempo atuar como ponte entre fitato e resíduos ácidos/básicos em proteínas (Pei *et al.*, 2019).

Cátions trivalentes (Fe^{3+} , Al^{3+}) tendem a produzir complexos insolúveis e poli-associados; cátions divalentes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+}) formam sais que podem ser mais solúveis dependendo do pH e das condições de íons no meio. A estabilidade e solubilidade dependem de pH, força iônica e presença de quelantes (Chen e Xu; 2023).

A eficácia da fitase para liberar fósforo ligado a fitatos e melhorar a biodisponibilidade do fósforo na ração para aves é bem conhecida. A suplementação com fitase exógena comercial, uma prática comum na nutrição avícola, é estabelecida para reduzir a adição de fósforo inorgânico (P) e cálcio (Ca) na ração avícola, melhorar o desempenho do crescimento, a utilização de nutrientes, a mineralização óssea e aumentar a digestibilidade dos aminoácidos em diversos estágios fisiológicos, liberando P e outro mineral (por exemplo, Ca, Zn, Fe), bem como a redução da poluição ambiental por P (Nuamah *et al.*, 2024).

3.3. Fitase

A molécula de fitato e os nutrientes ligados a ela não podem ser absorvidos no trato digestivo sem degradação enzimática realizada pelas fitases (Gupta *et al.*, 2015). As fitases são as enzimas exógenas mais utilizadas em dietas comerciais para animais não ruminantes e caracterizam-se por reduzir os efeitos antinutricionais do fitato. Elas são capazes de disponibilizar o P que ocorre naturalmente na forma de fitato e, assim, reduzir a quantidade de P inorgânico suplementado na dieta e também melhorar a disponibilidade de outros minerais, de aminoácidos e energia. Além disso tudo, as fitases contribuem para reduzir o impacto negativo da excreção de P inorgânico no ambiente (Munir e Maqsood, 2013).

A degradação do fitato no trato digestivo das aves pode ser atribuída a uma ou mais fitases e elas são possíveis através de três fontes: fitases da secreção digestiva intestinal; atividade de fitase proveniente de bactérias residentes ou atividade da fitase endógeno presente em alguns ingredientes (Joudaki *et al.*, 2023). As fitases podem ser dividi-

das em três grupos: com base no mecanismo catalítico, tem-se as fitases dos ácidos histidina, de cisteína ou ácido roxo; com base no pH, dividem-se em fitases ácidas e alcalinas; e também com base no carbono no anel de mio-inositol de fitato em que a desfosforilação é iniciada, em 3-fitases, 6-fitases e 5-fitases (Rizwanuddin *et al.*, 2023).

As fitases hidrolisam o fitato em uma molécula de inositol e seis moléculas inorgânicas de fosfato. Assim, se o fitato é hidrolisado, em seguida os seus efeitos antinutricionais são reduzidos, podendo ser utilizado pelas aves (Joudaki *et al.*, 2023) A atividade de fitase é expressa em FTU, que corresponde à quantidade de fitase que libera 1 mol de fosfato inorgânico por minuto a partir de 0,0051 mol L⁻¹ fitato de sódio em pH de 5,5 e a uma temperatura de 37 graus Celsius (Rizwanuddin *et al.*, 2023). Contudo, a especificação padrão de mensuração estabelecida para a atividade de fitase é diferente das condições reais in vivo dos animais e, além disso, muitas características associadas à composição da dieta e características dos animais podem influenciar a atividade da enzima in vivo (Dersjant-Li *et al.*, 2015)

A atuação da fitase está relacionada às características ligadas aos animais (espécie, idade, condições fisiológicas), aos fatores dietéticos (concentração e fonte de fitato, e minerais), à origem e ao nível da fitase adicionada à dieta (Dersjant-Li *et al.*, 2015). O nível dietético de fósforo (P) também pode influenciar na resposta da fitase. Por isso, níveis muito altos ou baixos devem ser evitados; altos níveis de Ca ou alta relação Ca:P pode reduzir a resposta da fitase; e a vitamina D exerce influência indireta na atividade da fitase através do aumento da absorção de Ca, limitando a formação de fitatos de Ca insolúveis, resistentes à hidrólise da enzima (Kornegay, 2001).

A fitase tem sido utilizada para reduzir o custo da dieta através da possibilidade de redução de fontes de fosfato inorgânico, energia, calcário e aminoácidos sintéticos. Esses efeitos estão ligados a uma matriz de liberação de nutrientes para uma determinada dose da enzima e o valor criado dependerá dos preços dos vários nutrientes deslocados (Cowieson *et al.*, 2015). Antigamente, utilizava-se uma dose fixa de 500 FTU kg⁻¹ em ração de frangos de corte, por exemplo, mas com os avanços das pesquisas, e devido a fatores econômicos, é grande o interesse do uso de doses mais elevadas.

