

TARCISO TIZZIANI

**REDUÇÃO DOS NÍVEIS DE CÁLCIO EM RAÇÕES SUPLEMENTADAS COM
DIFERENTES FONTES DE VITAMINA D PARA FRANGOS DE CORTE EM
AMBIENTE DE TERMONEUTRALIDADE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

T625r
2017

Tizziani, Tarciso, 1989-

Redução dos níveis de cálcio em rações suplementadas com diferentes fontes de vitamina D para frangos de corte em ambiente de termoneutralidade / Tarciso Tizziani. – Viçosa, MG, 2017.

xi, 49 f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Rita Flávia Miranda de Oliveira Donzele.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Frango de corte - Alimentação e rações. 2. Vitaminas na nutrição animal. 3. Frango de corte - Efeito da temperatura.

I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Zootecnia. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. II. Título.

CDD 22 ed. 636.51

TARCISO TIZZIANI

**REDUÇÃO DOS NÍVEIS DE CÁLCIO EM RAÇÕES SUPLEMENTADAS COM
DIFERENTES FONTES DE VITAMINA D PARA FRANGOS DE CORTE EM
AMBIENTE DE TERMONEUTRALIDADE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 19 de outubro de 2017.



Gladstone Brumano



Marcelo Dias da Silva



Juarez Lopes Donzele

(Coorientador)



Luiz Fernando Teixeira Albino

(Coorientador)



Rita Flavia Miranda de Oliveira Donzele

(Orientadora)

A Deus, amor
Aos meus pais, vida
Aos meus irmãos, inspiração
Aos amigos, apoio
Aos ausentes, reminiscências

*Têm coisas que tem seu valor
Avaliado em quilates, em cifras e fins
Em cifras e fins...
E outras não têm o apreço
Nem pagam o preço que valem pra mim*

*Tenho uma velha saudade
Que levo comigo por ser companheira
Por se companheira...
E que aos olhos dos outros
Parecem desgostos por ser tão caseira*

*Não deixo as coisas que eu gosto
Perdidas aos olhos de quem procurar
Mas olho o mundo na volta
Achando outra coisa que eu possa gostar
Tenho amigos que o tempo
Por ser indelével, jamais separou
E ao mesmo tempo revejo
As marcas de ausência que ele me deixou...*

*Carrego nas costas meu mundo
E junto umas coisas que me fazem bem
Que me fazem bem...
Fazendo da minha janela
Imenso horizonte, como me convém*

*Das vozes dos outros eu levo a palavra
Dos sonhos dos outros eu tiro a razão
Eu tiro a razão...
Dos olhos dos outros eu vejo os meus erros
Das tantas saudades eu guardo a paixão*

*Sempre que eu quero, revejo meus dias
E as coisas que eu posso, eu mudo ou arrumo
Mas deixo bem quietas as boas lembranças
Vidinha que é minha, só pra o meu consumo...*

Pra o Meu Consumo - Gujo Teixeira/Luiz Marengo

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que em sua benevolência conduz meu rumo na tropeada da vida.

A FAPEMIG pelo suporte financeiro na elaboração deste trabalho. A Capes e FAPEMIG pela concessão da bolsa de estudos.

À DSM pela doação do premix mineral-vitamínico e contribuição nas análises do presente estudo.

Ao Departamento de Zootecnia – DZO e Universidade Federal de Viçosa pelo suporte estrutural, técnico e científico.

Ao Estado de Minas Gerais, em especial Viçosa, por se fazer casa durante esse tempo.

A professora Rita Flávia Miranda de Oliveira Donzele pela disponibilidade, orientação, apoio e confiança.

Aos professores Juarez Lopes Donzele e Luiz Fernando Teixeira Albino, pelos ensinamentos durante a vida acadêmica.

Aos doutores, Gladstone Brumano e professor Marcelo Dias da Silva pelo interesse, disponibilidade e sugestões.

Aos funcionários do Setor de Avicultura, em especial Elísio, Adriano, Zé Lino por toda ajuda durante a elaboração deste trabalho.

Ao apoio na elaboração das análises da professora Luciana Rennó, Mário, laboratório de qualidade da carne e Sr. Osvaldo.

Aos amigos do laboratório de Ciência da carne e laboratório do professor Tião que sempre foram solícitos quando necessário.

Aos amigos gremistas e gaúchos de Viçosa por toda amizade.

A toda equipe Bioclimatologia Animal e agregados, companheiros de guerra durante todo experimento: Amanda, Jorge, Rodrigo, Léo, Érika, Mariane, Alexandre, Lívia, Maath, Shirlyne, Tatiane, Matheus, Luana Macaé e Warley.

Aos companheiros de república durante a trajetória em viçosa: Alex, Luiz, João, Anderson, Marco e Rodrigo.

Aos amigos Eric, Jorge, Macaé, Rodrigo, Léo, Érika, Alexandre e Roberta pelos bons momentos compartilhados.

Aos amigos Luiz, Alex, João, Leandro, Chu e Willian pelas alegrias proporcionadas.

Aos meus amigos de graduação, Josi, Paulo, Rodrigo, Cristiano, Rafa, Douglas (*in memorian*), Emerson, Gurizada da “várzea” e da Mansão por toda alegria compartilhada.

Aos meus familiares, em especial meus padrinhos Janete e Valdemar, Genésio e Neca, minhas tias Elaine e Téia, e aos demais que sempre me apoiaram ao longo desses anos.

A minha vó Lela, pela alegria única, e pelas lágrimas derramadas a cada partida.

Aos meus irmãos, Felipe Tizziani e família e Isaura Maria Tizziani, por serem minha grande inspiração, meu alicerce. Amo vocês!

Aos meus pais, Miguel Tizziani e Tânia Mara Tizziani, formadores de meu carácter, por todo exemplo, educação, esforço, dedicação, apoio, carinho e amor. Amo vocês!

Aquela mineirinha que me deu rumo, minha flor Amanda. Você deu sentido a toda essa caminhada. Obrigado por me contagiar com toda a sua alegria e carinho. Te amo!

BIOGRAFIA

TARCISO TIZZIANI, filho de Miguel Tizziani e Tânia Mara Tizziani, nascido em 14 de maio de 1989, natural de Nonoai, Rio Grande do Sul.

Iniciou curso de graduação em Zootecnia pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Chapecó-SC em março de 2007, vindo a concluir o mesmo em dezembro de 2011.

Em março de 2012 ingressou no mestrado do Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, tendo como área de concentração Bioclimatologia Animal e Nutrição de Monogástricos, submetendo-se a defesa da dissertação em março de 2014.

Iniciou o doutorado em Zootecnia em março de 2014 pela Universidade Federal de Viçosa, tendo como área de concentração Bioclimatologia Animal e Nutrição de Monogástricos, submetendo-se a defesa em Outubro de 2017.

SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
INTRODUÇÃO.....	1
 ARTIGO 1. REDUÇÃO DOS NÍVEIS DE CÁLCIO EM RAÇÕES SUPLEMENTADAS COM VITAMINA D3 OU 25-OH-D3 PARA FRANGOS DE CORTE	 3
INTRODUÇÃO.....	5
MATERIAL E MÉTODOS.....	7
RESULTADOS	13
DISCUSSÃO	18
REFERÊNCIAS	24
 ARTIGO 2. REDUÇÃO DOS NÍVEIS DE CÁLCIO MANTENDO A RELAÇÃO COM O FÓSFORO DISPONÍVEL EM RAÇÕES SUPLEMENTADAS COM VITAMINA D₃ OU 25-OH-D₃ PARA FRANGOS DE CORTE	 28
INTRODUÇÃO.....	30
MATERIAL E MÉTODOS.....	31
RESULTADOS	36
DISCUSSÃO.....	41
REFERÊNCIAS	46

RESUMO

TIZZIANI, Tarciso, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2017. **Redução dos níveis de cálcio em rações suplementadas com diferentes fontes de vitamina D para frangos de corte em ambiente de termoneutralidade.** Orientadora: Rita Flávia Miranda de Oliveira Donzele. Coorientadores: Juarez Lopes Donzele e Luiz Fernando Teixeira Albino.

Foram conduzidos dois experimentos para avaliar o efeito da redução de cálcio em rações suplementadas com diferentes fontes de vitamina D sobre o desempenho, retenção mineral, características de carcaça, parâmetros ósseos e sanguíneos e qualidade da carne de frangos de corte de 1 a 42 dias de idade, mantidos em ambiente termoneutro. Em cada experimento foram utilizados 504 frangos de corte machos da linhagem Cobb com 1 dia de idade, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial, sendo duas fontes de vitamina D (vitamina D3 e 25-OH-D3) e quatro níveis de redução de Ca (0%, 10%, 20% e 30%). As dietas foram isonutritivas, exceto para Ca (relação Ca:Pd variando) no experimento 1 e Ca e Pd (relação Ca:Pd fixa em 2.1:1) no experimento 2. Em ambos os experimentos foram avaliados o desempenho, retenção mineral, características de carcaça, parâmetros ósseos e sanguíneos e qualidade da carne dos frangos de corte. Durante todo o experimento as aves receberam ração e água à vontade. As aves foram pesadas aos 21 e aos 42 dias para avaliar o desempenho nos períodos. Entre os 28 e 32 dias de idade foi coletado as excretas das aves para análise de retenção mineral. Ao final do período experimental (42 dias de idade), três aves de cada unidade experimental com o peso mais próximo da média da gaiola (10% acima ou abaixo da média) foram selecionadas e utilizadas para as posteriores avaliações. Duas das três aves por unidade experimental foram colocadas em jejum alimentar de 12 horas e pesadas. Após esse período, essas aves foram encaminhadas ao abatedouro para avaliação do rendimento da carcaça e dos cortes. Uma terceira ave foi mantida em jejum alimentar de 12 horas para coleta de sangue, coleta de peito para análise de qualidade da carne e de tíbia e fêmur para análises ósseas. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância em Delineamento em Inteiramente Casualizado (DIC), através do software SAS, modelo PROC GLM, considerando o nível de 5% de probabilidade. Utilizou-se o teste de médias Dunnett para contraste com o grupo controle (0%). Para as fontes vitamínicas foi considerado o nível de 5% de probabilidade através do teste *t*. No experimento 1, não observou-se efeito ($P > 0,05$) das rações sobre o desempenho aos 21 e aos 42 dias e sobre as características de carcaça. O nível de Ca e 25-OH-D3 sanguíneos, Ca e cinzas nos ossos, resistência óssea, Ca nas excretas e retenção de Ca e as perdas por descongelamento e cocção e valores de b^* da carne foram alterados ($P < 0,05$) pelo nível de Ca das rações. A fonte de

vitamina D alterou ($P<0,05$) os níveis de P do sangue, Ca e P nas excretas e a retenção de Ca e P. No experimento 2, a redução de Ca acima de 20% prejudicou ($P<0,05$) o ganho de peso das aves no período total de criação. A redução de Ca, mantendo a relação com Pd, alterou ($P<0,05$) os níveis séricos de Ca e P, Ca, P e cinzas ósseas, resistência óssea, Ca e P nas excretas, retenção de Ca e P e rendimento de carcaça. No experimento 1, conclui-se que as variáveis de desempenho não são adequadas para determinar a exigência real de Ca, uma vez que como é uma prioridade manter o desempenho, ocorre mobilização mineral do osso, o que pode comprometer a qualidade de carcaça das aves. No experimento 2, verifica-se que os resultados de desempenho, osso, sangue e carne obtidos podem ser um indicativo que os níveis de Ca e Pd recomendados pelas TBAS (2011) podem estar super estimados para frangos de corte mantidos em ambiente de termoneutralidade.

ABSTRACT

TIZZIANI, Tarciso, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, October, 2017. **Reduction of calcium levels in diets supplemented with different vitamin D sources for broilers in a thermoneutral environment.** Adviser: Rita Flávia Miranda de Oliveira Donzele. Co-advisers: Juarez Lopes Donzele and Luiz Fernando Teixeira Albino.

Two experiments were conducted to evaluate the effect of calcium reduction on diets supplemented with different sources of vitamin D on performance, mineral retention, carcass characteristics, bone and blood parameters, and broiler meat quality from 1 to 42 days of age, kept in thermoneutral environment. In each experiment, 504 male broilers of the 1-day-old Cobb line were used, in a completely randomized design in a factorial arrangement, with two sources of vitamin D (vitamin D₃ and 25-OH-D₃) and four levels of Ca reduction (0%, 10%, 20% and 30%). The diets were isonutritives, except for Ca (Pd ratio varying) in experiment 1 and Ca and Pd (Ca: Pd ratio fixed in 2.1:1) in experiment 2. In both experiments the performance, mineral retention, characteristics of carcass, bone and blood parameters and meat quality of broiler chickens were evaluated. Throughout the experiment the birds received feed and water *ad libitum*. The birds were weighed at 21 and 42 days to evaluate the performance in the periods. Between 28 and 32 days of age the birds' excreta were collected for mineral retention analysis. At the end of the experimental period (42 days of age), three birds from each experimental unit with the weight closest to the average of the cage (10% above or below the mean) were selected and used for subsequent evaluations. Two of the three birds per experimental unit were fasted for 12 hours. After this period, these birds were sent to the slaughterhouse to evaluate the carcass yield and cuts. A third bird was maintained in a 12-hour fasting meal for blood collection, breast collection for quality analysis of meat and tibia and femur for bone analysis. The obtained data were submitted to analysis of variance in a completely randomized design (DIC), using SAS software, model PROC GLM, considering the level of 5% of probability. The Dunnett test was used for contrast with the control group. For the vitamin sources, the 5% probability level was considered through the test t. In experiment 1, no effect ($P>0.05$) of feed on performance at 21 and 42 days and on carcass characteristics was observed. The levels of Ca and 25-OH-D₃ in blood, Ca and ash in bone, bone resistance, Ca in excreta and Ca retention, and defrosting and cooking losses and b* values of meat were altered ($P<0.05$) by the level of Ca of the rations. The vitamin D source altered the blood P, Ca and P levels in the excreta and the Ca and P retention ($P<0.05$). In the experiment 2, the reduction of Ca over 20% impaired ($P<0.05$) the weight gain of the birds in the total period. The reduction of Ca, maintaining the relation with Pd, altered

($P < 0.05$) the serum levels of Ca and P, Ca, P and bone ash, bone resistance, Ca and P in the excreta, Ca and P retention and yield of carcass. In experiment 1, it is concluded that the performance variables are not adequate to determine the actual requirement of Ca, since as a priority to maintain performance, bone mineral mobilization occurs, which may compromise poultry carcass quality. In experiment 2, the results of bone, blood, and meat performance may be indicative that the levels of Ca and Pd recommended by the TBAS (2011) may be overestimated for broilers kept in a thermoneutral environment.

INTRODUÇÃO

A vitamina D obtida pelos animais pode ser proveniente de fontes encontradas na dieta (e.g. milho, farinha de carne), premixes vitamínicos ou através da síntese endógena (Bertechini, 2006). Entretanto para que ocorra síntese endógena nos animais é necessária a exposição à luz solar (O'Doherty et al., 2010), o que para animais criados estabulados, principalmente aves e suínos, torna necessária a suplementação através da alimentação (Jiang et al., 2015), no intuito de prover a possível deficiência dessa vitamina e reduzir seus danos a saúde animal.

Na dieta, a vitamina D apresenta-se sob duas formas: 1) ergocalciferol (D_2), sintetizada e presente em plantas; 2) colecalciferol (D_3), dos alimentos não vegetais. Ambas sofrem o mesmo processo de metabolização para se tornarem ativas. Os precursores das formas D_2 e D_3 são o ergosterol vegetal e o 7-deidrocolesterol, respectivamente, que quando submetidos a raios ultravioletas, de comprimento de onda entre 230 a 315 nm, modificam suas moléculas transformando-se em vitamina D (Bertechini, 2006; O'Doherty et al., 2010; Wacker & Holick, 2013). Suas estruturas bioquímicas diferem apenas no tamanho das cadeias e ambas as formas demonstram ter o mesmo valor para ratos, suínos, cães, bezerros e humanos (Regina, 2010). No entanto, para aves a forma D_3 é mais eficaz, tendo a eficiência de utilização 10 vezes melhor comparada com a D_2 (Bertechini, 2006; Regina, 2010).

De maneira geral as bioatividades das formas de vitamina D encontradas nos alimentos ou suplementadas na dieta dos animais seguem a sequência $D_2 < D_3 < 25(OH)D_3 < 1\alpha-OH-D_3 < 1,25(OH)_2D_3$. A vitamina D tem um potente efeito de aumentar a absorção de minerais pelo trato gastrointestinal.

Nesse sentido, para atingir sua forma ativa, $1,25(OH)_2D_3$, a vitamina D (suas formas) necessita ser metabolizada. As modificações orgânicas decorrentes do processo de ativação da vitamina D ocorrem no fígado e rins, através da adição de grupos OH- na molécula (O'Doherty et al., 2010; Combs Jr, 2012).