Altas doses de fitase podem ser benéficas, mas é necessário adequar os níveis de nutrientes e os demais fatores dietéticos para que as vantagens sejam perceptíveis (Selle e Ravindran, 2007). Também é preciso considerar que a atuação da fitase está relacionada às características ligadas ao animal (espécie, idade, condições fisiológicas), aos fatores

dietéticos (concentração e fonte de fitato, concentração de minerais) e à origem e nível da enzima adicionada à dieta (Dersjant-Li *et al.*, 2015).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Local e Implicações Éticas

O ensaio foi realizado no Laboratório de Ciências Avícolas – LAVINESP, situado na Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal – FCAV. Todos os procedimentos experimentais foram aprovados pela Comissão Institucional de Cuidados e Uso de Animais da Universidade Estadual Paulista (CEUA), sob o protocolo nº 4897/2024.

4.2. Animais e Alojamento

Foram utilizados 2.400 pintos machos Ross 308 AP, com um dia de idade. Ao chegarem, as aves foram alojadas em galpão climatizado-com ambiente controlado e alocadas em unidades experimentais (bacias com serragem com dimensões de 1,5 x 3,0 m). As condições ambientais, incluindo temperatura e umidade, foram ajustadas automaticamente de acordo com as manual de linhagem (Aviagen, 2018). Água fresca e ração foram disponibilizadas *ad libitum*, por meio de bebedouros tipo nipple e alimentadores tubulares, respectivamente. O programa de iluminação foi inicialmente definido para luz contínua (24h) durante a primeira semana e, posteriormente, ajustado para fornecer 18L:6D durante todos os períodos experimentais.

4.3. Delineamento Experimental

As aves foram distribuídas em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), contendo oito tratamentos e dez repetições com 30 aves cada. Os tratamentos foram distribuídos aleatoriamente em 80 unidades experimentais, seguindo um arranjo fatorial de dois níveis de fitato (Baixo e Alto) e quatro níveis de suplementação de fitase (0, 1000, 1500 e 2000 FTU/kg de ração).

4.4. Dietas Experimentais

As dietas experimentais foram formuladas para atender às exigências nutricionais de frangos em crescimento, conforme recomendado pelo manual da linhagem (Aviagem, 2022), com exceção das exigências de Cálcio (Ca), fósforo disponível (AvP), energia

(carboidratos e lipídeos) e proteínas. Duas dietas basais foram formuladas, uma para cada fonte de fósforo. Essas rações continham redução de Ca e P (0,36 e 0,22, respectivamente), de acordo com as recomendações do fornecedor de fitase. A fitase foi incorporada à ração basal nos níveis de 0,01, 0,015 e 0,02 g/kg de ração, resultando em concentrações de 1.000, 1.500 e 2.000 FTU/kg, respectivamente. A ração foi fornecida na forma farelada e o programa de alimentação foi mantido em uma única fase (1 a 21 dias) (Tabela 1).

Tabela 1 – Composição das dietas experimentais com níveis baixos e altos de fósforo fítico e diferentes doses de fitase (FTU) para frangos de corte de 1 a 21 dias de idade.

Ingredientes	Baixo P fítico				Alto P fítico			
	0 FTU	1000 FTU	1500 FTU	2000 FTU	0 FTU	1000 FTU	1500 FTU	2000 FTU
Milho	66,60	66,60	66,60	66,60	59,43	59,43	59,43	59,43
Farelo de soja (45%)	21,16	21,16	21,16	21,16	31,30	31,30	31,30	31,30
Farinha de visceras	5,00	5,00	5,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Farinha de pena	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Farelo de arroz	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Farinha carne e ossos	0,15	0,15	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00
Óleo	0,00	0,00	0,00	0,00	1,28	1,28	1,28	1,28
Fosf.bicálcico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	0,58	0,58	0,58
Calcário	0,49	0,49	0,49	0,49	0,63	0,63	0,63	0,63
Sal	0,44	0,44	0,44	0,44	0,49	0,49	0,49	0,49
PX.Minerais	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
PX.Vitaminas	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
DL-Methionine 99	0,37	0,37	0,37	0,37	0,38	0,38	0,38	0,38
L-Lisina HCL	0,34	0,34	0,34	0,34	0,24	0,24	0,24	0,24
L-Treonina 98	0,14	0,14	0,14	0,14	0,12	0,12	0,12	0,12
L-Valina 99	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
L-Arginina	0,14	0,14	0,14	0,14	0,07	0,07	0,07	0,07
L-Isoleucina	0,07	0,07	0,07	0,07	0,04	0,04	0,04	0,04
Clor. de colina 60%	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Salinomicina	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Natuphos	0,000	0,010	0,015	0,020	0,000	0,010	0,015	0,020
Inerte	2,680	2,670	2,665	2,660	0,020	0,010	0,005	0,000
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
EM, kcal/kg	2990	2990	2990	2990	2990	2990	2990	2990
PB, %	20,33	20,33	20,33	20,33	20,33	20,33	20,33	20,33
Lisina	1,196	1,196	1,196	1,196	1,196	1,196	1,196	1,196
Met+cis	0,913	0,913	0,913	0,913	0,913	0,913	0,913	0,913
Treonina	0,799	0,799	0,799	0,799	0,799	0,799	0,799	0,799
Valina	0,908	0,908	0,908	0,908	0,908	0,908	0,908	0,908
Triptofano	0,191	0,191	0,191	0,191	0,220	0,220	0,220	0,220
Arginina	1,292	1,292	1,292	1,292	1,292	1,292	1,292	1,292
Isoleucina	0,787	0,787	0,787	0,787	0,789	0,789	0,789	0,789
Leucina	1,537	1,537	1,537	1,537	1,552	1,552	1,552	1,552
Histidina	0,429	0,429	0,429	0,429	0,481	0,481	0,481	0,481
Fen+Tir	1,423	1,423	1,423	1,423	1,522	1,522	1,522	1,522
Gli+ser	1,740	1,740	1,740	1,740	1,601	1,601	1,601	1,601
Cálcio	0,488	0,488	0,488	0,488	0,488	0,488	0,488	0,488
Fósforo disp.	0,238	0,238	0,238	0,238	0,238	0,238	0,238	0,238
Fósforo total	0,434	0,434	0,434	0,434	0,526	0,526	0,526	0,526
Fósforo fítico	0,196	0,196	0,196	0,196	0,288	0,288	0,288	0,288

Vitamin and mineral supplementation per kg of premix: vitamin A 11,000,000 IU, vitamin D3 4,000,000 IU, vitamin E 55,000 IU, vitamin K3 3,000mg, vitamin B1 2,300 mg, vitamin B2 7,000mg, pantothenic acid 12g, vitamin B6 4,000mg, vitamin B12 25,000mcg, niacin 60g, folic acid 2,000mg, biotin 250mg, selenium 300mg, iron 100g, copper 20g, manganese 130g, zinc 130g, iodine 2,000mg.

4.5 Análise bromatológicas

Antes da fabricação das rações foi feita uma amostragem de todos os ingredientes para análises bromatológicas como proteína Bruta pelo método Kjeldahl, matéria seca pelo método de secagem definitiva em estufa a 105°C, energia bruta por queima em bomba calorimétrica IKA e matéria mineral pelo método de queima em mufla a 600°C conforme Detmann *et al.* (2021), cálcio e fósforo total por espectrofotometria (AOAC Método 965.17) para reajuste nas formulações a partir dos valores observados (Detmann *et al.*, 2021). Logo no processo de fabricação das rações, amostras de cada tratamento foram coletadas para a realização das mesmas análises bromatológicas realizadas com os ingredientes, incluindo a recuperação da fitase em laboratório externo (CBO, Valinhos, Brasil) pelo método AOAC 2000.12.

4.6 Coleta das respostas de desempenho

Aos 21 dias de idade, o peso corporal (PC) e o consumo de ração (CR) foram registrados para calcular o ganho de peso corporal (GP) diário e a taxa de conversão alimentar (CA). Além disso, a mortalidade foi registrada diariamente para corrigir o CR e a CA pelo método de Sakomura *et al.*, (2016).

4.7 DXA

Aos 21 dias de idade, foi pesada uma ave de cada parcela e digitalizadas para obtenção do conteúdo mineral ósseo, tecido magro e adiposo por DXA. Antes da leitura do DXA, as aves foram mantidas em jejum por 6 horas e, em seguida, anestesiadas com isoflurano (2 %) em oxigênio 100%, posicionadas em decúbito dorsal horizontal com asas e pernas abertas e escaneadas no sentido craniocaudal, analisando toda a área da ave em modo de alta resolução. Em cada leitura, o software do dispositivo foi calibrado com as informações de cada animal a ser escaneado (peso corporal e comprimento da ave). As

leituras forneceram medidas de massa de gordura (g), massa magra (água + proteína, g), conteúdo mineral ósseo (g) e densidade mineral óssea (g/cm²) (GONÇALVES et al., 2019).

4.8 Análise Estatística

Os dados coletados foram verificados quanto à normalidade dos erros e homoscedasticidade pelos procedimentos UNIVARIATE e TRANSREG, respectivamente e por meio do método z-score foi feita a remoção de possíveis outliers estabelecendo +2 e -2 como limites, utilizando o SAS (SAS On demand). Todas as variáveis de resposta foram analisadas como um fatorial 2x4 (níveis de fitato x níveis de inclusão de fitase), utilizando os modelos lineares generalizados no procedimento GLM do SAS. A estatística adotada foi a análise de variância (ANOVA) de duas vias para a verificação de efeito significativo ($p < 0,05$) para os fatores fitato e fitase e a probabilidade de interação entre estes. Logo em seguida, foi verificado por meio dos contrastes polinomiais, a significância linear ou quadrática para os quatro níveis de fitase e dentro de cada grupo de fitato (alto e baixo).

5. RESULTADOS

A atividade de fitase medida em cada ração foi de <0,10, 1,390, 1,660 e 2,810 FTU/kg no grupo baixo fitato e <0,10, 1,280, 1,780 e 2,710 FTU/kg de ração no grupo alto fitato conforme apresentado na tabela 2. Esses resultados mostram que inclusão de fitase exógena atingiu níveis próximos aos calculados para este estudo, com exceção dos níveis maiores que deveriam estar mais próximos ao formulado, 2.000 FTU/kg, no entanto em ambos os grupos, os valores foram semelhantes, mantendo o objetivo principal do estudo em comparar os níveis de fitase nos diferentes níveis de substrato.