A vitamina D e seus metabólitos possuem importante função no organismo, sendo a principal delas no metabolismo de minerais, principalmente cálcio e fósforo. Seus receptores são expressos em diversos outros tecidos, além daqueles relacionados com o metabolismo ósseo, indicando que possui outras importantes funções no organismo.

A homeostase do cálcio reflete o balanço entre fluxo para e do intestino (influenciado pela suplementação dietética e ação da 1,25-(OH)₂-D₃), reabsorção renal regulada e a deposição e mobilização óssea (Jiang et al., 2015).

Conforme descrito por vários trabalhos (Margolis & Chistakos et al., 2010; Jiang et al., 2015; Christakos et al., 2016; Veldurthy et al., 2016) o cálcio é absorvido no intestino delgado, tanto por mecanismos paracelulares como transcelulares (Figura 2), sendo o anterior um processo ativo e saturável, ocorrendo em mamíferos primariamente no duodeno e porção proximal do jejuno, constituindo a mais importante forma de absorção de cálcio sob condições de baixo consumo desse mineral. O outro é um processo não saturável ocorrendo durante todo o intestino, constituindo o principal meio de absorção de cálcio quando seu consumo se encontra alto.

De acordo com a literatura (Veldurthy et al., 2016), a atividade metabólica de 1,25-(OH)₂-D₃ estimula a absorção entérica de cálcio por ambos os mecanismos. Entretanto, o processo paracelular ainda não está totalmente elucidado como ocorre.

Indivíduos normais absorvem o fosfato inorgânico (Pi) da dieta com eficiência de 60-65%, sendo a maioria da absorção ocorre no duodeno e jejuno. O fosfato é absorvido através de dois mecanismos: 1) um caminho paracelular não saturável; 2) um processo saturável que exige gasto de energia, processo Na⁺-dependente na superfície da mucosa que é direcionado pela manutenção do gradiente de Na⁺ através do complexo Na⁺, K⁺-ATPase na membrana basolateral. Esse último parece ser o limitante da taxa de absorção de Pi. A vitamina D, na forma 1,25-(OH)₂-D₃ aumenta a captação líquida pelo aumento do co-transporte Na⁺/Pi através da membrana borda em escova da célula, aparentemente através da regulação positiva do transportador (Combs Jr, 2012).

Nesse sentido, torna-se necessário avaliar as respostas dos animais frente às diferentes fontes de vitamina D em dietas com diferentes níveis de cálcio e fósforo.

**ARTIGO 1. REDUÇÃO DOS NÍVEIS DE CÁLCIO EM RAÇÕES SUPLEMENTADAS
COM VITAMINA D₃ OU 25-OH-D₃ PARA FRANGOS DE CORTE**

Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.

Correspondência ao autor: tarciso@zootecnista.com.br

RESUMO: Um experimento foi realizado com o objetivo de verificar a resposta à redução dos níveis de Ca das rações com diferentes fontes de vitamina D sobre o desempenho, deposição mineral óssea, concentrações séricas, digestibilidade e características de carcaça e qualidade da carne de frangos de corte no período de 1 a 42 dias criados em ambiente termoneutro. Foram utilizados 504 frangos de corte machos com 1 dia de idade e peso médio de $43,27 \pm 1,08$ g alojados em câmaras climáticas e distribuídos em delineamento inteiramente casualizado. O estudo consistiu em um fatorial 4 x 2, sendo quatro níveis de redução de Ca (0; 10; 20 e 30%) e duas fontes de vitamina D (2760 UI de D₃ ou 25-OH-D₃). O desempenho dos animais, aos 21 e aos 42 dias de idade, não foi prejudicado pela redução de Ca em até 30%, independente da fonte de vitamina utilizada. A redução dietética a partir de 10% reduziu as concentrações séricas de Ca. A utilização da vitamina D₃ proporcionou nível de P sérico maior que a 25-OH-D₃. A redução de Ca reduziu os níveis séricos de 25-OH-D₃. Não foi verificado efeito da fonte vitamínica ou dos níveis de Ca sobre as características de carcaça dos frangos aos 42 dias. A fonte de vitamina não interferiu na qualidade da carne, enquanto que a redução de Ca da dieta proporcionou menores perdas por descongelamento e cocção e maiores valores de pH inicial. A coloração de b* foi reduzida nas dietas com menores níveis de Ca da dieta. Conclui-se que a redução de Ca em até 30% não prejudica o desempenho e as características de carcaça, independente da fonte de vitamina D utilizada. A qualidade da carne de frangos de corte é melhorada com a redução de Ca da dieta, mas a vitamina utilizada não possui efeito sobre tais características.

Palavras-chave: desempenho, digestibilidade, mineralização óssea, qualidade da carne

INTRODUÇÃO

O cálcio (Ca) é um nutriente essencial ao organismo das aves, pois participa de diversas funções bioquímicas e da formação dos ossos. A deficiência desse mineral pode causar prejuízos, sendo imprescindível o atendimento adequado das exigências nas diferentes fases de desenvolvimento das aves. Seu metabolismo está intimamente ligado ao do fósforo (P) (Mello et al., 2012), o que leva ao cuidado na formulação de rações balanceadas para esses minerais com o intuito de obter o máximo aproveitamento dietético, uma vez que relações desequilibradas podem prejudicar o desempenho (Rao et al., 2006) e a qualidade óssea. Tem sido sugerido que as aves possuem alta eficiência de utilização quando alimentadas com níveis sub-ótimos de Ca (Li et al., 2012).

A vitamina D possui papel determinante no metabolismo de Ca das aves. Animais criados na ausência de luz natural necessitam de suplementação para suprir a necessidade dessa vitamina. A forma mais comum de adição às rações é a colecalciferol (D_3), no entanto, diversos estudos tem utilizado isoformas na alimentação animal (Fritts & Waldroup, 2003; Han et al., 2013; Han et al., 2016). Após absorção a D_3 é transportada para o fígado onde é hidroxilada, resultando na formação da 25-OH- D_3 (Soares et al., 1995). Essa é a principal forma circulante no sangue, sendo, portanto utilizada como marcador do status de vitamina D dos animais (Arnold et al., 2015), e importante indicador do metabolismo mineral das aves. Para se tornar ativa essa molécula necessita de mais uma hidroxilação, a qual ocorre nos rins, na posição 1, originando assim a forma hormonal metabolicamente ativa 1,25-(OH) $_2$ - D_3 .

A vitamina D é conhecida por atuar melhorando a absorção e utilização do Ca e P da dieta (Shafey et al., 1990; Yan & Waldroup, 2006), contudo poucos trabalhos tem avaliado o efeito de diferentes fontes em dietas deficientes em Ca para frangos de corte. Além do desempenho, a concentração de minerais no osso é um importante meio para se avaliar a exigência e a retenção de minerais. Outro modo de constatar essa influência é através de marcadores sanguíneos da remodelação óssea como a fosfatase alcalina, além do nível mineral e status de vit. D no sangue (Shafey et al., 1990).

Os efeitos da suplementação dietética com 25-OH- D_3 em rações vem sendo relatada por melhorar a síntese proteica de músculo e qualidade da carne de frangos de corte (Vignale et al., 2015; Bozkurt et al., 2017). Por outro lado, existe escassez de pesquisas demonstrando a suplementação com diferentes fontes de vitamina D em rações com redução de Ca sobre a qualidade da carne e características de carcaça de aves.

Nesse sentido, o objetivo com este trabalho foi verificar a resposta dos animais à redução de Ca em rações suplementadas com diferentes fontes de vitamina D sobre o desempenho, deposição mineral óssea, concentrações plasmáticas e características de carcaça e qualidade da carne de frangos de corte machos no período de 1 a 42 dias criados em ambiente termoneutro.

MATERIAL E MÉTODOS

Um experimento foi conduzido no Laboratório de Bioclimatologia Animal do Departamento de Zootecnia, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, Brasil.

Todos os procedimentos experimentais adotados foram aprovados pelo Comitê de Ética para Uso de Animais de Produção (CEUAP/UFV), sob o processo nº 44/2014 estando de acordo com os princípios éticos da experimentação animal, estabelecido pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal - CONCEA e com a legislação vigente.

Alojamento, animais e dietas experimentais

Foram utilizados 504 pintos Cobb 500 machos de 1 dia de idade com peso médio $43,27 \pm 1,08\text{g}$, alojados em câmaras climáticas em que a temperatura média e umidade relativa seguindo foram mantidas conforme as recomendações técnicas da linhagem.

As aves foram distribuídas em delineamento experimental inteiramente casualizado, com oito tratamentos, em arranjo fatorial 2x4 (duas fontes de vitamina D: Vitamina D₃ ou 25-OH-D₃ (Hy-D®) x quatro níveis de cálcio – 0, 10, 20 e 30% de redução da recomendação das Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (Rostagno et al., 2011)) para as fases de 1 a 7, 8 a 21, 22 a 33, 34 a 42 dias de idade (Tabela 1 e 2), com sete repetições e nove aves por unidade experimental. Os tratamentos experimentais foram adquiridos através da retirada de calcário e adição de inerte. As diferentes fontes de vitamina D foram incluídas nas rações juntamente ao premix mineral-vitamínico, fornecendo aproximadamente 2.760 UI/Kg de ração de vitamina D (D₃ ou 25-OH-D₃). As rações experimentais e a água foram fornecidas *ad libitum* durante todo o período experimental.

Durante o período experimental foi realizado monitoramento e registro das câmaras através dos termômetros de bulbo seco, bulbo úmido e de globo negro. Os dados foram posteriormente convertidos no Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU) conforme proposto por Buffington et al. (1981), para caracterizar o ambiente térmico das aves (Tabela 3). O programa de luz foi contínuo com 24 horas de luz artificial.

Ao final do período experimental (42 dias de idade), três aves de cada unidade experimental com o peso mais próximo da média da gaiola (10% acima ou abaixo da média) foram selecionadas e utilizadas para as posteriores avaliações. Duas das três aves por unidade

experimental foram colocadas em jejum alimentar de 12 horas e pesadas. Após esse período, essas aves foram encaminhadas ao abatedouro, onde foram insensibilizadas via eletronarcose

Tabela 1. Composição das dietas experimentais na matéria natural

Ingredientes	Dietas experimentais			
	1-7 d	8-21 d	22-33 d	34-42 d
Milho (7,88%)	47,888	52,823	55,354	59,144
Farelo de soja (45%)	43,753	38,713	35,507	32,072
Óleo de soja	3,768	4,200	5,208	5,209
Fosfato bicálcico	1,842	1,567	1,393	1,123
Calcário	0,928	0,925	0,837	0,778
Inerte (areia)	0,100	0,100	0,100	0,100
Sal comum	0,508	0,483	0,458	0,445
L-Lisina HCl (78,5%)	0,141	0,157	0,147	0,160
DL-Metionina (99%)	0,327	0,292	0,270	0,245
L-Treonina (98,5%)	0,050	0,045	0,031	0,029
Mistura Mineral-Vitamínica ¹	0,500	0,500	0,500	0,500
Cloreto de Colina (60%)	0,125	0,125	0,125	0,125
Antioxidante	0,010	0,010	0,010	0,010
Anticoccidiano	0,050	0,050	0,050	0,050
Promotor de Crescimento	0,010	0,010	0,010	0,010
Total	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição Calculada ²				
Energia Metabolizável, kcal/kg	2960	3050	3150	3200
Proteína Bruta, %	23,92	22,02	20,74	19,48
Lisina Digestível, %	1,324	1,217	1,131	1,060
Metionina+cistina digestível, %	0,953	0,876	0,826	0,774
Treonina Digestível, %	0,861	0,791	0,735	0,689
Sódio, %	0,220	0,210	0,200	0,195
Cálcio, %	0,920	0,841	0,758	0,663
Fósforo disponível, %	0,470	0,401	0,354	0,309

1 Composição mínima por Kg de ração: Cobre: 8,6 mg carbo-amino-fosfoquelato de cobre; Ferro: 43,7 mg carbo-amino-fosfoquelato de ferro; Manganês: 56,4 mg carbo-amino-fosfoquelato de manganês; Selênio: 0,34 mg carbo-amino-fosfoquelato de Selênio; Zinco: 43,7 mg carbo-amino-fosfoquelato de Zinco; Vitamina A: 8250 UI; Vitamina E: 31 UI; Vitamina K3: 1,65 mg; Vitamina B1: 2,2 mg; Vitamina B2: 5,5 mg; Vitamina B6: 3,08 mg; Vitamina B12: 13 µg; Ácido Fólico: 2,5mg; Ácido Nicotínico: 33 mg; Ácido Pantotênico: 11,03 mg; Biotina: 0,8 mg; Colina: 33 mg; Vitamina D: 2760 UI como Vitamina D₃ ou 25(OH)D₃

2 Calculada através da composição de alimentos das Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (2011)

Tabela 2. Composição calculada de Ca, P, Pd e relação Ca:Pd das rações experimentais

	Redução de Ca			
	0 %	10 %	20 %	30 %
Ca, 1-7 d (%)	0,920	0,828	0,736	0,644
P, 1-7 d (%)	0,706	0,706	0,706	0,706
Pd, 1-7 d (%)	0,470	0,470	0,470	0,470
Relação Ca:Pd	1,96	1,76	1,57	1,37
Ca, 8-21 d (%)	0,841	0,757	0,672	0,588
P, 8-21 d (%)	0,639	0,639	0,639	0,639
Pd, 8-21 d (%)	0,401	0,401	0,401	0,401
Relação Ca:Pd	2,10	1,89	1,68	1,47
Ca, 22-33 d (%)	0,758	0,682	0,606	0,530
P, 22-33 d (%)	0,595	0,595	0,595	0,595
Pd, 22-33 d (%)	0,354	0,354	0,354	0,354
Relação Ca:Pd	2,14	1,93	1,71	1,50
Ca, 34-42 d (%)	0,663	0,596	0,530	0,464
P, 34-42 d (%)	0,535	0,535	0,535	0,535
Pd, 34-42 d (%)	0,309	0,309	0,309	0,309
Relação Ca:Pd	2,15	1,93	1,72	1,50

Os tratamentos foram obtidos através da retirada de calcário e adição de inerte.

(com corrente elétrica de 60 V), abatidas por sangria mediante o corte da artéria jugular, segundo preconizado pela Instrução Normativa N°3 (MAPA, 2000), e após serem escaldadas e depenadas, foram evisceradas; as carcaças pesadas para avaliação do rendimento da carcaça e dos cortes. Uma terceira ave foi mantida em jejum alimentar de 12 horas para coleta de sangue mediante punção da veia braquial, coleta de peito para análise de qualidade da carne e de tíbia e fêmur.

Desempenho das aves

Ao final de cada fase (7, 21, 33 e 42 dias) o consumo de ração foi calculado pela diferença entre o total de ração fornecido e as sobras de ração dos comedouros e do piso das salas climáticas para obtenção do consumo total acumulado aos 21 e aos 42 dias.

As aves foram pesadas no início (dia 1), aos 21 dias e ao término do período experimental, para a determinação do ganho de peso dos animais nos períodos de 1 a 21 e 1 a 42 dias de idade.

A conversão alimentar foi calculada dividindo-se o consumo de ração pelo ganho de peso corporal acumulado nos respectivos períodos avaliados.

Análises ósseas

Para a determinação das concentrações dos minerais - cálcio e fósforo foi utilizada a tíbia esquerda de cada ave, descarnada, seca em estufa (105°C). Posteriormente, os ossos foram calcinados em mufla (600°C) por um período de seis horas para a mensuração dos teores de cinzas e preparo de solução mineral, seguindo a metodologia de Silva & Queiroz (2002).

A determinação dos teores de cálcio foi realizada por espectrometria de absorção atômica enquanto que o fósforo dos ossos foi determinado por meio de colorimetria.

Os valores dos minerais foram expressos em termos de porcentagem de cinzas em relação ao peso do osso seco e desengordurado (Barbosa et al., 2010; Müller et al., 2012), e a relação cálcio:fósforo (Ca:P), foi obtida dividindo-se a porcentagem de cálcio pela de fósforo nas cinzas.

As análises de resistência óssea (RO) foram efetuadas utilizando o fêmur esquerdo de cada ave. Os fêmures foram apoiados pelas extremidades em suportes e a carga foi aplicada no centro de cada osso (região da diáfise) a uma velocidade constante de 10mm/min. Os resultados foram expressos em Kg/cm² referente a força máxima para a ruptura de cada osso.

Excreção Mineral

Foi efetuada uma coleta total de excretas no período de 30 a 33 dias de idade das aves para a estimativa da excreção mineral (Ca e P). Os animais foram mantidos alojados em gaiolas contendo bandejas metálicas recobertas com plástico para coleta. A coleta total foi efetuada duas vezes ao dia (7:00 e 18:00h) e o material coletado foi armazenado em sacos plásticos devidamente identificados e acondicionados em refrigerador. Ao final do período de coleta as excretas foram homogeneizadas e uma alíquota de aproximadamente 300g foi retirada e submetida à secagem parcial em estufa durante 72 h em temperatura de 60°C. Após processadas as excretas foram encaminhadas para um laboratório especializado em Mayrinque/SP. Para cálculo do coeficiente de retenção foram contabilizados o consumo de ração e o total de excretas do período. A retenção mineral (%) foi obtida através da fórmula $RM = ((\text{ingestão mineral} - \text{excreção mineral}) / \text{ingestão mineral}) \times 100$. Os valores foram expressos com base na matéria seca.