Tabela 2 - Composição bromatológica das dietas experimentais. matéria seca (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), energia bruta (EB), cálcio total (Ca), fósforo total (P) e recuperação de fitase (FTU/kg).

Rações	Composição bromatológica (%)						
	MS	MM	PB	EB	Ca	P	FTU/kg
Baixo PP + 0FTU	88,01	6,91	22,81	3900	0,59	0,50	<0,10
Baixo PP + 1000FTU	89,81	6,94	22,30	3901	0,64	0,50	1390
Baixo PP + 1500FTU	87,87	6,99	22,21	3899	0,64	0,50	1660

Baixo PP + 2000FTU	87,85	6,51	21,61	3926	0,59	0,56	2810
Alto PP + 0FTU	87,35	4,69	21,96	4063	0,58	0,70	<0,10
Alto PP + 1000FTU	87,49	4,80	22,81	4020	0,56	0,69	1280
Alto PP + 1500FTU	87,51	4,51	22,35	4016	0,54	0,69	1780
Alto PP + 2000FTU	87,80	4,35	21,51	4034	0,51	0,72	2710

Desempenho

Sobre as variáveis de desempenho (Tabela 3), não foi observado efeito de interação significativo ($p>0,05$). No entanto, os fatores fitato (PP) e fitase de forma independente, apresentaram significância em todos os parâmetros. Através dos contrastes polinomiais, foi possível detectar efeito linear sobre o consumo de ração (CR) quando avaliado o efeito dos níveis de fitase (FTU) e efeito quadrático ($p<0,05$) sobre as demais variáveis, peso médio final (PF), ganho de peso (GP) e conversão alimentar (CA). Já dentro de cada grupo de PP, houve significância linear sobre o CR em ambos os grupos, variando somente no PF, GP e CA, com efeito quadrático no grupo baixo PP e linear no grupo alto PP.

Tabela 3 - Efeito da inclusão de fitase em dietas com alto e baixo teor de fitato sobre o consumo de ração (CR), peso médio final (PM), ganho de peso (GP) e conversão alimentar (CA) de 1 a 21 dias de idade.

Fitato (PP)	Fitase (FTU)	Parâmetros			
		CR (g)	PM (g)	GP (g)	CA (g/g)
Baixo	0	889	551	509	1,66
	1000	887	623	582	1,53
	1500	903	625	584	1,54
	2000	940	646	605	1,59
Alto	0	919	652	610	1,50
	1000	921	695	653	1,41
	1500	984	727	686	1,44
	2000	968	738	696	1,40
EPM		0,06	0,06	0,06	0,09
Principais efeitos					
PP		0,0013	<0,0001	<0,0001	<0,0001
FTU		0,0055	<0,0001	<0,0001	<0,0001
PP*FTU		0,3618	0,4140	0,3912	0,0756
Contrastes polinomiais					
Nível de fitase					

FTU	L	0,0010	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	Q	0,6758	0,0052	0,0048	<0,0001
Nível de fitase dentro de cada grupo de fitato					
Baixo	L	0,0405	<0,0001	<0,0001	0,0138
	Q	0,3022	0,0157	0,0130	<0,0001
Alto	L	0,0066	<0,0001	<0,0001	0,0001
	Q	0,6081	0,1145	0,1202	0,1557

EPM: erro padrão da média. L: Linear. Q: Quadrático.

DXA

Assim como nos resultados de desempenho, nas variáveis de DXA (Tabela 4) não foram detectados efeitos de interação. Nos dados de DXA, houve significância apenas no conteúdo mineral ósseo (CMO) sobre os fatores PP e fitase, com linearidade para os níveis de fitase. Contudo, apenas no grupo alto PP, foi observado significância, cujo comportamento dos dados foi linear.

Tabela 4 - Efeito da inclusão de fitase em dietas com alto e baixo teor de fitato sobre o conteúdo mineral ósseo (CMO), massa magra (MM) e massa gorda (MG) aos 21 dias de idade.

Fitato	Fitase (FTU)	Parâmetros		
		CMO (%)	MM (%)	MG (%)
Baixo	0	1,21	79,9	18,7
	1000	1,37	80,2	18,4
	1500	1,26	81,3	17,4
	2000	1,33	81,3	17,3
Alto	0	1,08	81,9	16,9
	1000	1,36	83,2	15,3
	1500	1,18	80,1	18,6
	2000	1,29	81,8	16,9
EPM		0,167	2,877	2,859
Principais Efeitos				
Fitato		0,0336	0,098	0,107
FTU		0,0002	0,6768	0,5024
Fitato*FTU		0,6138	0,1195	0,1039
Contrastes Polinomial				
Doses de fitase				
FTU	L	0,0280	0,7499	0,7577

	Q	0,0648	0,9677	0,9899
Doses de fitase dentro de cada nível de fitato				
Baixo	L	0,2611	0,1894	0,2036
	Q	0,4005	0,8927	0,9046
Alto	L	0,0433	0,3892	0,4040
	Q	0,0722	0,8510	0,9212

EPM: erro padrão da média. L: Linear. Q: Quadrático.

6. DISCUSSÃO

De acordo com a Tabela 3, tanto a fitase quanto os níveis de fósforo fítico (PP) influenciaram o desempenho dos frangos. Observou-se que o consumo de ração (CR) aumentou de forma linear em todos os níveis de substrato. Já para peso final (PF), ganho de peso (GP) e conversão alimentar (CA), o grupo com baixo PP (0,45% do P total) mostrou uma resposta em forma de curva (quadrática), enquanto o grupo com alto PP (0,55% do P total) apresentou resposta linear. Estudos anteriores, como os de Dersjant-Li *et al.* (2022) e Martínez-Vallespín *et al.* (2025), mostram que a inclusão de fitase geralmente melhora o desempenho de forma linear, mesmo em dosagens muito altas, como observado por Manobhavan *et al.* (2016). No entanto, essa resposta pode mudar conforme o nível e a origem do substrato. Zhang *et al.* (2023) também relatam melhora no desempenho e na digestibilidade com o uso de fitase em dietas com diferentes teores de PP, sendo o efeito mais forte nas dietas com maior quantidade de substrato.

Ao estimar a equivalência de fósforo digestível, Zhang *et al.* (2023) observaram que o grupo com baixo PP atingiu a estabilização da resposta com 2.000 FTU/kg (1,89 g/kg de P disponível), enquanto o grupo com alto PP precisou de 4.000 FTU/kg para estabilizar a curva (2,68 g/kg). Isso ocorre porque dietas com mais substrato exigem mais fitase para liberar totalmente o fósforo fítico. Esse comportamento é semelhante ao observado no presente estudo, em que o grupo de baixo PP mostrou resposta quadrática, provavelmente devido à menor quantidade de substrato disponível para a enzima, atingindo o ponto máximo com dosagens menores. Já o grupo de alto PP apresentou resposta linear, indicando que doses ainda maiores poderiam continuar melhorando o desempenho. Esses efeitos positivos da fitase também costumam se refletir na qualidade óssea.

Cozannet *et al.* (2023), por exemplo, observaram melhora no desempenho e na mineralização óssea com 1.000 e 2.000 FTU/kg, e Shi *et al.* (2024) relataram que fitases bacterianas em dosagens mais altas chegaram a superar até o controle positivo, tanto no desempenho quanto na mineralização óssea. Outro ponto importante é a diferença na composição das dietas. O grupo com alto PP recebeu ração com inclusão de óleo de soja (Tabela 1), ingrediente conhecido por aumentar a palatabilidade e a digestibilidade, o que pode ter elevado o consumo de ração (Shahryari *et al.*, 2021). Além disso, o óleo deixa a ração menos farelada e com maior densidade energética, permitindo que as aves consumam mais energia com menor volume de alimento (Abd El-Hack *et al.*, 2025; Ahmed *et al.*, 2024). Isso ajuda a explicar as diferenças de desempenho entre os grupos.

Na análise do conteúdo mineral ósseo (CMO) (Tabela 4), observou-se efeito significativo tanto da fitase quanto dos níveis de PP, reforçando sua importância na mineralização dos ossos. Catalan *et al.* (2023) estudaram um modelo semelhante, mas encontraram pior desempenho e pior qualidade óssea no grupo de alto PP, possivelmente porque a fitase usada não foi eficiente para liberar o fósforo fítico existente na dieta. No presente estudo, a situação foi diferente. As dietas tinham cerca de 0,20% e 0,29% de PP nos grupos baixo e alto PP, respectivamente, e com grande parte do fósforo presente na forma fítica, especialmente no grupo de baixo PP. Assim, o grupo alto PP teve maior resposta à fitase, porque oferecia mais substrato para a ação enzimática, comportamento semelhante ao relatado por Zhang *et al.* (2023).

A fitase, ao quebrar o ácido fítico, libera fósforo e melhora a absorção de outros nutrientes como cálcio e proteínas (Nuamah *et al.*, 2024). Com mais substrato disponível, o grupo alto PP mostrou maior mineralização óssea, indicando formação de ossos mais resistentes. Resultados semelhantes foram encontrados por Leyva-Jiménez *et al.* (2019), que observaram melhor qualidade óssea com doses elevadas de fitase, especialmente acima de 1.500 FTU/kg. Isso reforça a tendência observada no presente estudo, indicando que doses acima de 2.000 FTU/kg podem continuar trazendo benefícios para a mineralização óssea e para o desempenho dos frangos.

7. CONCLUSÃO

Em conclusão, a interação entre o nível de fitato e fitase não foi evidente no presente estudo. No entanto, a fitase apresentou uma melhor resposta sobre os frangos alimentados com dietas contendo um maior teor de fitato. Tal fato se mostrou correlacionado a maior disponibilidade de substrato para a ação enzimática, minimizando os impactos da deficiência mineral nesses animais em comparação ao grupo baixo fitato.