Características de Carcaça e qualidade da carne

Foi avaliado o rendimento (%) das carcaças evisceradas e dos cortes nobres (peito, coxa e sobrecoxa) dos frangos aos 42 dias de idade. Na determinação do rendimento, foi considerado o peso da carcaça limpa e eviscerada, com pés e cabeça em relação ao peso vivo em jejum. Para os cortes nobres, os cálculos dos rendimentos foram feitos em relação ao peso da carcaça eviscerada com pés e cabeça.

O pH inicial (15min *post mortem*) e final (24h *post mortem*) foram tomados utilizando peagâmetro manual Testo 205.

Para a avaliação da coloração da carne de peito foi utilizado um colorímetro da marca Konica Minolta modelo CR300. Foram avaliadas as características **L*** (luminosidade – nível de escuro a claro), **a*** (intensidade de vermelho/verde) e **b*** (intensidade de amarelo/azul), em cinco diferentes regiões do músculo do peito (*Pectoralis major*) 24h *post mortem*.

Para avaliação da perda por Gotejamento (PGO) foi utilizado uma alíquota de 80-100g do músculo do peito. As amostras foram suspensas em câmara frigorífica durante 48h. O peso inicial e final foi obtido para cálculo da porcentagem de perda.

A perda por descongelamento (PDE) foi obtida pela diferença de peso do músculo congelado e após descongelamento. As amostras de peito foram descongeladas durante 16 h em geladeira a aproximadamente 8°C.

Após descongelados e pesados, os peitos foram embalados a vácuo e submetidos a cocção em banho-maria à 70°C durante 30 min. Logo em seguida foram resfriadas, secas e pesadas para obtenção da perda de peso por cocção (PCO).

A análise de força de cisalhamento (CIS) foi realizada com as mesmas amostras utilizadas para PCO. Os peitos foram cortados paralelamente as fibras musculares em cinco retângulos (1,0 x 1,0 x 1,3 cm) e submetidas à força mecânica utilizando um texturômetro TAXT2i, acoplado com a probe *Warner-Bratzler Shear Force* – com capacidade de 20 kg e velocidade do seccionador de 20 cm/minuto, fornecendo a medida CIS da amostra, em quilograma força (kgf.cm⁻²).

Análises sanguíneas

As coletas de sangue foram realizadas por meio de punção da veia braquial com uso de seringa e agulha com anticoagulante (heparina), sendo coletado 5mL de sangue de uma ave por repetição. Após a coleta, o plasma foi extraído através da centrifugação por 3.000 rpm por 10 minutos, em seguida foi transferido para criotubos e imediatamente congelados a

temperatura de -18°C para a realização das análises de fósforo, cálcio, fosfatase alcalina total (FAT) e fosfatase alcalina óssea (FAO) e 25-OH-D₃.

Para as análises de FAT, fósforo e cálcio foi utilizado o equipamento automático para bioquímica, marca Mindray, modelo: BS200E, utilizando-se kits de determinação da Bioclin.

As análises de FAO e 25-OH-D₃ foram realizadas em um sistema de imunoensaio, Access®, da Beckman Coulter, utilizando-se kits de determinação de fosfatase alcalina óssea (Ostase®) e 25-OH-D₃ (25(OH)Vitamin D total®).

Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância em Delineamento em Inteiramente Casualizado (DIC), através do software SAS, modelo PROC GLM, considerando o nível de 5% de probabilidade. Utilizou-se o teste de médias Dunnett para contraste com o grupo controle. Para as fontes vitamínicas foi considerado o nível de 5% de probabilidade através do teste *t*.

RESULTADOS

Em relação às condições ambientais no interior das câmaras climáticas, Santos et al. (2009), Valério et al. (2003) e Medeiros et al. (2005) caracterizaram o ambiente térmico com ITGU 80 a 86, 74 a 80 e de 69 a 77 como de conforto térmico para frangos de corte nos períodos de 1 a 8, 8 a 21 e 22 a 42 dias de idade, respectivamente. Nesse sentido, pode-se afirmar que neste estudo as aves foram mantidas em ambiente termoneutro durante todo o período experimental (Tabela 3).

Tabela 3. Características climáticas das câmaras durante o período experimental

Variável	Fase de criação				
	1 a 5 d	6 a 10 d	11 a 21 d	22 a 33 d	34 a 42 d
Temperatura, °C	32,8	30,0	27,5	23,6	21,9
Umidade Relativa, %	65,8	65,8	67,8	65,3	62,6
ITGU	84,1	80,7	77,4	72,4	70,5

Os resultados de desempenho dos frangos de corte estão apresentados na tabela 4. Não houve interação ($P>0,05$) entre as fontes de vitamina D e níveis de cálcio sobre o desempenho (GP, CR e CA) dos frangos de corte nos períodos de 1 a 21 e 1 a 42 dias de idade. Assim ficou evidenciado que o padrão de resposta de desempenho das aves devido a redução do níveis de Ca das dietas não variou entre as fontes de vitamina D avaliadas.

Tabela 4. Desempenho de frangos de corte no período inicial (1-21d) e total (1-42d) de criação

Variável	Redução de Ca(%)				Fonte de Vit D		CV	Fonte de variação (P valor)		
	0	10	20	30	D3	25-OH		Ca	Vit	Int
1 a 21 dias de idade										
GP, g	995	987	1003	1002	998	995	3,30	0,5455	0,7494	0,1174
CR, g	1250	1252	1276	1267	1263	1260	3,33	0,3005	0,7929	0,7732
CA	1,28	1,29	1,28	1,30	1,29	1,29	2,76	0,7879	0,9702	0,2231
1 a 42 dias de idade										
GP, g	3080	3087	3089	3032	3064	3080	2,05	0,0684	0,3716	0,7565
CR, g	4511	4546	4482	4501	4507	4514	1,92	0,2736	0,7813	0,7221
CA	1,48	1,47	1,47	1,47	1,48	1,47	1,74	0,7866	0,3032	0,8692

GP: ganho de peso; CR: consumo de ração; CA: conversão alimentar

Médias com letras diferentes na mesma linha diferem entre si (5%) pelo teste Dunnett para níveis e teste t para fonte vitamínica.

A redução do nível de Ca das dietas, independente da fonte de vitamina D utilizada, não influenciou ($P>0,05$) o desempenho das aves nos diferentes períodos avaliados.

Não ocorreu interação ($P>0,05$) entre as fontes de vitamina D e os níveis de redução de Ca das dietas para nenhuma das variáveis sanguíneas analisadas aos 42 dias de idade das

aves (Tabela 5). No entanto, foi verificado que, embora não tenha variado entre as fontes de vitamina D, o nível plasmático do Ca diminuiu ($P<0,05$) devido a redução do seu nível nas dietas.

Tabela 5. Concentrações séricas de cálcio (Ca), fósforo (P), fosfatase alcalina total (FAT), fosfatase alcalina óssea (FAO) e 25-OH-D₃ de frangos aos 42 dias de idade

Variável	Redução de Ca (%)				Fonte de Vit D		CV %	Fonte de variação (P valor)		
	0	10	20	30	D ₃	25-OH		Ca	Vit	Int
Ca, mg/dL	8,22 ^a	7,42 ^b	7,07 ^b	6,54 ^b	7,29	7,33	9,55	<0,0001	0,8209	0,0927
P, mg/dL	5,76	5,61	5,74	5,68	5,84 ^a	5,55 ^b	4,88	0,4545	0,0002	0,3857
FAT, U/L	1103	1536	1273	1364	1415	1224	45,45	0,2938	0,2392	0,3598
FAO, µg/L	4,51	4,43	4,94	4,92	4,70	4,70	20,36	0,5054	0,9948	0,4949
25-OH, ng/mL	11,78 ^a	9,01 ^a	11,29 ^a	6,94 ^b	8,82	10,70	37,32	0,0203	0,1119	0,7248

Médias com letras diferentes na mesma linha diferem entre si (5%) pelo teste Dunnett para níveis e teste t para fonte vitamínica.

Não se verificou alteração ($P>0,05$) nos níveis séricos de P em razão da redução do nível de Ca das dietas, entretanto as aves que receberam a vitamina D₃ apresentaram maiores níveis ($P<0,05$) desse mineral no sangue em relação àquelas alimentadas com rações contendo o metabólito 25-OH-D₃.

Com relação à fosfatase alcalina total (FAT) e fosfatase alcalina óssea (FAO), foi observado que independente da fonte de vitamina D e das reduções dos níveis de Ca das dietas avaliadas, os níveis séricos não variaram ($P>0,05$).

A redução de Ca das rações em 30% diminuiu ($P<0,05$) o nível sérico de 25-OH-D₃ dos frangos de corte. Por outro lado não foi verificada influência da fonte de vitamina D sobre a concentração do metabólito no sangue, embora tenha sido observado um aumento em valores absolutos, acima de 20%, com o uso da 25-OH-D₃ em relação a D₃.

As variáveis de deposição óssea estão apresentadas na Tabela 6. Não foi constatada interação ($P>0,05$) para as variáveis de deposição de Ca, P e cinzas nas tíbias e RO de frangos de corte aos 42 dias de idade. Por outro, foi verificada redução ($P=0,0012$) na deposição de Ca dos animais alimentados com rações a partir de 20% de redução de Ca. Comportamento similar dos dados foi observado para o teor de cinzas ósseas das tíbias dos frangos, com teor inferior ao controle quando se reduziu o conteúdo de Ca em 30%. A alteração observada na deposição de cinzas reflete, provavelmente, as alterações observadas no teor de Ca, uma vez que não foi verificado efeito da redução de Ca em rações variando a relação Ca:Pd (Pd fixo), sobre a deposição de P no osso das aves. A fonte de vitamina utilizada nas rações não afetou ($P>0,05$) o teor de Ca, P e as cinzas nas tíbias e a resistência óssea dos frangos.

Tabela 6. Efeito da redução de Ca e fonte de vitamina D sobre a deposição de Ca, P e cinzas nas tíbias de frangos de corte aos 42 dias de idade.

Variável	Redução de Ca(%)				Fonte de Vit D		CV %	Fonte de variação (P valor)		
	0	10	20	30	D ₃	25-OH		Ca	Vit	Int
Ca, %	15,53 ^a	15,07 ^a	14,89 ^b	14,57 ^b	15,08	14,94	4,02	0,0012	0,3941	0,1403
P, %	7,99	7,90	7,91	7,71	7,83	7,93	4,73	0,2416	0,3302	0,1704
Cinzas, %	38,81 ^a	37,94 ^a	37,48 ^a	36,71 ^b	37,59	37,88	5,09	0,0421	0,5647	0,1287
RO, Kg	10,58 ^a	8,00 ^a	8,02 ^a	6,57 ^b	8,37	8,21	38,68	0,0166	0,8589	0,9569

RO: Resistência óssea

Médias com letras diferentes na mesma linha diferem entre si (5%) pelo teste Dunnett para níveis e teste t para fonte vitamínica.

A redução de 30% do nível de Ca das dietas influenciou ($P<0,05$) negativamente a resistência óssea dos ossos das aves. No entanto, a fonte de vitamina utilizada não exerceu efeito sobre essa característica óssea.

Por outro lado, foi verificada interação ($P<0,0001$) entre os fatores estudados sobre a relação Ca:P (Tabela 7) depositada nas tíbias dos frangos de corte. Em rações onde as exigências de Ca foram plenamente atingidas, a maior relação foi verificada no grupo de animais que receberam 25-OH-D₃. A relação de Ca:P depositada nas tíbias dos frangos não foi alterada com a redução de Ca das rações quando se utilizou a forma D₃ como fonte de vitamina D. Em contrapartida, a relação Ca:P depositada foi menor a partir de 10% de redução de Ca com o uso do metabólito 25-OH-D₃.

Tabela 7. Desdobramento da interação entre o teor de redução de Ca e a fonte vitamina D das rações sobre a relação Ca:P depositada nas tíbias de frangos de corte

Fonte de Vit. D	Redução de Ca (%)			
	0	10	20	30
Vitamina D ₃	1,91Ba	1,92Aa	1,92Aa	1,91Aa
25-OH-D ₃	1,94Aa	1,90Bb	1,86Bb	1,86Bb

Médias com letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste Dunnett (5%);

Médias com letras maiúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste t (5%)

Os resultados da concentração mineral nas excretas e dos coeficientes de retenção se encontram apresentados na Tabela 8. Não houve interação ($P>0,05$) entre os fatores estudados para as variáveis de concentração mineral nas excretas e retenção mineral. A redução dietética dos níveis de Ca a partir de 10% provocou menores valores de Ca nas excretas das aves. Consequentemente foi verificado aumento da retenção mineral com o nível mais baixo de Ca da ração. Por outro lado, a concentração de P nas excretas e o coeficiente de retenção mineral não foram influenciados pela redução de Ca (Pd fixo) das rações.

Tabela 8. Efeito da redução de Ca e fonte de vitamina D na concentração de Ca e P nas excretas e coeficiente de retenção mineral de frangos de corte

Variável	Redução de Ca(%)				Fonte de Vit D		CV %	Fonte de variação (P valor)		
	0	10	20	30	D3	25-OH		Ca	Vit	Int
Ca, g/kg	16,00 ^a	13,69 ^b	11,99 ^b	9,16 ^b	11,99 ^b	13,43 ^a	6,59	<.0001	<.0001	0,2225
RCa, %	61,39 ^a	63,43 ^a	64,09 ^a	66,48 ^b	66,22 ^a	61,48 ^b	6,10	0,0118	<.0001	0,0628
P, g/kg	11,24	11,99	11,84	11,54	11,04 ^b	12,09 ^a	6,06	0,1686	<.0001	0,0622
RP, %	65,42	64,34	64,36	62,41	65,90 ^a	62,36 ^b	5,66	0,1844	0,0006	0,3413

Ca: cálcio; RCa: Retenção de Ca; P: Fósforo; RP: Retenção de fósforo; Médias com letras diferentes na mesma linha diferem entre si (5%) pelo teste Dunnett para níveis e teste t para fonte vitamínica.

A fonte de vitamina D utilizada nas rações influenciou as variáveis de retenção mineral e a concentração mineral nas excretas. Foram verificadas menores concentrações de Ca e P nas excretas quando se utilizou a forma D₃, resultando, consequentemente, maior retenção desses minerais.

Os resultados das características de carcaça demonstram que não foi constatado efeito de interação ($P>0,05$) entre as fontes de vitamina e os níveis de Ca das rações (Tabela 9), no abate aos 42 dias. A redução de Ca em até 30% da exigência estabelecida não prejudicou ($P>0,05$) o RC, RPe, RCx e RSx, assim como a fonte vitamínica não exerceu influência ($P>0,05$) sobre essas variáveis.

Tabela 9. Rendimento de carcaça e de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 42 dias alimentados com rações com redução do nível de cálcio (Relação Ca:Pd variável)

Variável	Redução de Ca(%)				Fonte de Vit D		CV %	Fonte de variação (P valor)		
	0	10	20	30	D3	25-OH		Ca	Vit	Int
RC, %	84,97	84,65	84,37	85,19	84,64	84,95	4,94	0,6053	0,4337	0,7311
RPe, %	37,32	36,47	36,82	37,19	37,18	36,71	3,64	0,3600	0,4245	0,5874
RCx, %	11,27	11,55	11,26	11,49	11,37	11,37	3,21	0,2233	0,9387	0,9822
RSx, %	13,58	13,73	13,49	13,50	13,52	13,63	5,48	0,6300	0,4407	0,6212

RC: rendimento de carcaça; RPe: rendimento de peito; RCx: rendimento de coxa; RSx: rendimento de sobrecoxa; CV: coeficiente de variação

Médias com letras diferentes na mesma linha diferem entre si (5%) pelo teste Dunnett para níveis e teste t para fonte vitamínica.

De mesmo modo, não foi verificada interação ($P>0,05$) entre as fontes de vitamina D e o nível dietético de Ca das rações para nenhuma das características qualitativas da carne de frangos aos 42 dias de idade (Tabela 10).

Ao se avaliar os fatores separadamente, constatou-se que a fonte de vitamina D utilizada nas rações não alterou ($P>0,05$) nenhuma das variáveis analisadas para qualidade da carne. Comportamento similar foi encontrado para a redução de Ca das rações, onde a redução em até 30% não comprometeu a qualidade da carne.