8. RESUMO

A adição de fitase na dieta de frangos de corte é uma prática comum nos sistemas de produção, sua aplicação auxilia na quebra do fitato melhorando o aproveitamento do fósforo presente nos ingredientes vegetais pelo animal. Contudo, com a alta variação do teor de fitato entre os ingredientes e a relação enzima-substrato ser um possível fator impactante sobre a resposta, objetivou-se com este estudo avaliar o efeito dos diferentes níveis de fitase em diferentes níveis de substrato em dietas de frangos de corte da linhagem Ross 308 de 1 a 21 dias de idade. Foram utilizados 2.400 frangos de corte em delineamento inteiramente casualizado com um arranjo fatorial 2x4, com 2 níveis de fitato (baixo e alto fitato) e 4 níveis de inclusão de fitase (0, 1.000, 1.500 e 2.000FTU/kg), totalizando 8 tratamentos com 10 repetições e 30 aves cada. As dietas foram formuladas para atender os requerimentos nutricionais exceto pelo fósforo e cálcio, que foram reduzidos de acordo com a matriz da enzima em sua inclusão máxima (2.000 FTU). Os dados obtidos foram submetidos a uma análise de variância e através de contrastes polinomiais foi verificado comportamento quadrático ou linear, utilizando o software estatístico SAS On demand. Não houve efeito de interação em nenhuma das variáveis avaliadas. Em todas as variáveis de desempenho zootécnico e no conteúdo mineral ósseo (CMO) foi observado significância ($p < 0,05$) para os fatores fitato e fitase, variando o comportamento em função do nível de fitato. Em conclusão, a fitase apresentou uma melhor resposta sobre os frangos alimentados com dietas contendo um maior teor de fitato. Tal fato se mostrou correlacionado a maior disponibilidade de substrato para a ação enzimática, minimizando os impactos da deficiência mineral nesses animais em comparação ao grupo baixo fitato.

Palavras-chave: Fósforo. Nutrição Animal. Enzima Exógena. Avicultura.

9. SUMMARY

The addition of phytase to broiler chicken feed is a common practice in production systems, as its application helps break down phytate, improving the utilization of phosphorus present in plant ingredients by the animal. However, given the high variation in phytate content among ingredients and the enzyme-substrate ratio being a possible impacting factor on the response, this study aimed to evaluate the effect of different phytase levels in different substrate levels in diets of Ross 308 broiler chickens at 21 days of age. 2,400 broiler chickens were used in a completely randomized design with a 2x4 factorial arrangement, with 2 phytate levels (low and high phytate) and 4 phytase inclusion levels (0, 1,000, 1,500 and 2,000 FTU/kg), totaling 8 treatments with 10 replicates and 30 birds each. The diets were formulated to meet nutritional requirements except for phosphorus and calcium, which were reduced according to the enzyme matrix at its maximum inclusion (2,000 FTU). The data obtained were subjected to an analysis of variance, and through polynomial contrasts, quadratic or linear behavior was verified using the SAS On Demand statistical software. There was no interaction effect in any of the variables evaluated. In all zootechnical performance variables and in bone mineral content (BMC), significance ($p < 0.05$) was observed for the phytate and phytase factors, with the behavior varying according to the phytate level. In conclusion, phytase showed a better response in chickens fed diets containing a higher phytate content. This fact was correlated with greater substrate availability for enzymatic action, minimizing the impacts of mineral deficiency in these animals compared to the low phytate group.

Keywords: Phosphorus. Animal Nutrition. Exogenous Enzyme. Poultry Farming.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD EL-HACK, M. E. *et al.* Effects of including different levels of equal mix of soybean and flaxseed oils in Japanese quail diets on the growth, carcass quality, and blood biomarkers. **Poultry Science**, v. 103, n. 12, p. 104446, 28 out. 2024.

AHMED, E. M. *et al.* The impacts of dietary inclusion of soybean oil and linseed oil on growth performance, carcass yield, and health status of growing Japanese quail. **Poultry Science**, v. 103, n. 7, p. 103746–103746, 6 abr. 2024.

AOAC. **Official methods of analysis of the AOAC**. 15. ed. Arlington: Association of Official Analytical Chemists, 1990. Métodos 965.17 e 2000.12.

ATTIA, Y. A. *et al.* Rice Bran as an Alternative Feedstuff in Broiler Nutrition and Impact of Liposorb® and Vitamin E-Se on Sustainability of Performance, Carcass Traits, Blood Biochemistry, and Antioxidant Indices. **Veterinary Sciences**, v. 10, n. 4, p. 299, 1 abr. 2023.

AVIAGEN. **Broiler Pocket Guide – Ross 308 AP**. Huntsville: Aviagen, 2018. 148 p.

AVIAGEN. **Frango de carne Ross: especificações nutricionais 2022**. 2022. Disponível em: https://aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Portuguese/Ross_BroilerNutritionSpecifications2022_PT.pdf.

BARRILLI, L. N. E. *et al.* Phytase in diets with different phytate concentrations for broilers. **Ciência Rural**, v. 53, n. 4, 2023.

BENEVIDES, C. M. de J.; SOUZA, M. V.; SOUZA, R. D. B.; LOPES, M. V. Fatores antinutricionais em alimentos: revisão. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 18, n. 2, p. 67–79, 2011.

BLOOT, A. P. M.; KALSCHNE, D. L.; AMARAL, J. A. S.; BARALDI, I. J.; CANAN, C. Uma revisão das fontes de ácido fítico, obtenção e aplicações. **Food Reviews International**, v. 39, n. 1, p. 73–92, 2023.

BROCH, J.; SANGALLI, G. G.; SAVARIS, V. D. L.; NUNES, R. V. Fitase e seus efeitos extra-fosfóricos em dietas para frangos de corte: revisão. **Agropecuária Catarinense**, v. 33, n. 1, p. 68–72, 2020.

BÜNZEN, S. *et al.* 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.

BÜNZEN, S. *et al.* Digestibilidade do fósforo de alimentos de origem vegetal determinada em suínos em crescimento e terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 1236–1242, 2008.

CATALAN, A. A. S. *et al.* Phytate-phosphorus and phytase on performance, bone characteristics, tissue and serum mineral concentration on broilers. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 95, n. 4, 1 jan. 2023.

COUDERT, E. *et al.* The Role of Phosphorus Sources and Phytase in Growth Performance and Feed Digestibility in Broilers. **Animals**, v. 15, n. 14, p. 2111–2111, 17 jul. 2025.

CHEN, W.; XU, D. Phytic acid and its interactions in food components, health benefits, and applications: a comprehensive review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 141, p. 104201, 2023.

COWIESON, A. J. *et al.* Possible involvement of myo-inositol in the physiological response of broilers to high doses of microbial phytase. **Animal Production Science**, v. 55, n. 6, p. 710–710, 20 maio 2014.

COZANNET, P. *et al.* Evaluation of phytase dose effect on performance, bone mineralization, and prececal phosphorus digestibility in broilers fed diets with varying metabolizable energy, digestible amino acids, and available phosphorus concentration. **Poultry Science**, v. 102, n. 7, p. 102755, 2 maio 2023.

DETMANN, E. *et al.* **Métodos para análise de alimentos**. 2. ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2021. 214 p.

DERSJANT-LI, Y.; AWATI, A.; SCHULZE, H.; PARTRIDGE, G. Phytase in non-ruminant animal nutrition: a critical review on phytase activities in the gastrointestinal tract and influencing factors. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 5, p. 878–896, 2015.

DERSJANT-LI, Y. *et al.* Effects of a novel consensus bacterial 6-phytase variant on the apparent ileal digestibility of amino acids, total tract phosphorus retention, and tibia ash in young broilers. **Journal of Animal Science**, v. 100, n. 2, 1 fev. 2022.

GONÇALVES, C. A. *et al.* Dual energy X-ray absorptiometry is a valid tool for assessing in vivo body composition of broilers. **Animal Production Science**, v. 59, n. 5, p. 993, 2019.

GUPTA, R. K.; GANGOLIYA, S. S.; SINGH, N. K. Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 2, p. 676–684, 2015.

HOUSSNI, I. E.; ZAHIDI, A.; KHEDID, K.; HASSIKOU, R. Review of processes for improving the bioaccessibility of minerals by reducing the harmful effect of phytic acid in wheat. **Food Chemistry Advances**, v. 4, p. 100568, 2024.

HUMER, E.; SCHWARZ, C.; SCHEDULE, K. Phytate in pig and poultry nutrition. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 99, n. 4, p. 605–625, 2015.

JOUDAKI, H. *et al.* Microbial phytases: properties and applications in the food industry. **Current Microbiology**, v. 80, n. 12, p. 374, 2023.

KORNEGAY, E. T. Digestion of phosphorus and other nutrients: the role of phytases and factors influencing their activity. In: **Enzymes in Farm Animal Nutrition**, p. 237–271, 2001.

LEE, S. A.; LOPEZ, D. A.; STEIN, H. H. Composição mineral e digestibilidade do fósforo em fosfatos alimentares fornecidos a suínos e aves. **Biociência Animal**, v. 36, n. 2, p. 167, 2022.

LEYVA-JIMENEZ, H. *et al.* Evaluation of high dietary phytase supplementation on performance, bone mineralization, and apparent ileal digestible energy of growing broilers. **Poultry Science**, v. 98, n. 2, p. 811–819, fev. 2019.

MACARI, M.; MAIORKA, A. **Fisiologia das aves comerciais**. Jaboticabal: FUNEP, 2017.

MACARI, M.; MENDES, A. A. **Manejo de Matrizes de Corte**. Campinas: FACTA, 2005. 421 p.

MANOBHAVAN, M. *et al.* Effect of super dosing of phytase on growth performance, ileal digestibility and bone characteristics in broilers fed corn-soya-based diets. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 100, n. 1, p. 93–100, 28 abr. 2015.