Tabela 10. Qualidade da carne de frangos alimentados com rações com níveis reduzidos de Ca

Variável	Redução de Ca(%)				Fonte de Vit D		CV%	Fonte de variação (P valor)		
	0	10	20	30	D3	25-OH		Ca	Vit	Int
PGO, %	2,60	2,95	2,89	2,92	2,97	2,71	25,52	0,5512	0,1988	0,3386
PDE, %	5,78 ^a	5,41 ^a	4,72 ^b	4,68 ^b	5,15	5,15	12,55	<0,0001	0,9934	0,7431
PCO, %	11,18 ^a	10,89 ^a	9,87 ^b	10,24 ^b	10,51	10,58	9,46	0,0042	0,7940	0,0897
CIS, Kg/cm ²	1,97	2,01	2,07	1,91	1,98	1,99	13,10	0,4278	0,8623	0,6293
L*	59,31	58,98	59,89	59,34	59,47	59,29	2,73	0,5233	0,6715	0,3519
a*	4,63	4,58	4,17	4,41	4,45	4,44	18,81	0,4687	0,9607	0,9571
b*	16,17 ^a	16,06 ^a	16,00 ^a	15,28 ^b	15,91	15,75	4,45	0,0088	0,3895	0,6919
pHi	6,55	6,52	6,55	6,54	6,52	6,55	1,37	0,7409	0,100	0,4841
pHf	6,06	6,04	6,05	6,03	6,02	6,06	1,62	0,8937	0,1062	0,3645
Ti, °C	38,84	38,68	38,93	38,52	38,64	38,84	2,81	0,7566	0,5006	0,8131
Tf, °C	10,47	10,69	10,90	10,96	10,82	10,69	8,78	0,5092	0,6002	0,0642

PGO: Perda por Gotejamento; PDE: Perda por Descongelamento; PCO: Perda por Cocção; L*: Luminosidade; a*: intensidade de vermelho a verde; b*: Intensidade de amarelo a azul; pHi: pH inicial; pHf: pH final; Ti: temperatura inicial; Tf: temperatura final; Médias com letras diferentes na mesma linha diferem entre si (5%) pelo teste Dunnett para níveis e teste t para fonte vitamínica.

Quanto à coloração, não foi observado alteração nos valores de L* e a*, contudo as aves alimentadas com redução de 30% de Ca apresentaram valor de b menor ($P < 0,05$) em comparação àquelas alimentadas com o teor de Ca na exigência.

O nível redução de Ca da dieta não alterou os valores de pHi (15 min *post mortem*) e de pHf (24h *post mortem*) do músculo peitoral de frangos. De modo similar, os valores de pH não foram alterados pela fonte vitamínica utilizada nas rações. A temperatura inicial e final avaliada nos peitos dos frangos não foram determinantes para que ocorresse alteração no pH, uma vez que não foi observado diferença entre os tratamentos ($P > 0,05$) para essas variáveis.

DISCUSSÃO

Os resultados do presente estudo demonstraram que a redução dietética do nível de Ca em até 30% durante a fase inicial (1-21 d) e total (1-42 d) manteve o desempenho, independente da fonte vitamínica avaliada. Singh et al. (2013) verificaram que a redução de 25% e 33% nos períodos de 1 a 21 e 22 a 42 dias, respectivamente, não afetou o desempenho de frangos de corte. Similarmente, Rao et al. (2006), Wilkinson et al. (2014) e Hamdi et al. (2015) não encontraram diferença no GP no período inicial e de crescimento para frangos alimentados com dietas deficientes em Ca. Complementar a isso, a CA não foi afetada, nos períodos avaliados pelo Ca dietético e refletem, provavelmente, a manutenção observada no GP e CR das aves, demonstrando que a redução de Ca nas dietas iniciais não afetou o desempenho e uso dos nutrientes nas fases subsequentes de criação. Isso sugere a alta eficiência na utilização de Ca a baixos níveis na dieta, que pode ser resultado da regulação dos transportadores de Ca quando esse se encontra abaixo da exigência do animal (Li et al., 2012), proporcionando a manutenção do desempenho animal.

Neste estudo, considerando que o Pd não foi limitante, as relações Ca:Pd variaram entre próximo a 2:1 até 1,4:1 nos níveis mais baixos de Ca (Tabela 2) nas diferentes fases. Contudo, esse desequilíbrio não foi suficiente para prejudicar o desempenho dos animais. Relatos de Singh et al. (2013), Lalpanmawia et al. (2014) e Delizie et al. (2015) indicam que a alta relação Ca:P das rações ocasiona alterações principalmente no CR das aves. Isso ocorre tendo em vista a capacidade do Ca em formar complexos insolúveis com P, o que compromete o uso desses minerais pelas aves (Tamim et al., 2004; Selle et al., 2009; Han et al., 2016). Adicionalmente, a redução desses minerais deve ser feita de modo balanceado para o adequado desenvolvimento das aves (Delizie et al., 2012; Akter et al., 2016; Han et al., 2016; Gautier et al., 2017), uma vez que o desequilíbrio entre o Ca e P dietético pode causar danos no desempenho e desenvolvimento ósseo das aves (Li et al., 2012). Isso ficou evidenciado no trabalho de Wilkinson et al. (2014), onde o consumo de uma fonte separada de Ca por frangos de corte foi maior naqueles animais alimentados com baixo nível de cálcio e estreita relação Ca:Pd. (0,91:1), sugerindo que as aves tem a capacidade de regular o consumo pelo nível dietético de Ca para minimizar o desequilíbrio mineral da dieta, mantendo um consumo de Ca:Pd apropriado, desde que possuam uma fonte adicional de Ca disponível.

A fonte de vitamina D não alterou o desempenho das aves nos diferentes períodos avaliados. Bozkurt et al. (2017) também não observaram melhora no GP aos 10, 24 e 38 dias quando utilizaram a 25-OH-D₃ como fonte de vitamina D. Ao contrário do observado nesse

experimento, Yarger et al. (1995) e Fritts & Waldroup (2003) verificaram que o uso de 25-OH-D₃ proporcionou aumento no GP de frangos de corte. Fatores como a dose de vitamina, nível mineral da dieta, genética, idade das aves e condições em que os estudos foram conduzidos podem interferir na magnitude dos resultados observados.

As concentrações séricas de Ca foram menores quando se reduziu os níveis de Ca da dieta em comparação com a ração basal. Esses resultados refletem, provavelmente, a homeostase desse mineral no organismo das aves. Dietas deficientes em Ca ou o aumento da exigência pelo animal resultam em redução nas concentrações plasmáticas de Ca (Proszkowiec-Weglarz & Angel, 2013). No entanto, a fonte de vitamina utilizada não alterou a concentração de Ca no sangue. A concentração de Ca é normalmente mantida dentro de limites estreitos pela regulação hormonal (intestino, rins e ossos), enquanto que as concentrações de P principalmente da função renal, sendo controlada com menor rigor que a de Ca (Sie et al., 1974).

As concentrações de P no sangue não foram alteradas pela redução de Ca da dieta, mantendo seu nível sérico. O nível de Ca da dieta pode influenciar na disponibilidade e consequente absorção de P da dieta, principalmente quando em altos níveis (Driver et al., 2005). Esse padrão de resposta não foi observado neste experimento, uma vez que os níveis de P foram calculados para atender a exigência das aves em todas as fases de criação. Por outro lado, o fato das rações apresentarem níveis reduzidos de Ca, pode ter prevenido a interação com o P no trato gastrointestinal, o que reduziria a disponibilidade desse mineral conforme observado por Plumstead et al. (2008). Contudo, a vitamina D₃ aumentou os níveis de P séricos em comparação a 25-OH-D₃, contrariando os resultados observados por Bozkurt et al. (2017). Estudos tem sugerido que os efeitos da 25-OH-D₃ sobre a utilização de P das dietas (Applegate et al., 2003) não são totalmente claros. Edwards Jr (2002) demonstrou efeito adverso com o uso de 25-OH-D₃ sobre as concentrações plasmáticas de P, conforme verificado no presente estudo. Embora a variação no Ca não tenha interferido no nível plasmático de P, ficou evidente que a redução de 30% de Ca das dietas resultou em diminuição do nível sérico de 25-OH-D₃. Por outro lado, a utilização do metabólito 25-OH-D₃ nas rações resultou em aumento não significativo de 21,3% no valor absoluto do nível sérico desse metabólito. Dessa forma pode afirmar, com base no menor valor absoluto da concentração sérica do 25-OH-D₃ quando se utilizou a vitamina D₃ na ração pode ter ocorrido em razão de um provável aumento da hidroxilação de 25-OH-D₃ em 1,25-(OH)₂-D₃. Esse possível aumento da hidroxilação, em razão da ação positiva do 1,25-(OH)₂-D₃ na

mineralização óssea, estaria consistente com o fato de concentração de P no sangue ter apresentado maior valor absoluto nos animais alimentados com vitamina D₃.

Nenhuma diferença significativa foi observada nas concentrações de FAT e FAO séricas entre as fontes de vitamina D utilizadas nas rações, nem a redução de Ca alterou a atividade dessas enzimas. A fosfatase alcalina total é medida através de sua atividade e corresponde à soma das diversas isoformas (hepática, óssea e intestinal) presentes no soro (Kaplan, 1972; Saraiva & Lazaretti-Castro, 2002), enquanto que a FAO corresponde a isoforma específica do osso envolvida na mineralização óssea. Valores elevados refletem, provavelmente, alterações no metabolismo ósseo. Roberson & Edwards (1994) reportaram que a atividade da FAT não foi influenciada pela adição de fitase quando utilizada em baixos níveis de Ca e alto P em rações para frangos de corte. Esses resultados são suportados pelo trabalho de Nakagi et al. (2013), que concluíram que a maior síntese e expressão dessa enzima é observada em dietas deficientes em fósforo. Adicionalmente, conforme relatado em revisão, Schimidt et al. (2007) sugerem que a elevação de enzimas relacionadas ao metabolismo ósseo demonstra-se mais sensível em animais jovens. Sendo assim, o atendimento das exigências nutricionais de P em todas as fases de criação e o fato das análises sanguíneas terem sido efetuadas aos 42 dias de idade, explica a ausência de variação entre os tratamentos, resultados esses confirmados pela manutenção do P no sangue das aves.

A principal forma de vitamina D circulante no sangue é a 25-OH-D₃, por isso é considerada como o marcador do status vitamínico. Esse metabólito sofre hidroxilação renal para tomar a forma hormonal ativa, 1,25-(OH)₂-D₃ (Soares Jr et al., 1995; Yarger et al., 1995) pela ação da enzima 1 α -hidroxilase, responsável por essa ativação (Christakos et al., 2016). Essa isoforma é altamente regulada pela homeostase de Ca e P, através de hormônios calciotróficos e da forma ativa 1,25-(OH)₂-D₃. Em um estudo recente, Bozkurt et al. (2017) observaram que a suplementação com 25-OH-D₃ eleva o status de vitamina D em frangos de corte em rações que atendem a exigência mineral. Por outro lado, dietas deficientes em Ca, como neste estudo, podem aumentar a demanda de vitamina D, estimulando a ação enzimática nos rins, via paratormônio (PTH), favorecendo a conversão de 25-OH-D₃, o que pode ter levado a redução dos seus níveis séricos com redução de 30% da exigência de Ca na dieta.

A mineralização óssea é considerada uma importante resposta na determinação da exigência de minerais como Ca e P. Os resultados encontrados nesse experimento indicam que a redução do Ca dietético prejudica as características ósseas dos frangos. Essa redução prejudicou não só a deposição de Ca, mas também a mineralização óssea, observada com a

menor quantidade de cinzas ósseas (-5,4%) nos animais que receberam rações com 30% de redução de Ca em comparação ao controle. Gautier et al. (2017) observaram redução no conteúdo total de cinzas quando reduziram em 60% o teor de Ca da dieta de frangos no período inicial de crescimento (2-23d). Por outro lado, Rousseau et al. (2016) não verificaram efeito da redução de Ca em 40 e 46% nas fases de 10-22d e 23-35d de idade, respectivamente, sobre o conteúdo de cinzas ósseas. Assim, com os resultados das concentrações dos minerais nas cinzas, ficou evidenciado que a manutenção na deposição óssea pareceu prioritária à sua manutenção do nível de Ca no plasma, uma vez que, a redução de Ca das dietas e a consequente redução de Ca plasmática não influenciaram os níveis plasmáticos e ósseos de P. Adicionalmente, tem sido verificada que níveis acima da exigência (Akter et al.; 2016) e altas relações Ca:P das dietas (Gautier et al.; 2017) interferem negativamente na homeostase desses minerais, direcionando a queda na qualidade óssea.

Quanto à relação Ca:P observada nas tíbias das aves, se verificou interação entre as fontes de vitamina D e a redução dos níveis de Ca, onde o uso da vitamina D₃ não alterou a relação Ca:P nos ossos, enquanto que com o uso de 25-OH-D₃ a relação foi influenciada nos níveis de 20 e 30% de redução. Embora não tenha alterado a deposição de Ca entre as fontes de vitamina, o menor absoluto da concentração de Ca nas cinzas dos ossos das aves alimentadas com 25-OH-D₃ mesmo não sendo significativo, foi suficiente para alterar a proporção Ca:P depositada nos ossos, ficando evidenciado que a redução da relação depositada nos maiores níveis de restrição com a utilização de 25-OH-D₃ como fonte de vitamina ocorreu em razão do comprometimento da deposição de Ca e consequentemente na cinza. Essa hipótese se confirma com os resultados obtidos de concentração de Ca e cinzas nas tíbias dos frangos.

Assim, ficou evidenciado que a redução de 30% de Ca na dieta comprometeu a concentração de cinzas ósseas e consequentemente a resistência dos ossos à quebra. Esse comprometimento da RO, entre outros fatores, pode resultar em aumento do número de lesões de perna de frangos de corte (Wilkinson et al., 2011) no manejo pré-abate e das condenações de carcaça em abatedouros.

Foi observado que a retirada de Ca das rações a partir de 10% reduziu a concentração desse mineral nas excretas das aves. Por outro lado, houve aumento da retenção mineral ao nível de 30% de redução na dieta. A maior na retenção de Ca das rações quando níveis sub-ótimos são adicionados à dieta tem sido demonstrada como uma resposta adaptativa dos frangos (Rousseau et al., 2016) através do aumento da digestibilidade (Wilkinson et al., 2014) e

consequente absorção, modulada pela maior expressão de transportadores intestinais. A fonte de vitamina das rações foi determinante na retenção de Ca e P nos frangos, sendo que a forma D₃ apresentou melhores resultados para ambas as variáveis. Nesse sentido fica claro que tanto Ca quanto P compartilham um mecanismo regulatório comum, mediado possivelmente pela 1,25-(OH)₂-D₃. Enquanto que o aumento da retenção de P pode ser a causa dos maiores valores de P observados no sangue, a maior retenção de Ca não foi suficiente para manter as concentrações sanguíneas e a deposição óssea nos animais que receberam níveis mais baixos de Ca nas rações.

Nesse sentido pode-se constatar que a utilização de Ca pelos animais é prioridade para crescimento em detrimento a deposição óssea. A diferente resposta entre desempenho e características ósseas é explicada pela maior exigência de Ca e P para o osso do que para o crescimento de tecidos moles (Larbier & Leclercq, 1992) uma vez que aproximadamente 99% e 80% de Ca e P da composição corporal dos animais são encontrados no tecido ósseo, respectivamente.

Conforme observado na tabela 9, as características de carcaça não foram alteradas pelas variáveis avaliadas. Nesse sentido, a deposição de tecido muscular foi mantida mesmo em dietas deficientes em Ca, conforme constatado, pela manutenção de GP, o que pode explicar a ausência de variação nos rendimentos dos cortes nobres e no rendimento de carcaça. A fonte vitamínica não foi determinante em apresentar alterações na carcaça e cortes nobres dos frangos de corte aos 42 dias. Contudo, o trabalho de Vignale et al. (2015) demonstrou que a 25-OH-D₃ pode melhorar o rendimento de músculo peitoral em frangos, através do estímulo via mTor. O fato da dosagem de vitamina D ter sido similar entre as fontes pode ter limitado a possível ação sobre a deposição muscular.

A capacidade de retenção de água (CRA) é uma análise importante na determinação da qualidade da carne, pois afeta a aparência e o rendimento do produto. As PGO, PDE e PCO são meios de mensurar a CRA. No presente estudo, a qualidade da carne foi alterada apenas quando houve mudanças no teor de Ca das dietas. Foram observados menores PDE e PCO com a redução dos níveis de Ca das dietas. Por outro lado a fonte de vitamina não alterou nenhuma das perdas, diferente dos resultados observados por Bozkurt et al. (2017) que verificaram que o uso de 25-OH-D₃ reduziu as perdas por cocção do peito de frangos. As maiores perdas observadas neste estudo podem estar associadas, entre outros fatores, ao maior conteúdo de Ca das rações. Embora a concentração de Ca intramuscular dificilmente seja alterada e não tenha sido avaliada no presente estudo, este pode alterar a proteólise muscular

post mortem. O aumento de Ca^{2+} sarcoplasmático é responsável por agir ativando o metabolismo muscular e acelerando a produção de lactato e subsequente acúmulo no músculo *post mortem* (Barbut et al., 2008), alterando a capacidade das proteínas musculares em reter água. Essa modificação, por sua vez pode afetar a ação do complexo enzimático calpaína-calpastatina e, conseqüentemente, a CRA.