MARTÍNEZ-HEREDIA, L. *et al.* Efeitos não clássicos do FGF23: características moleculares e clínicas. **Revista Internacional de Ciências Moleculares**, v. 25, n. 9, p. 4875, 2024. DOI: 10.3390/ijms25094875.

Martínez-Vallespín, B., Männer, K., Ader, P., & Zentek, J. (2022). Avaliação de altas doses de fitase em uma dieta baixa em fósforo em comparação com uma dieta sem fitatos no desempenho, aparente digestibilidade ileal dos nutrientes, mineralização óssea,

morfologia intestinal e características imunes em frangos de corte de 21 dias. **Animals**, 12(15), 1955.

MARTÍNEZ-VALLESPÍN, B; ADER, P.; J ZENTEK. Effect of increasing levels of phytase on performance, prececal nutrient digestibility, intestinal mucosa physiology and immune response in broiler chickens from 1 to 21 days of age. **Poultry Science**, v. 104, n. 9, p. 105473–105473, 24 jun. 2025.

MOURA, T. F. *et al.* Uma variante bacteriana consensual nova da 6-fitase melhora as respostas das galinhas poedeiras alimentadas com dieta sem fósforo inorgânico. **Ciência Avícola**, v. 102, n. 10, p. 102949, 2023.

MOREIRA, J. A. *et al.* Fisiologia digestiva de suínos alimentados com rações contendo diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 676–684, 2009.

MUNIR, K.; MAQSOOD, S. A review on role of exogenous enzyme supplementation in poultry production. **Journal of Food and Agriculture**, v. 25, n. 1, p. 66–80, 2013.

MUNIZ, E. B.; ARRUDA, A. M. V.; FASSANI, E. J. TEIXEIRA, A. S.; PEREIRA, E. S. Avaliação de Fontes de Cálcio para Frangos de Corte. **Revista Caatinga**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido (Ufersa). Mossoró. v.20, n.1, p.05-14, 2007.

NUAMAH, E. *et al.* Unlocking Phytate with Phytase: A Meta-Analytic View of Meat-Type Chicken Muscle Growth and Bone Mineralization Potential. **Animals**, v. 14, n. 14, p. 2090–2090, 17 jul. 2024.

NUNES, R. V. *et al.* Efeito dos teores de cálcio para poedeiras semipesadas durante a fase de pré-postura e no início da postura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 2007–2012, 2006.

PEI, Y.; WAN, J.; YOU, M.; McCLEMENTS, D. J.; LI, Y.; LI, B. Impact of whey protein complexation with phytic acid on its emulsification and stabilization properties. **Food Hydrocolloids**, v. 87, p. 90–96, 2019.

REECE, W. O. *Dukes: Fisiologia dos animais domésticos*. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006. 926 p.

RIZWANUDDIN, S. *et al.* Insight into phytase-producing microorganisms for phytate solubilization and soil sustainability. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, p. 1127249, 2023.

SELLE, P. H. *et al.* Effects of Dietary Lysine and Microbial Phytase on Growth Performance and Nutrient Utilisation of Broiler Chickens. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 20, n. 7, p. 1100–1107, 27 jun. 2007.

SELLE, P. H. *et al.* Interações proteína–fitatos na nutrição de suínos e aves: uma reavaliação. **Revisões de Pesquisa em Nutrição**, v. 25, n. 1, p. 1–17, 2012.

SHAHRYARI, M. *et al.* Using soybean acid oil or its calcium salt as the energy source for broiler chickens: effects on growth performance, carcass traits, intestinal morphology, nutrient digestibility, and immune responses. **Animal Feed Science and Technology**, p. 114919, mar. 2021.

SHI, H.; WANG, J.; WOO KYUN KIM. Interactive effects of calcium, phosphorus, and exogenous phytase on growth performance and bone ash in broilers under *Eimeria* or necrotic enteritis infections: a systemic review and meta-analysis. **The Journal of Applied Poultry Research**, p. 100422–100422, 1 fev. 2024.

SINCLAIR-BLACK, M.; GARCIA, R. A.; ELLESTAD, L. E. Physiological regulation of calcium and phosphorus utilization in laying hens. **Frontiers in Physiology**, v. 14, p. 1112499, 2023.

SUN, M.; HE, Z.; JAISI, D. P. Role of metal complexation on the solubility and enzymatic hydrolysis of phytate. **PLOS ONE**, v. 16, n. 8, e0255787, 2021.

TODA, K.; HAJIKA, M. Chromatographic study of mineral–phytate and protein–phytate interactions in soymilk. **Food Science and Technology Research**, v. 24, n. 5, p. 869–874, 2018.

VARELLA, G. O. M. *et al.* Evaluation of the calcium humophosphate supplemented with phytase on phosphorus digestibility and performance in 21-day-old broiler chickens. **Animals**, 2025.

ZHANG, Q. *et al.* Efficacy of a novel phytase in response to low and high phytate diets using a short-term digestibility model in broiler chickens at two ages. **Animal Feed Science and Technology**, v. 307, p. 115832, 18 nov. 2023.