Em relação à coloração, os valores de L^* e a^* não foram alterados, contudo, observaram-se menores valores de b^* com a redução do teor de Ca das dietas. Maiores perdas de água refletem também na redução de pigmentos na carne (Çelen et al., 2016), o que pode estar associado aos resultados observados quando os níveis de Ca foram próximos da exigência. Ao contrário, quando a redução foi de 30% no teor de Ca das dietas, os valores observados de b^* foram menores.

Contudo, vale ressaltar que os dados obtidos não refletem anomalias na qualidade final da carne, como a carne PSE (pálida, mole e exudativa), uma vez que não foi observada variação nos valores de coloração de L^* e no pH das carnes. Nesse sentido, dada a falta de literatura sobre tais avaliações, sugerem-se mais estudos sobre como o nível de Ca da dieta pode estar ligado a essas modificações qualitativas da carne de frangos.

Em suma, a redução de Ca em até 30% da exigência não prejudica o desempenho de frangos de corte e não altera as características de carcaça. O aumento da retenção de Ca quando níveis de redução foram maiores, não foi suficiente para manter a homeostase sanguínea dos frangos, conseqüentemente prejudicando a qualidade óssea. A qualidade da carne demonstrou ser afetada pelo nível de redução de Ca da dieta. A fonte de vitamina utilizada não interferiu sobre o desempenho, características de carcaça e qualidade da carne, entretanto a concentração sérica de P é maior com o uso de D_3 . Sendo assim, pode-se inferir com base nos resultados de desempenho, sangue e ossos, que as variáveis de desempenho não são adequadas para determinar a exigência real de Ca, uma vez que como é uma prioridade manter o desempenho, ocorre mobilização mineral do osso, o que pode comprometer a qualidade de carcaça das aves.

REFERÊNCIAS

- ABDOLLAHI, M.R.; VAN DALEN, A.B.J.; HENDRIKS, W.H.; RAVINDRAN, V. 2015. Influence of separate feeding of calcium on nutrient digestibility, energy utilisation and performance of young broilers fed pelleted wheat-based diets. **Animal Feed Science and Technology**, 205:122-130.
- AKTER, M.; GRAHAM, H.; IJI, P.A. 2016. Response of broiler chickens to different levels of calcium, non-phytate phosphorus and phytase. **British Poultry Science**, 57:799-809.
- APPLEGATE, T.J.; ANGEL, R.; CLASSEN, H.L. 2003. Effect of dietary calcium, 25-hydroxycholecalciferol, or bird strain on small intestinal phytase activity in broiler chickens. **Poultry Science**, 82:1140-1148.
- ARNOLD, J.; MADSON, D.M.; ENSLEY, S.M.; GOFF, J.P.; SPARKS, C.; STEVENSON, G.W.; CRENSHAW, T.; WANG, C.; HORST, R.L. 2015. Survey of serum vitamin D status across stages of swine production and evaluation of supplemental bulk vitamin D premixes used in swine diets. **Journal of Swine Health and Production**, 23:28-34.
- BARBOSA, A.A.; MORAES, G.H.K.; TORRES, R.A.; REIS, T.C.R.; RODRIGUES, C.S.; MÜLLER, E.S. 2010. Avaliação da qualidade óssea mediante parâmetros morfométricos, bioquímicos e biomecânicos em frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 39:772-778.
- BARBUT, S.; SOSNICKI, A.A.; LONERGAN, S.M.; KNAPP, T.; CIOBANU, D.C.; GATCLIFFE, L.J.; HUFF-LONERGAN, E.; WILSON, E.W. 2008. Progress in reducing the pale, soft and exudative (PSE) problem in pork and poultry meat. **Meat Science**, 79:46-63.
- BOZKURT, M.; YALÇIN, S.; KOÇER, B.; TÜZÜN, A.E.; AKŞIT, H.; ÖZKAN, S.; UYGUN, M.; EGE, G.; GÜVEN, G.; YILDIZ, O. 2017. Effects of enhancing vitamin D status by 25-hydroxycholecalciferol supplementation, alone or in combination with calcium and phosphorus, on sternum mineralisation and breast meat quality in broilers. **British Poultry Science**, DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00071668.2017.1327703>.
- BUFFINGTON, D. E.; COLAZZO-AROCHO, A.; CANTON, G.H.; PITT, D.; THATCHER, W.W.; COLLIER, R.J. 1981. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transaction of the ASAE**, 24:711-714.
- ÇELEN, M.F.; SÖĞÜT, B.; ZORBA, Ö.; DEMIRULUS, H.; TEKELİ, A. 2016. Comparison of normal and PSE turkey breast meat for chemical composition, pH, color, myoglobin, and drip loss. **Brazilian Journal of Animal Science**, 45:441-444.
- CHRISTAKOS, S.; DHAWAN, P.; VERSTUYF, A.; VERLINDEN, L.; CARMELIET, G. 2016. Vitamin D: metabolism, molecular mechanism of action, and pleiotropic effects. **Physiology Review**, 96:365-408.
- COBB-VANSTRESS. **Manual de manejo de frangos de corte cobb**. Guapiaçu, SP: Cobb-Vantress Brasil, 2008. 66p.
- DELIZIE, E.; MAERTENS, L.; HUYGHEBAERT, G. 2012. Consequences of phosphorus interactions with calcium, phytase, and cholecalciferol on zootechnical performance and mineral retention in broiler chickens. **Poultry Science**, 91:2523-2531.
- DELIZIE, E.; BIERMAN, K.; NOLLET, L.; MAERTENS, L. 2015. Impacts of calcium and phosphorus concentration, their ratio, and phytase supplementation level on growth performance, foot pad lesions and hock burn of broiler chickens. **Journal of Applied Poultry Research**, 24:115-126.

- DRIVER, J.P.; PESTI, G.M.; BAKALLI, R.I.; EDWARDS, H.M. 2005. Effects of calcium and nonphytate phosphorus concentrations on phytase efficacy in broiler chicks. **Poultry Science**, 84:1406-1417.
- EDWARDS JR, H.M. 2002. Studies on the efficacy of cholecalciferol and derivatives for stimulating utilization in broilers. **Poultry Science**, 81:1026-1031.
- FRITTS, C.A.; WALDROUP, P.W. 2003. Effect of source and level of vitamin D on live performance and bone development in growing broilers. **Journal of Applied Poultry Research**, 12:45-52.
- GAUTIER, A.E.; WALK, C.L.; DILGER, R.N. 2017. Influence of dietary calcium concentrations and the calcium-to-non-phytate phosphorus ratio on growth performance, bone characteristics, and digestibility in broilers. **Poultry Science**, 8:2795-2803.
- HAMDI, M.; LÓPEZ-VERGÉ, S.; MANZANILLA, E.G.; BARROETA, A.C.; PÉREZ, J.F.; 2015. Effect of different levels of calcium and phosphorus and their interaction on the performance of young broilers. **Poultry Science**, 94:2144-2151.
- HAN, J.C.; QU, H.X.; WANG, J.Q.; YAO, J.H.; ZHANG, C.M.; YANG, G.L.; CHENG, Y.H.; DONG, X.S. 2013. The effects of dietary cholecalciferol and 1 α -hydroxycholecalciferol levels in a calcium and phosphorus deficient diet on growth performance and tibia quality of growing broilers. **Journal of animal and Feed Sciences**, 22:158-164.
- HAN, J.; WANG, J.; CHEN, G.; QU, H.; ZHANG, J. SHI, C.; YAN, Y.; CHENG, Y. 2016. Effects of calcium to non-phytate phosphorus ratio and different sources of vitamin D on growth performance and bone mineralization in broiler chickens. **Brazilian Journal of Animal Science**, 45:1-7.
- KAPLAN, M.M. 1972. Alkaline phosphatase. **Gastroenterology**, 62:452-468.
- LARBIER, M.; LECLERCQ, B. 1992. Nutrition et alimentation des volailles. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris.
- LALPANMAWIA, H.; ELANGOVA, A.V.; SRIDHAR, M.; SHET, D.; AJITH, S.; PAL, D.T. 2014. Efficacy of phytase on growth performance, nutrient utilization and bone mineralization in broiler chicken. **Animal Feed Science and Technology**, 192:81-89.
- LI, J.; YUAN, J.; GUO, Y.; SUN, Q.; HU, X. 2012. The influence of dietary calcium and phosphorus imbalance on intestinal NaPi-IIb and calbindin mRNA expression and tibia parameters of broilers. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, 25:552-558.
- MEDEIROS, C.M.; BAÊTA, F.C.; OLIVEIRA, R.F.M., TINÔCO, I.F.F.; ALBINO, L.F.T.; CECON, P.R. 2005. Efeito da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. **Engenharia na Agricultura**, 13:277-286.
- MELLO, H.H.D.; GOMES, P.C.; ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; ROCHA, T.C.; ALMEIDA, R.L.; CALDERANO, A.A. 2012. Dietary requirements of available phosphorus in growing broiler chickens at a constant calcium:available phosphorus ratio. **Brazilian Journal of Animal Science**, 41:3432-3439.
- MÜLLER, E.S.; BARBOSA, A.A.; MORAES, G.H.K.; VIEITES, F.M.; ARAÚJO, G.M. 2012. Parâmetros químicos, bioquímicos e mecânicos de fêmures de frangos de corte submetidos a diferentes balanços eletrolíticos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 41:1454-1462.
- NAKAGI, V.S.; AMARAL, C.M.C.; STECH, M.R.; LIMA, A.C.F.; HARNICH, F.A.R.; LAURENTIZ, A.C.; PIZAURRO JUNIOR, J.M. 2013. Acid and alkaline phosphatase activity in broilers chicks fed

- with different levels of phytase and non-phytate phosphorus. **Journal of Applied Animal Research**, 41:229-233.
- PLUMSTEAD, P.W.; LEYTEM, A.B.; MAGURE, R.O.; SPEARS, J.W.; KWANYUEN, P.; BRAKE, J. 2008. Interaction of calcium and phytate in broiler diets: 1. Effects on apparent prececal digestibility and retention of phosphorus. **Poultry Science**, 87:449-458.
- PROSZKOWIEC-WEGLARZ, M.; ANGEL, R. 2013. Calcium and phosphorus metabolism in broilers: Effect of homeostatic mechanism on calcium and phosphorus digestibility. **Journal of Applied Poultry Research**, 22:609-627.
- RAO, S.V.R.; RAJU, M. V. L. N.; REDDY, M. R.; PAVANI, P. 2006. Interaction between dietary calcium and non-phytate phosphorus levels on growth, bone mineralization and mineral excretion in commercial broilers. **Animal Feed Science and Technology**, 131:135-150.
- ROBERSON, K.D.; EDWARDS JR, H.M. 1994. Effects of 1,25-dihydroxycholecalciferol and phytase on zinc utilization in broiler chicks. **Poultry Science**, 73:1312-1326.
- ROUSSEAU, X.; VALABLE, A-S.; LÉTOURNEAU-MONTMINY, M-P.; MÊME, N.; GODET, E.; MAGNIN, M.; NYS, Y.; DUCLOS, M.J.; NARCY, A. Adaptive response of broilers to dietary phosphorus and calcium restrictions. **Poultry Science**, 95:2849-2860.
- 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.; EUCLIDES, R. F. 2011. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2011. 252p.
- SANTOS, P.A.; BAÊTA, F.C.; TINÔCO, I.F.F.; ALBINO, L.F.T.; CECON, P.R. 2009. Avaliação dos sistemas de aquecimento a gás e a lenha para frangos de corte. **Revista Ceres**, 56:9-17.
- SARAIVA, G.L.; LAZARETTI-CASTRO, M. 2002. Marcadores bioquímicos da remodelação óssea na prática clínica. **Arquivo Brasileiro de Endocrinologia & Metabologia**, 46:72-78.
- SAS Institute. 2012. Version 10.0.2. SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA.
- SCHMIDT, E.M.S.; LOCATELI-DITRICH, R.; SANTIN, E.; PAULILLO, A.C. 2007. Patologia clínica em aves de produção - Uma ferramenta para monitorar a sanidade avícola - Revisão. **Archives of Veterinary Science**, 12:9-20.
- SELLE, P.H.; COWIESON, A.J.; RAVINDRAN, V. 2009. Consequences of calcium interactions with phytate and phytase for poultry and pigs. **Livestock Science**, 124:126-141.
- SIE, T.L.; DRAPER, H.H.; BELL, R.R. 1974. Hypocalcemia, hyperparathyroidism and bone resorption in rats induced by dietary phosphate. **Journal of Nutrition**, 104:1195-1201.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002, 235p.
- SINGH, A.; WALK, C.L.; GHOSH, T.K.; BEDFORD, M.R.; HALDAR, S. 2013. Effect of a novel microbial phytase on production performance and tibia mineral concentration in broiler chickens given low-calcium diets. **British Poultry Science**, 54:206-215.
- SHAFEY, T.M.; MCDONALD, M.W.; PYM, R.A.E. 1990. Effects of dietary calcium, available phosphorus and vitamin d on growth rate, food utilisation, plasma and bone constituents and calcium and phosphorus retention of commercial broiler strains. **British Poultry Science**, 31:587-602.

- SOARES JR, J.H.; KERR, J.M.; GRAY, R.W. 1995. 25-Hydroxycholecalciferol in poultry nutrition. **Poultry Science**, 74:1919-1934.
- TAMIM, N.M.; ANGEL, R.; CHRISTMAN, M. 2004. Influence of dietary calcium and phytase on phytate phosphorus hydrolyses in broiler chicken. **Poultry Science**, 83:1358-1367.
- VALÉRIO, S.R.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; ALBINO, L.F.T.; ORLANDO, U.A.D.; VAZ, R.G.M.V. 2003. Níveis de lisina digestível em rações, em que se manteve ou não a relação aminoacídica, para frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, mantidos em estresse por calor. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 32:361-371.
- VIGNALE, K.; GREENE, E.S.; CALDAS, J.V.; ENGLAND, J.A.; BOONSINCHAI, N.; SODSEE, P.; POLLOCK, E.D.; DRIDI, S.; COON, C.N. 2015. 25-hydroxycholecalciferol enhances male broiler breast meat yield through the mTor pathway. **The Journal of Nutrition**, 145:855-863.
- WARRIS, P.D. 2010. The effects of live animal handling on carcass and meat quality. In: **Meat Science: An introductory Text**. p.97-113.
- WILKINSON, S.J.; SELLE, P.H.; BEDFORD, M.R.; COWIESON, A.J. 2011. Exploiting calcium-specific appetite in poultry nutrition. **Worlds Poultry Science Journal**, 67:587-598.
- WILKINSON, S.J.; BRADBURY, E.J.; BEDFORD, M.R.; COWIESON, A.J. 2014. Effect of dietary nonphytate phosphorus and calcium concentration on calcium appetite of broiler chicks. **Poultry Science**, 93:1695-1703.
- YARGER, J.G.; SAUNDERS, C.A.; MCNAUGHTON, J.L.; QUARLES, C.L.; HOLLIS, B.W.; GRAY, R.W. 1995. Comparasion of dietary 25-hydroxicholecalciferol and cholecalciferol in broiler chickens. **Poultry Science**, 74:1159-1167.
- YAN, F.; WALDROUP, P.W. 2006. Nonphytate phosphorus requirment and phosphorus excretion of broiler chicks fed diets composed of normal or high available phosphate corn as influencied by phytase supplementation and vitamin D source. **International Journal of Poultry Science**, 5:219-228.

**ARTIGO 2. REDUÇÃO DE CÁLCIO MANTENDO A RELAÇÃO COM O FÓSFORO
DISPONÍVEL EM RAÇÕES SUPLEMENTADAS COM VITAMINA D₃ OU 25-OH-D₃
PARA FRANGOS DE CORTE**

Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.

Correspondência ao autor: tarciso@zootecnista.com.br

RESUMO: Um experimento foi realizado com o objetivo de foi verificar a resposta dos animais à redução de Ca das rações com diferentes fontes de vitamina D sobre o desempenho, deposição mineral óssea, concentrações séricas, digestibilidade e características de carcaça e qualidade da carne de frangos de corte no período de 1 a 42 dias criados em ambiente termoneutro. Foram utilizados 504 frangos de corte com 1 dia de idade e peso médio de $44,23 \pm 1,24$ g alojados em câmaras climáticas e distribuídos em delineamento inteiramente casualizado. O estudo consistiu em um fatorial 4 x 2, sendo quatro níveis de redução de Ca (0; 10; 20 e 30%) e Pd (mantendo a relação 2,1:1) e duas fontes de vitamina D (2760 UI/kg de ração de D₃ ou 25-OH-D₃). O desempenho dos frangos aos 21 dias, não foi prejudicado pela redução de Ca e Pd. Entretanto houve interação sobre o GP das aves aos 42 dias. A redução mineral piorou a CA das aves aos 42 dias. A redução dietética dos minerais em 20 e 30% reduziu as concentrações séricas de Ca e P no sangue. A FST sérica maior que com o uso de D₃ e com níveis intermediários de redução. As concentrações séricas de 25-OH-D₃ sofreram interação entre os fatores estudados. A redução em 30% diminuiu o rendimento de carcaça dos frangos e a vitamina D₃ proporcionou maior rendimento de coxa. A fonte de vitamina não interferiu na qualidade da carne, enquanto que a redução de Ca da dieta provocou menores perdas por gotejamento. Conclui-se que a redução de Ca mantendo a relação Ca:Pd não prejudica o desempenho aos 21 dias, mas piora a CA e GP das aves aos 42 dias de idade, altera os parâmetros séricos, rendimento de carcaça e perda por gotejamento. e as características de carcaça. A suplementação de vitamina em 2760 UI/kg em ambas as fontes exerce pouca influência sobre os parâmetros avaliados.

Palavras-chave: desempenho, digestibilidade, mineralização óssea, qualidade da carne

INTRODUÇÃO

O cálcio (Ca) é um nutriente essencial ao organismo, participando de diversas funções bioquímicas e da formação óssea. Seu metabolismo está estritamente ligado ao do fósforo (P), e suas exigências são consideradas interdependentes (Mello et al., 2012). Vários trabalhos tem procurado demonstrar os efeitos da adição de Ca em condições de excesso ou deficiência sobre o desempenho (Hamdi et al., 2015), digestibilidade (Wilkinson et al., 2014), qualidade óssea (Fritts & Waldroup, 2003) e qualidade da carcaça (Driver et al, 2006). Contudo, as respostas por muitas vezes são dependentes da magnitude de redução de Ca e P das dietas. Sendo assim, muitas pesquisas preconizam a relação dietética de Ca:Pd em aproximadamente 2:1, uma vez que relações desequilibradas podem prejudicar a utilização desses minerais pelos animais. A redução da quantidade de Ca em dietas para frangos de corte pode melhorar o desempenho e a disponibilidade de nutrientes (Wilkinson et al., 2014).

A vitamina D é necessária para a absorção intestinal, transporte sanguíneo e eficiente metabolismo de cálcio e fósforo (Gómez-Verduzco et al., 2013). Sua suplementação é usual em dietas para animais criados intensivamente, sem a presença de luz solar, necessária para que a síntese endógena dessa vitamina (Arnold et al., 2015). A forma mais comum de adição às rações é a colecalciferol (D_3), no entanto, diversos estudos tem sugerido a utilização de metabólitos como fonte dessa vitamina (Fritts & Waldroup, 2003; Han et al., 2013; Han et al., 2016). Após absorção a D_3 é transportada para o fígado onde sofre uma hidroxilação na posição 25, resultando na 25-OH- D_3 . Essa é a principal forma circulante no sangue, sendo, portanto utilizada como marcador do status de vitamina D dos animais. Contudo para se tornar ativa essa isoforma necessita de mais uma hidroxilação, a qual ocorre nos rins, na posição 1, originando assim a forma hormonal, metabolicamente ativa 1,25-(OH) $_2$ - D_3 .

Nesse sentido, pesquisas com 25-OH- D_3 tem sido propostas para avaliar a suplementação total ou parcial dessa vitamina, com possíveis benefícios no desempenho, mineralização óssea e utilização de Ca e P das dietas. Por outro lado, poucos estudos tem avaliado a redução de Ca e Pd da dieta com diferentes fontes de vitamina D sobre características de carcaça e qualidade da carne de frangos.

O objetivo com este trabalho foi verificar a resposta dos animais à redução de Ca e Pd das rações (mantendo a relação Ca:Pd) com diferentes fontes de vitamina D sobre o desempenho, deposição mineral óssea, concentrações plasmáticas, digestibilidade e características de carcaça e qualidade da carne de frangos de corte no período de 1 a 42 dias criados em ambiente termoneutro.

MATERIAL E MÉTODOS

Um experimento foi conduzido no Laboratório de Bioclimatologia Animal do Departamento de Zootecnia, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, Brasil.

Todos os procedimentos experimentais adotados foram aprovados pelo Comitê de Ética para Uso de Animais de Produção (CEUAP/UFV), sob o processo nº 44/2014 estando de acordo com os princípios éticos da experimentação animal, estabelecido pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal - CONCEA e com a legislação vigente.

Alojamento, animais e dietas experimentais

Foram utilizados 504 pintos de 1 dia Cobb 500 com peso médio $44,23 \pm 1,24$ g, alojados em câmaras climáticas com temperatura média e umidade relativa seguindo as recomendações técnicas da linhagem.

As aves foram distribuídas em delineamento experimental inteiramente casualizado, com oito tratamentos, em arranjo fatorial 2x4 (duas fontes de vitamina D: Vitamina D₃ ou 25(OH)D₃ (Hy-D®) x quatro níveis de cálcio - 100, 90, 80 e 70% da recomendação das TBAS (2011) para as fases de 1 a 7, 8 a 21, 22 a 33, 34 a 42 dias de idade (Tabela 1 e 2), com seis repetições e nove aves por unidade experimental. As rações experimentais e a água foram fornecidas *ad libitum* durante todo o período experimental.

As diferentes fontes de vitamina D foram incluídas nas rações juntamente ao premix mineral-vitamínico, fornecendo 2.760 UI de vitamina (D₃ ou 25-OH-D₃).

Durante o período experimental foi realizado monitoramento e registro das câmaras através dos termômetros de bulbo seco, bulbo úmido e de globo negro. Os dados foram posteriormente convertidos no Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU) proposto por Buffington et al. (1981), para caracterizar o ambiente (Tabela 3). O programa de luz foi contínuo com 24 horas de luz artificial.

Ao final do período experimental (aos 42 dias de idade), três aves de cada unidade experimental com o peso mais próximo da média da gaiola (10% acima ou abaixo da média) foram utilizadas para as posteriores análises.

Dessa forma, duas aves por unidade experimental foram colocadas em jejum alimentar de 12 horas e pesadas. Após esse período, essas aves foram encaminhadas ao abatedouro, onde foram insensibilizadas via eletronarcose (com corrente elétrica de 60 V)

abatidas por sangria mediante o corte da artéria jugular, segundo preconizado pela Instrução Normativa N°3 (MAPA, 2000), e após serem escaldadas e depenadas, foram evisceradas e as carcaças pesadas para avaliação do rendimento da carcaça e dos cortes; ao passo que uma ave da unidade experimental foi utilizada para as análises de qualidade de carne e coleta de sangue e tibia.

Desempenho

Ao final de cada fase (7, 21, 33 e 42 dias) o consumo de ração foi calculado pela diferença entre o total de ração fornecido e as sobras de ração dos comedouros e do piso das salas.

As aves foram pesadas no início e ao término do período experimental, para a determinação do ganho de peso dos animais.

A conversão alimentar foi calculada dividindo-se o consumo de ração pelo ganho de peso corporal acumulado no período total.

Análises ósseas

Para a determinação das concentrações dos minerais – cálcio e fósforo foi utilizada a tibia esquerda de cada ave, descarnada seca em estufa (105°C) Posteriormente, foram calcinados em mufla (600°C) por um período de seis horas para a mensuração dos teores de cinzas e preparo de solução mineral, seguindo-se a metodologia de Silva & Queiroz (2002).

A determinação dos teores de cálcio foi realizada por espectrometria de absorção atômica, e o fósforo dos ossos foi determinado por colorimetria.

Os valores dos minerais foram expressos em termos de porcentagem de cinzas em relação ao peso do osso seco e desengordurado (Barbosa et al., 2010; Müller et al., 2012), e a relação cálcio: fósforo (Ca:P), foi obtida dividindo-se a porcentagem de cálcio pela de fósforo nas cinzas.

As análises de resistência óssea (RO) foram efetuadas utilizando o fêmur esquerdo de cada ave. Os fêmures foram apoiados pelas extremidades em suportes e a carga foi aplicada no centro de cada osso (região da diáfise) a uma velocidade constante de 10mm/min. Os resultados foram expressos em Kg/cm² referente a força máxima para a ruptura de cada osso.

Excreção Mineral

Foi efetuada uma coleta total de excretas no período de 30 a 33 dias de idade das aves para a estimativa da excreção mineral (Ca e P). Os animais foram mantidos alojados em gaiolas

contendo bandejas metálicas recobertas com plástico para coleta. A coleta total foi efetuada duas vezes ao dia (7:00 e 18:00h) e o material coletado foi armazenado em sacos plásticos devidamente identificados e acondicionados em refrigerador. Ao final do período de coleta as excretas foram homogeneizadas e uma alíquota de aproximadamente 300g foi retirada e submetida à secagem parcial em estufa durante 72 h em temperatura de 60°C. Após processadas as excretas foram encaminhadas para um laboratório especializado em Mayrinque/SP. Para cálculo do coeficiente de retenção foram contabilizados o consumo de ração e o total de excretas do período. A retenção mineral (%) foi obtida através da fórmula $RM = ((\text{ingestão mineral} - \text{excreção mineral}) / \text{ingestão mineral}) \times 100$.

Tabela 1. Composição das dietas experimentais na matéria natural

Ingredientes	Dietas experimentais - período			
	1-7 d	8-21 d	22-33 d	34-42 d
Milho (7,88%)	47,888	52,823	55,354	59,144
Farelo de soja (45%)	43,753	38,713	35,507	32,072
Óleo de soja	3,768	4,200	5,208	5,209
Fosfato bicálcico	1,842	1,567	1,393	1,123
Calcário	0,928	0,925	0,837	0,778
Inerte	0,100	0,100	0,100	0,100
Sal comum	0,508	0,483	0,458	0,445
L-Lisina HCl (78,5%)	0,141	0,157	0,147	0,160
DL-Metionina (99%)	0,327	0,292	0,270	0,245
L-Treonina (98,5%)	0,050	0,045	0,031	0,029
Mistura Mineral-Vitamínica ¹	0,500	0,500	0,500	0,500
Cloreto de Colina (60%)	0,125	0,125	0,125	0,125
Antioxidante	0,010	0,010	0,010	0,010
Anticoccidiano	0,050	0,050	0,050	0,050
Promotor de Crescimento	0,010	0,010	0,010	0,010
Total	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição Calculada ²				
Energia Metabolizável, kcal/kg	2960	3050	3150	3200
Proteína Bruta, %	23,92	22,02	20,74	19,48
Lisina Digestível, %	1,324	1,217	1,131	1,060
Metionina+cistina digestível, %	0,953	0,876	0,826	0,774
Treonina Digestível, %	0,861	0,791	0,735	0,689
Sódio, %	0,220	0,210	0,200	0,195

1 Composição mínima por Kg de ração: Cobre: 8,6 mg carbo-amino-fosfoquelato de cobre; Ferro: 43,7 mg carbo-amino-fosfoquelato de ferro; Manganês: 56,4 mg carbo-amino-fosfoquelato de manganês; Selênio: 0,34 mg carbo-amino-fosfoquelato de Selênio; Zinco: 43,7 mg carbo-amino-fosfoquelato de Zinco; Vitamina A: 8250 UI; Vitamina E: 31 UI; Vitamina K3: 1,65 mg; Vitamina B1: 2,2 mg; Vitamina B2: 5,5 mg; Vitamina B6: 3,08 mg; Vitamina B12: 13 µg; Ácido Fólico: 2,5mg; Ácido Nicotínico: 33 mg; Ácido Pantotênico: 11,03 mg; Biotina: 0,8 mg; Colina: 33 mg; Vitamina D: 2760 UI como Vitamina D3 ou 25(OH)D3

2 Calculada através da composição de alimentos das Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (2011)

Qualidade da carne e características de carcaça

Foi avaliado o rendimento (%) das carcaças evisceradas e dos cortes nobres (peito, coxa e sobrecoxa) dos frangos aos 42 dias de idade. Na determinação do rendimento, foi considerado o peso da carcaça limpa e eviscerada, com pés e cabeça em relação ao peso vivo em jejum. Para os cortes nobres, os cálculos dos rendimentos foram feitos em relação ao peso da carcaça eviscerada.

O pH inicial (15min *post mortem*) e final (24h *post mortem*) foram tomados utilizando peagâmetro manual Testo 205.

Para a avaliação da coloração da carne de peito foi utilizado um colorímetro da marca Konica Minolta modelo CR300. Foram avaliadas as características **L*** (luminosidade– nível de escuro a claro), **a*** (intensidade de vermelho/verde) e **b*** (intensidade de amarelo/azul), em cinco diferentes regiões do músculo do peito (*Pectoralis major*) 24h *post mortem*.

Tabela 2. Composição calculada de Ca, P, Pd e relação Ca:Pd das rações experimentais

	Redução de Ca e Pd (Mantendo a relação Ca:Pd)			
	0 %	10 %	20 %	30 %
Ca, 1-7 d (%)	0,920	0,828	0,736	0,644
P, 1-7 d (%)	0,706	0,648	0,591	0,533
Pd, 1-7 d (%)	0,470	0,422	0,376	0,329
Relação Ca:Pd	1,96	1,96	1,96	1,96
Ca, 8-21 d (%)	0,841	0,757	0,672	0,588
P, 8-21 d (%)	0,639	0,587	0,538	0,486
Pd, 8-21 d (%)	0,401	0,360	0,320	0,280
Relação Ca:Pd	2,10	2,10	2,10	2,10
Ca, 22-33 d (%)	0,758	0,682	0,606	0,530
P, 22-33 d (%)	0,595	0,548	0,502	0,455
Pd, 22-33 d (%)	0,354	0,319	0,283	0,248
Relação Ca:Pd	2,14	2,14	2,14	2,14
Ca, 34-42 d (%)	0,663	0,596	0,530	0,464
P, 34-42 d (%)	0,535	0,493	0,453	0,416
Pd, 34-42 d (%)	0,309	0,277	0,247	0,216
Relação Ca:Pd	2,15	2,15	2,15	2,15

Os tratamentos foram obtidos através da retirada de calcário e fosfato bicálcico e adição de inerte.

Para avaliação da perda por Gotejamento (PGO) foi utilizado uma alíquota de 80-100g do músculo do peito. As amostras foram suspensas em câmara frigorífica durante 48h. O peso inicial e final foi obtido para cálculo da porcentagem de perda.

A perda por descongelamento (PDE) foi obtida através da diferença de peso do músculo congelado e após descongelamento. As amostras de peito foram descongeladas durante 16 h em geladeira a aproximadamente 8°C.

Após descongelados e pesados, os peitos foram embalados a vácuo e submetidos a cocção em banho-maria à 70°C durante 30 min. Logo em seguida foram resfriadas, secas e pesadas para obtenção da perda de peso por cocção (PCO).

A análise de força de cisalhamento (CIS) foi realizada com as mesmas amostras utilizadas para PCO. Os peitos foram cortados paralelamente as fibras musculares em cinco retângulos (1,0 x 1,0 x 1,3 cm) e submetidas a força mecânica utilizando um texturômetro TAXT2i, acoplado com a probe *Warner-Bratzler Shear Force* – com capacidade de 20 kg e velocidade do seccionador de 20 cm/minuto, fornecendo a medida CIS da amostra, em quilograma força (kgf.cm⁻²).

Análises sanguíneas

As coletas de sangue foram realizadas por meio de punção da veia braquial com uso de seringa e agulha com anticoagulante (heparina), sendo coletado 5mL de sangue de uma ave por repetição. Após a coleta, o plasma foi extraído através da centrifugação por 3.000 rpm por 10 minutos, em seguida foi transferido para criotubos e imediatamente congelados a temperatura de -18°C para a realização das análises de fósforo, cálcio, fosfatase alcalina total (FST) e fosfatase alcalina óssea (FAO) e 25-OH-D₃.

Para as análises de FAT, fósforo e cálcio foi utilizado o equipamento automático para bioquímica, marca Mindray, modelo: BS200E, utilizando-se kits de determinação da Bioclin.

As análises de FAO e 25-OH-D₃ foram realizadas em um sistema de imunoensaio, Access®, da Beckman Coulter, utilizando-se kits de determinação de fosfatase alcalina óssea (Ostase®) e 25-OH-D₃ (25(OH)Vitamin D total®).

Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância em Delineamento em Inteiramente Casualizado (DIC), através do software SAS, modelo PROC GLM, considerando o nível de 5% de probabilidade. Utilizou-se o teste de médias Dunnett para contraste com o grupo controle. Para as fontes vitamínicas foi considerado o nível de 5% de probabilidade através do teste *t*.

RESULTADOS

Conforme as condições ambientais no interior das câmaras climáticas (Tabela 3) e considerando que Lana et al. (2005) e Medeiros et al. (2005) caracterizaram o ambiente

térmico com ITGU entre 75 e 82 e de 69 a 77 como de conforto térmico para frangos de corte de 1 a 21 e 22 a 42 dias de idade, verifica-se que neste estudo as aves foram mantidas em ambiente de termoneutralidade.

Tabela 3. Características climáticas de criação das aves durante o período experimental

Variável	Fase de criação				
	1 a 5 d	6 a 10 d	11 a 21 d	22 a 33 d	34 a 42 d
Temperatura, °C	32,7	30,4	28,2	24,5	22,0
Umidade Relativa, %	60,0	63,0	64,0	64,1	66,0
ITGU	83,3	80,7	77,9	74,0	69,8

Na Tabela 4 encontram-se os resultados de desempenho dos frangos de corte nos períodos de 1 a 21 dias e de 1 a 42 dias de idade.

Não foi observado interação ($P>0,05$) para as variáveis-resposta de desempenho (GP, CR e CA) no período inicial (1-21d) e total (1-42d) de criação. As fontes de vitamina D e os níveis de Ca (relação Ca:Pd fixa 2:1) não afetaram ($P>0,05$) o desempenho dos animais no período de 1 a 21 dias de idade.

Tabela 4. Desempenho de frangos de corte de 1 a 42 dias de idade, alimentados com rações com redução de Ca (mantendo relação Ca:Pd) e diferentes fontes de vit. D

Variável	Redução de Ca(%)				Fonte de Vit D		CV	Fonte de variação (P valor)		
	0	10	20	30	D3	25-OH		Ca	Vit	Int
1-21 d										
GP, g	927	905	912	892	914	904	4,02	0,0914	0,3285	0,5508
CR, g	1145	1116	1130	1138	1133	1132	4,43	0,4862	0,9197	0,5146
CA	1,24	1,24	1,24	1,26	1,24	1,25	3,60	0,3258	0,5536	0,9012
1- 42 d										
GP, g	2915 ^a	2884 ^a	2797 ^b	2728 ^b	2835	2827	4,09	0,0003	0,8114	0,5096
CR, g	4079	4048	3988	3875	3993	4002	5,34	0,0712	0,8822	0,1712
CA	1,40	1,41	1,43	1,42	1,41	1,42	3,90	0,6195	0,6816	0,2987

GP: ganho de peso; CR: consumo de ração; CA: conversão alimentar;

Médias com letras diferentes na mesma linha diferem entre si (5%) pelo teste Dunnett para níveis e teste t para fonte vitamínica.

No período total de criação, a fonte vitamínica adicionada às rações não alterou o desempenho das aves. Por outro lado, o GP das aves foi alterado pelo nível de redução de Ca (mantendo a relação Ca:Pd fixa), sendo prejudicado a partir de 20% de redução.

Já o CR não foi influenciado no período total de 1 a 42 dias ($P>0,05$) pela redução de Ca das rações, correspondentes aos valores acumulados de consumo das rações de 1-7d; 8-21d; 22-33d e 34-42 dias. De mesmo modo, a fonte de vitamina D adicionada à ração não alterou o CR ($P>0,05$).

A redução em até 30% do Ca dietético (mantendo a relação Ca:Pd constante) possibilitou a manutenção da CA das aves no período de 1 a 42 dias similar a do grupo onde as exigências foram plenamente atingidas. Quando se avaliou separadamente as fontes de vitamina D, não foi verificado efeito na CA alimentar durante o período de criação.

Na Tabela 5 encontram-se apresentados os dados das variáveis sanguíneas avaliadas. Não foi observada interação ($P>0,05$) para Ca, P, FAT e FAO no soro de frangos de corte alimentados com diferentes fontes de vitamina D e redução de Ca da dieta (Pd variável).

Tabela 5. Concentrações séricas de Ca, P, FAT de frangos aos 42 dias de idade.

Variável	Redução de Ca(%)				Fonte de Vit D		CV %	Fonte de variação (P valor)		
	0	10	20	30	D3	25-OH		Ca	Vit	Int
Ca, mg/dL	8,51 ^a	8,67 ^a	7,33 ^b	7,41 ^b	8,10	7,86	9,60	<0,0001	0,2433	0,1323
P, mg/dL	6,23 ^a	6,03 ^a	5,51 ^b	5,31 ^b	5,70	5,83	6,69	<0,0001	0,2234	0,3315
FAT, U/L	1172	1158	1576	1255	1401	1178	38,74	0,1086	0,0986	0,8939
FAO, µg/L	5,20	6,32	5,68	5,67	5,61	5,82	28,85	0,5134	0,6834	0,8431

Médias com letras diferentes na mesma linha diferem entre si (5%) pelo teste Dunnett para níveis e teste t para fonte vitamínica.

O nível de redução de Ca (mantendo a relação Ca:Pd fixa) influenciou ($P<0,0001$) as concentrações sanguíneas de Ca e P. A redução em até 10% não alterou as concentrações de Ca e P no sangue, contudo acima de 20% promoveu a redução dos níveis séricos desses minerais. Em contrapartida, a fonte de vitamina D não afetou as concentrações de Ca e P no sangue das aves.

Em relação à FAT e a FAO, não foi constatado efeito ($P>0,05$) dos níveis de redução de Ca da dieta ou da fonte de vitamina D utilizada, sobre a atividade sérica dessas enzimas.

Por outro lado, foi verificado interação ($P<0,05$) entre os fatores estudados sobre as concentrações séricas de 25-OH-D₃. Os valores desmembrados para as concentrações de 25-OH-D₃ no soro das aves se encontram apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Desdobramento da interação para os níveis séricos de 25-OH-D₃ em função da fonte de vitamina D utilizada e nível de redução de Ca da dieta (relação Ca:Pd fixa)

Fonte de Vit. D	Redução de Ca (%)			
	0	10	20	30
Vitamina D ₃	8,41aB	10,14aA	9,65aA	12,55aA
25-OH-D ₃	13,46aA	8,57bA	9,71bA	7,02bB

Médias com letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste Dunnett (5%);

Médias com letras maiúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste t (5%)

O desdobramento da interação demonstrou que a concentração do principal marcador do status de vitamina D, 25-OH-D₃, no sangue não foi alterada entre os níveis de redução de Ca da dieta quando se utilizou D₃ como forma de suplementação. Todavia, quando a fonte

utilizada foi a 25-OH-D₃ a redução mineral da dieta diminuiu os valores séricos do metabólito.

Na Tabela 7 estão apresentados os dados de deposição mineral e resistência óssea dos frangos de corte aos 42 dias de idade. Não foi constatada interação ($P>0,05$) para as concentrações de Ca, P e cinzas nas tíbias e RO dos fêmures dos frangos de corte. A redução a partir de 20% no conteúdo de Ca das rações (mantendo a relação Ca:Pd fixa em 2:1), prejudicou a mineralização e resistência óssea. Contudo, a fonte de vitamina D não exerceu efeito sobre as características ósseas avaliadas nesse experimento.

Tabela 7. Efeito da redução de Ca e fonte de vitamina D sobre a deposição de Ca, P e cinzas nas tíbias de frangos de corte aos 42 dias de idade.

Variável	Redução de Ca(%)				Fonte de VitD		CV %	Fonte de variação (P valor)		
	0	10	20	30	D ₃	25-OH		Ca	Vit	Int
Ca, %	15,35 ^a	15,02 ^a	14,38 ^b	13,89 ^b	14,83	14,49	5,66	0,0001	0,1329	0,4707
P, %	8,12 ^a	8,06 ^a	7,66 ^b	7,30 ^b	7,76	7,80	5,69	<.0001	0,7392	0,2526
Cinzas, %	38,53 ^a	37,45 ^a	36,10 ^b	34,98 ^b	37,10	36,43	4,93	<.0001	0,1786	0,1469
RO, Kgf	9,43 ^a	7,31 ^a	5,72 ^b	4,50 ^b	6,88	6,59	43,12	0,0006	0,7264	0,4518

Médias com letras diferentes na mesma linha diferem entre si (5%) pelo teste Dunnett para níveis e teste t para fonte vitamínica.

Por outro lado, constatou-se interação ($P<0,0001$) entre os fatores para a relação Ca:P depositada nas tíbias das aves. Os valores desmembrados para o efeito de interação dos fatores encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6. Desdobramento da interação entre o teor de redução de Ca e a fonte vitamina D das rações sobre a relação Ca:P depositada nas tíbias de frangos de corte

Fonte de Vit. D	Redução de Ca (%)			
	0	10	20	30
Vitamina D ₃	1,89Ab	1,90Ab	1,91Ab	1,94Aa
25-OH-D ₃	1,89Aa	1,83Bb	1,84Bb	1,86Bb

Médias com letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste Dunnett (5%);

Médias com letras maiúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste t (5%)

A redução de Ca das rações em 30% aumentou a relação Ca:Pd depositada no osso quando se utilizou a vitamina D₃ como fonte de vitamínica. Por outro lado, quando se usou 25-OH-D₃ a maior relação depositada dos ossos dos frangos foi observada no tratamento controle. De modo geral, o grupo controle demonstrou valores similares com ambas as fontes de vitamina utilizada nas rações, mas quando se reduziu o teor de Ca, a relação Ca:P depositada foi maior com o uso de D₃ independente do nível de redução de Ca dietético.

Na Tabela 9 encontram-se os dados observados para a concentração de Ca e P nas excretas das aves, bem como o coeficiente de retenção desses minerais. Não foi constatada

interação ($P>0,05$) entre os fatores avaliados nas variáveis de conteúdo mineral da excreta e retenção mineral. Adicionalmente, a fonte vitamínica utilizada não promoveu alteração nesses parâmetros.

Em contrapartida, verificou-se que todas as variáveis foram influenciadas pelo nível de Ca dietético. A redução acima de 10% no conteúdo de Ca das rações diminuiu a concentração de Ca e P nas excretas. O coeficiente de retenção desses minerais foi maior naquelas aves que receberam ração com redução acima de 20% no teor desses minerais.

Tabela 9. Efeito da redução de Ca e fonte de vitamina D na concentração de Ca e P nas excretas e coeficiente de retenção mineral de frangos de corte

Variável	Redução de Ca(%)				Fonte de Vit D		CV %	Fonte de variação (P valor)		
	0	10	20	30	D3	25-OH		Ca	Vit	Int
Ca, g/kg	17,33 ^a	15,02 ^b	12,85 ^b	10,05 ^b	13,57	14,05	7,57	<.0001	0,0912	0,9683
RCa, %	51,21 ^a	57,42 ^a	60,67 ^b	65,58 ^b	58,85	58,59	15,51	0,0013	0,9141	0,4757
P, g/kg	12,54 ^a	11,03 ^b	9,21 ^b	7,83 ^b	10,06	10,25	6,71	<.0001	0,3175	0,9816
RP, %	54,79 ^a	60,97 ^a	65,89 ^b	68,74 ^b	62,34	62,86	14,06	0,0007	0,8272	0,5031

Médias com letras diferentes na mesma linha diferem entre si (5%) pelo teste Dunnett para níveis e teste t para fonte vitamínica.

A fonte de vitamina D adicionada às rações não alterou ($P>0,05$) a concentração de Ca e P nas excretas, bem como não causou alteração no coeficiente de retenção desses minerais.

Não foi observado interação ($P>0,05$) entre os fatores estudados sobre as características de carcaça, rendimento de carcaça (RC), de peito (RP), de coxa (RCx) e de sobrecoxa (RSx) (Tabela 10) dos frangos aos 42 dias de idade. Nesse sentido, avaliaram-se separadamente cada uma das variáveis.

Tabela 10. Características de carcaça de frangos de corte aos 42 dias de idade

Variável	Redução de Ca(%)				Fonte de Vit D		CV %	Fonte de variação (P valor)		
	0	10	20	30	D3	25-OH		Ca	Vit	Int
RC, %	83,92 ^a	84,19 ^a	84,18 ^a	82,44 ^b	83,70	83,66	2,08	0,0294	0,9309	0,3616
RP, %	36,89	37,01	36,75	36,63	37,00	37,18	3,74	0,3498	0,5611	0,8376
RCx, %	11,39	11,23	11,48	11,04	11,45 ^a	11,14 ^b	4,03	0,0795	0,0170	0,8376
RSx, %	12,83	12,87	12,94	12,68	12,83	12,82	4,90	0,7219	0,9377	0,7755

RC: rendimento de carcaça; RP: rendimento de peito; RCx: rendimento de coxa; RSx: rendimento de sobrecoxa; CV: coeficiente de variação; Médias com letras diferentes na mesma linha diferem entre si (5%) pelo teste Dunnett para níveis e teste t para fonte vitamínica.

A redução de Ca e Pd das dietas não alterou os RP, RCx e RSx ($P>0,05$) dos frangos de corte aos 42 dias. Entretanto, houve influência do nível dietético de Ca sobre o RC das aves, onde a redução em 30% provocou o menor peso relativo da carcaça. Em relação às fontes de vitamina D adicionadas a ração, não foi constatado efeito ($P>0,05$) das formas D₃ ou

25-OH-D₃ sobre o RC, RP e RSx. Por outro lado, a fonte D₃ proporcionou maiores valores (P=0,0170) de RCx em relação aos frangos alimentados com 25-OH-D₃.

Quanto às análises efetuadas da qualidade da carne dos frangos aos 42 dias de idade, de todas as variáveis analisadas (Tabela 11), não foi verificado interação (P>0,05) em nenhuma das características qualitativas estudadas.

Tabela 11. Qualidade da carne de frangos de corte aos 42 dias de idade

	Redução de Ca(%)				Fonte de VitD		CV%	Fonte de variação (P valor)		
	0	10	20	30	D3	25-OH		Ca	Vit	Int
PGO, %	4,35	4,35	3,83	4,28	4,21	4,19	15,07	0,1000	0,9247	0,1267
PDE, %	5,96	5,94	5,28	4,95	5,22	5,85	28,71	0,2586	0,1443	0,5275
PCO, %	10,79	10,61	11,74	11,27	10,89	11,31	12,49	0,1454	0,2573	0,2965
CIS, Kg/cm ²	2,29	2,28	2,15	2,12	2,12	2,30	21,15	0,7042	0,1508	0,9199
L*	59,49	58,41	58,21	59,04	59,19	58,38	3,91	0,4415	0,1930	0,8782
a*	4,34	4,44	4,85	5,15	4,72	4,67	20,99	0,1182	0,8502	0,4653
b*	15,12	14,65	14,60	14,22	14,81	14,48	7,58	0,2157	0,2683	0,4632
pHi	6,48	6,49	6,46	6,42	6,46	6,46	1,40	0,1249	0,9883	0,1639
pHf	5,94	5,98	5,99	5,94	5,96	5,96	1,57	0,2621	0,8423	0,1969
Ti	39,98	40,00	40,00	39,96	39,97	40,00	0,65	0,9471	0,7126	0,3049
Tf	4,51	4,39	4,26	4,23	4,31	4,39	7,64	0,1175	0,3868	0,5892

Médias com letras diferentes na mesma linha diferem entre si (5%) pelo teste Dunnett para níveis e teste t para fonte vitamínica.

Em se tratando da fonte de vitamina D, não foi verificado efeito (P>0,05) do uso das diferentes fontes, D₃ ou de 25-OH-D₃, sobre a qualidade da carne de peito dos frangos de corte aos 42 dias de idade. De mesmo modo a redução de Ca das rações não afetou (P>0,05) nenhuma das características qualitativas da carne.

DISCUSSÃO

O uso de 25-OH-D₃ proporcionou desempenho similar aqueles alimentados com vitamina D₃, no período inicial (1-21d) e total (1-42d). Estudos de Yarger et al. (1995) e Fritts & Walldroup (2003) demonstraram efeito positivo da 25-OH-D₃ sobre o peso corporal e eficiência alimentar de frangos de corte. Já Garcia et al. (2013), verificaram que o uso de vitamina D₃ em rações para frangos de corte melhorou o consumo voluntário de ração. No presente estudo a utilização da substituição total de D₃ por 25-OH-D₃ em quantidade bioequivalente (2460 UI/kg ração) pode ter prevenido efeito sobre o desempenho.

Os resultados observados demonstraram que a redução de Ca e Pd não prejudicou o desempenho até os 21 dias de idade das aves. Contudo o GP das aves no período total foi prejudicado quando a redução foi maior que 20%. Han et al. (2013) não encontraram efeito sobre o desempenho das aves no período inicial de criação (1-21 dias) com rações contendo 0,50% de Ca e 0,25% de Pd. Delizie et al. (2012) observaram que a redução entre 15 e 20% no conteúdo total de Ca e 25 e 30% de Pd não prejudicou o desempenho de frangos de corte nas diferentes fases (13, 26 e 39 dias) de criação. Por outro lado, Hamdi et al. (2015) trabalhando com rações com reduções de Ca e Pd para frangos de corte de 1 a 14 dias, verificaram que o GP e a eficiência alimentar não foram alterados pelo nível de Ca da ração (0,9;0,7 e 0,5%), mas que a redução de Pd da dieta a 0,25% prejudicou o GP. Resultados preliminares obtidos em nosso laboratório demonstraram que a redução de Ca, mantendo o Pd fixo, não afeta o desempenho dos animais. Nesse sentido, a redução dietética de Pd parece ter efeito prejudicial mais evidenciado sobre o GP quando as dietas são deficientes em Ca e Pd do que somente Ca.

O CR não foi afetado pela redução de Ca da dieta. Hamdi et al. (2015) também não observaram efeito da redução de Ca sobre o CR das aves no período inicial. Estudos tem demonstrado que alta relação Ca:Pd na dieta prejudica o consumo voluntário de frangos de corte (Qian et al., 1997; Cardoso Junior et al., 2010; Donato et al., 2011). Nesse sentido, conforme verificado no presente estudo, a utilização da relação Ca:Pd constante em 2:1 pode ter sido determinante na manutenção do CR das aves, assim como observado por Rosseau et al. (2016) uma vez que o desequilíbrio dietético entre o Ca e Pd pode comprometer o desempenho das aves (Driver et al., 2005). Os efeitos negativos da alta relação Ca:Pd da dieta são observados principalmente quando os níveis de Ca estão acima da exigência mineral. O desequilíbrio da relação Ca:Pd pode comprometer a utilização do P dietético (Applegate et al., 2003) através da formação de complexos insolúveis entre o Ca e as fontes de P da ração

(Tamim et al., 2004; Faridi et al., 2015) . Além disso, trabalhos recentes de Wilkinson et al. (2014) e Rosseau et al. (2016) tem demonstrado a capacidade de adaptação de frangos de corte a dietas deficientes em Ca. As aves tem a capacidade de aumentar a eficiência digestiva em rações deficientes em minerais, processo adaptativo esse que é baseado na modulação da expressão gênica de transportadores intestinais de Ca e P (Adedokun & Adeola, 2013; Rosseau et al., 2016). Contudo no caso de uma restrição severa por um período prolongado, associada a baixos níveis de P, como o observado no presente trabalho (42 dias) essas respostas podem não ser suficientes na manutenção do desempenho, visto que a redução a partir de 20% do Ca, o GP das aves não foi mantido. A CA não foi alterada pela redução de Ca, demonstrando que a manutenção da relação Ca:PD constante não comprometeu a utilização dos nutrientes da dieta. Esses resultados estão consistentes com o trabalho de Delezie et al. (2012), que demonstraram a manutenção da CA dos frangos de corte utilizando dietas deficientes em Ca e PD no período de 1 a 39 dias.

As concentrações de Ca e P sanguíneas foram sustentadas nas aves que receberam até 10% de redução dietética de Ca. Por outro lado, a fonte de vitamina utilizada não alterou os níveis séricos desses minerais. A ausência de efeito da fonte de vitamina (D_3 ou 25-OH- D_3) sobre os níveis séricos de Ca e P também foram observados por Edwards Jr (2002). Contudo, ao utilizar metabólitos como 1,25-(OH) $_2$ - D_3 e 1 α -OH- D_3 os mesmos autores constataram que os níveis de P no sangue das aves foram estatisticamente superiores aquelas alimentadas com vitamina D_3 e 25-OH- D_3 . Por outro lado, Ledwaba & Roberson (2003) demonstraram que a 25-OH- D_3 tem a capacidade de aumentar a utilização de fósforo fítico em dietas com baixos níveis de Ca. A inconsistência nos efeitos da vitamina D pode ser devido às propriedades da dieta basal, nível de Ca e P (ou sua relação) nas dietas ou experimentos, nível de inclusão da vitamina, inclusão de fitase, sistemas de iluminação, etc, conforme constatado por Faridi et al. (2015) em metanálise.

O nível de Ca da dieta e a fonte de vitamina não influenciaram na atividade sérica das enzimas FAT e FAO. A fosfatase alcalina total é medida através de sua atividade e corresponde à soma das diversas isoformas (hepática, óssea e intestinal) presentes no soro (Kaplan, 1972; Saraiva & Lazaretti-Castro, 2002), enquanto que a FAO corresponde a isoforma específica do osso envolvida diretamente na mineralização óssea. Em condições normais, as duas formas predominantes em circulação (>90% do total) de fosfatase alcalina, são a óssea e a hepática, em quantidades equivalentes, enquanto a intestinal representa 5% apenas (Vieira, 1999). Modificações nas concentrações de Ca e P no sangue podem estar

estritamente relacionadas, entre outros fatores, com a atividade da fosfatase alcalina (Rajman et al., 2006), uma vez que essa enzima é fortemente associada ao metabolismo desses dois minerais (Viñuela & Ferrer, 1997). Nesse sentido, quanto menor os níveis minerais no sangue, maior o estímulo enzimático para que seja suprida a necessidade mineral para as funções orgânicas e de homeostase do organismo. Entretanto, baixos níveis sanguíneos desses minerais não foram suficientes para alterar a atividade dessas enzimas no soro das aves, demonstrando um padrão de resposta diferente daquele proposto na literatura.

A 25-OH-D₃ é considerada o principal marcador do status de vitamina D dos animais por ser a principal forma de circulante encontrada no sangue. Esse metabólito sofre hidroxilação renal para tomar a forma hormonal metabolicamente ativa, 1,25-(OH)₂-D₃ (Soares Jr et al., 1995; Yarger et al., 1995) através da ação da enzima 1 α -hidroxilase (Christakos et al., 2016). Essa enzima é altamente regulada pela homeostase de Ca e P no organismo das aves, através de hormônios calciotróficos (PTH e calcitonina) e da 1,25-(OH)₂-D₃. Níveis sub-ótimos de Ca e P são conhecidos por estimular o metabolismo de vitamina D melhorando, desse modo, a utilização de Ca e P (Bar et al., 1978). O possível aumento da conversão de 25-OH-D₃ para a forma ativa 1,25-(OH)₂-D₃ pode ter levado a redução dos níveis séricos de 25-OH-D₃, como observado a partir de 10% de redução de Ca quando se utilizou a fonte 25-OH-D₃. Em outras palavras, mesmo em níveis sanguíneos mais baixos do marcador do status de vitamina D quando se utilizou a forma 25-OH-D₃ nas rações, foi possível manter as concentrações séricas de Ca e P dos frangos com redução em até 10% do recomendado pelas TBAS (2011).

O Ca e o P são os principais componentes da matriz óssea, sendo, portanto, as variáveis ósseas, importantes critérios a serem levados em consideração no estabelecimento da exigência desses minerais. O presente trabalho demonstrou que nenhuma das características ósseas foi influenciada pela fonte de vitamina D adicionada as rações. Por outro lado, a redução a partir de 20% de Ca (mantendo a relação Ca:Pd constante) prejudicou a concentração de Ca, P e cinzas nos ossos. Delizie et al. (2012) verificaram que a redução em até 20% de Ca e 30% de Pd no período de 1 a 39d não afetou o desenvolvimento ósseo dos frangos de corte. O menor conteúdo de minerais e cinzas nas tíbias dos frangos prejudicou a RO avaliada nos fêmures das aves. A RO foi definida como a força necessária para quebra do osso (Crenshaw et al., 1981) sendo considerado um critério de resposta direta para avaliar o risco de fratura óssea (Jiang et al., 2016). O comprometimento da RO, entre outros fatores,

pode resultar em aumento do número de lesões de perna de frangos de corte (Wilkinson et al., 2011) no manejo pré-abate e, consequentemente, das condenações de carcaça em abatedouros.

A retenção mineral de Ca e P aumentou a partir de 20% de redução de Ca (mantendo a relação Ca:PD constante), evidenciando que aves alimentadas com rações deficientes nesses minerais tendem a melhorar o aproveitamento mineral da dieta. O aumento da retenção de Ca e P em aves alimentadas com rações abaixo da exigência recomendada também foi observado por Yan et al. (2005) e Delizie et al. (2012). O aumento significativo da retenção mineral observado nos animais que receberam rações acima de 20% de redução de Ca, não foi suficiente para manter a o GP aos 42 dias, a deposição de minerais no osso e as concentrações de Ca e P no sangue. Em contrapartida, a fonte de vitamina não alterou a concentração nas excretas e a retenção mineral de Ca e P.

A redução de Ca e PD da dieta em 30% diminuiu o RC dos frangos aos 42 dias de idade. Brito et al. (2010) encontraram aumento do RC em aves alimentadas com 25- OH-D₃. Baixos níveis de P provocam aumento no peso relativo de órgãos como fígado e coração (Oliveira et al., 2009; Souza et al., 2015). O menor RC das aves alimentadas com rações contendo 30% de redução de Ca no presente estudo, mantendo a relação fixa, pode estar associado, ao aumento do peso dos órgãos internos das aves. Em relação as demais características, a redução de Ca não afetou o RP, RCx e RSx. Entretanto, a fonte vitamínica alterou a proporção de RCx, onde as aves alimentadas com D₃ apresentaram valores maiores em relação a 25-OH-D₃. Estudos recentes tem sugerido que altos níveis de vitamina D pode atuar na melhora da síntese proteica, mediada via mTor (Vignale et al., 2015), Contudo, mais estudos devem ser conduzidos para avaliar o possível efeito sobre o a síntese de tecido muscular.

De modo geral, a qualidade da carne foi não foi alterada pela redução de Ca ou fonte de vitamina D das rações. A medida da PGO, PDE e PCO são meios de se avaliar a Capacidade de Retenção de Água (CRA). A CRA é um dos atributos de qualidade mais importantes na carne, tendo forte impacto sobre a retenção de nutrientes hidrossolúveis, aparência, vida útil e rendimento dos cortes da carcaça, bem como na suculência e maciez pós-cozimento (Gomide et al., 2014). Além do mais, essa característica pode ser influenciada pela taxa de queda de temperatura e pH, que não foram modificados neste estudo. Os valores de L* encontrados no presente estudo, refletem a proposição de Samuel et al. (2012) de que linhagens selecionadas para rápido crescimento apresentam valores elevados de luminosidade e que não necessariamente isso represente um impacto negativo na qualidade da carne.

Considerando que os valores de pH, CRA e coloração não foram alterados, pode-se afirmar que a redução de Ca (mantendo a relação Ca:Pd constante) não prejudica a qualidade da carne de frangos de corte.

Em síntese, a fonte de vitamina não altera o desempenho das aves, mas a redução dietética de Ca e Pd não compromete o desempenho das aves no período inicial de crescimento, no entanto tem efeito deletério quando avaliado o período total, de 1 a 42 dias de idade. A redução de Ca e Pd altera os parâmetros séricos dos frangos. A redução em 30% de Ca e Pd promove menor RC das aves, mas esta parece estar mais ligada ao nível dietético de Pd. A redução de Ca e Pd e a fonte de vitamina D não alteram as características qualitativas da carne. Os resultados de desempenho, osso, sangue e carne, obtidos nesse estudo pode ser um indicativo que os níveis de Ca e Pd recomendados pelas TBAS (2011) podem estar super estimados para frangos de corte mantidos em ambiente de termoneutralidade.

REFERÊNCIAS

- ADEDOKUN, S.A.; ADEOLA, O. 2013. Calcium and phosphorus digestibility: Metabolic limits. **Journal of Applied Poultry Research**, 22:600-608.
- APPLEGATE, T.J.; ANGEL, R.; CLASSEN, H.L. 2003. Effect of dietary calcium, 25-hydroxycholecalciferol, or bird strain on small intestinal phytase activity in broiler chickens. **Poultry Science**, 82:1140-1148.
- APPLEGATE, T.J.; ANGEL, R. 2005. Los metabolitos de la vitamina D son prometedores para uso en dietas avícolas. *Vademécum Avícola*.
- Bar, A.; Durboy, D.; Eizner, U.; Hurwitz, S. 1978. Calcium-binding protein and kidney 25-hydroxycholecalciferol-1-hydroxylase activity in turkey poults. **Journal of Nutrition**, 108:1501-1507.
- BARBOSA, A.A.; MORAES, G.H.K.; TORRES, R.A.; REIS, T.C.R.; RODRIGUES, C.S.; MÜLLER, E.S. 2010. Avaliação da qualidade óssea mediante parâmetros morfométricos, bioquímicos e biomecânicos em frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 39:772-778.
- BRITO, J.A.G.; BERTECHINI, A.G.; FASSANI, E.J.; RODRIGUES, P.B.; LIMA, E.M.C.; MENEGHETTI, C. 2010. Efeito da vitamina D₃ e 25-hidroxi-colecalciferol sobre o desempenho, o rendimento de carcaça e a morfologia intestinal de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 39:2656-2663.
- BUFFINGTON, D. E.; COLAZZO-AROCHO, A.; CANTON, G.H.; PITT, D.; THATCHER, W.W.; COLLIER, R.J. 1981. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transaction of the ASAE**, 24:711-714.
- CARDOSO JUNIOR, A.; RODRIGUES, P.B.; BERTECHINI, A.G.; FREITAS, R.T.F.; LIMA, R.R.; LIMA, G.F.R. 2010. Levels of available phosphorus and calcium for broilers from 8 to 35 days of age fed rations containing phytase. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 39:1237-1245.
- CHRISTAKOS, S.; DHAWAN, P.; VERSTUYF, A.; VERLINDEN, L.; CARMELIET, G. 2016. Vitamin D: metabolism, molecular mechanism of action, and pleiotropic effects. **Physiology Review**, 96:365-408.
- COBB-VANSTRESS. **Manual de manejo de frangos de corte cobb**. Guapiaçu, SP: Cobb-Vantress Brasil, 2008. 66p.
- CRENSHAW, T.; PEO, E.; LEWIS, A.; MOSER, B. 1981. Bone strength as a trait for assessing mineralization in swine: a critique review of techniques involved. **Journal of Animal Science**, 53:827-835.
- DELIZIE, E.; MAERTENS, L.; HUYGHEBAERT, G. 2012. Consequences of phosphorus interactions with calcium, phytase, and cholecalciferol on zootechnical performance and mineral retention in broiler chickens. **Poultry Science**, 91:2523-2531.
- DELIZIE, E.; BIERMAN, K.; NOLLET, L.; MAERTENS, L. 2015. Impacts of calcium and phosphorus concentration, their ratio, and phytase supplementation level on growth performance, foot pad lesions and hock burn of broiler chickens. **Journal of Applied Poultry Research**, 24:115-126.

- DONATO, D.C.Z.; ALBUQUERQUE, R.; GARCIA, P.D.S.R.; BALIEIRO, J.C.C. 2011. Desempenho de frangos de corte alimentados com rações contendo diferentes níveis de cálcio suplementadas com fitase. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 40:2161-2166.
- DRIVER, J.P.; PESTI, G.M.; BAKALLI, R.I.; EDWARDS, H.M. 2005. Effects of calcium and nonphytate phosphorus concentrations on phytase efficacy in broiler chicks. **Poultry Science**, 84:1406-1417.
- FARIDI, A.; GITOE, A.; FRANCE, J. 2015. A meta-analysis of the effects of nonphytate phosphorus on broiler performance and tibia ash concentration. **Poultry Science**, 94:2753-2762.
- FRITSS, C.A.; WALDROUP, P.W. 2003. Effect of source and level of vitamin D on live performance and bone development in growing broilers. **Journal of Applied Poultry Research**, 12:45-52.
- GARCIA, A.F.Q.M.; MURAKAMI, A.E.; DUARTE, C.R.A.; ROJAS, I.C.O.; PICOLI, K.P.; PUZOTTI, M.M. 2013. Use of vitamin D₃ and its metabolites in broiler chicken feed on performance, bone parameters and meat quality. **Asian-Australian Journal of Animal Science**, 26:408-415.
- GÓMEZ-VERDUZCO, G.; MORALES-LÓPEZ, R.; AVILA-GOZÁLEZ, E. 2013. Use of 25-hydroxycholecalciferol in diets of broiler chickens: Effects on growth performance, immunity and bone calcification. **Japanese Poultry Science**, 50:60-64.
- GOMIDE, L.A.M.; RAMOS, E.M.; FONTES, P.R. **Tecnologia de abate e tipificação de carcaças**. Editora UFV, Viçosa-MG, 2014.
- HAMDI, M.; LÓPEZ-VERGÉ, S.; MANZANILLA, E.G.; BARROETA, A.C.; PÉREZ, J.F. 2015. Effect of different levels of calcium and phosphorus and their interaction on the performance of young broilers. **Poultry Science**, 94:2144-2151.
- JIANG, Y.; LU, L.; LI, S.F.; WANG, L.; ZHANG, L.Y.; LIU, S.B.; LUO, X.G. 2016. An optimal dietary non-phytate phosphorus level of broilers fed a conventional corn-soybean meal diet from 4 to 6 weeks of age. **Animal**, 10:1626-1634.
- KAPLAN, M.M. 1972. Alkaline phosphatase. **Gastroenterology**, 62:452-468.
- LANA, S.R.V.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; ALBINO, L.F.T.; VAZ, R.G.M.V.; REZENDE, W.O. 2005. Níveis de lisina digestível em rações para frangos de corte de 1 a 21 dias de idade mantidos em ambiente de termoneutralidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 34:1614-1623.
- LEDWABA, M.F.; ROBERSON, K.D. 2003. Effectiveness of twenty five hydroxycholecalciferol in the prevention of tibial dyschondroplasia in Ross cockerels depends on dietary calcium level. **Poultry Science**, 82:1769-1777.
- MEDEIROS, C.M.; BAÊTA, F.C.; OLIVEIRA, R.F.M.; TINÔCO, I.F.F.; ALBINO, L.F.T.; CECON, P.R. 2005. Efeito da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. **Engenharia na Agricultura**, 13:277-286.

- MÜLLER, E.S.; BARBOSA, A.A.; MORAES, G.H.K.; VIEITES, F.M.; ARAÚJO, G.M. 2012. Parâmetros químicos, bioquímicos e mecânicos de fêmures de frangos de corte submetidos a diferentes balanços eletrolíticos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 41:1454-1462.
- OLIVEIRA, M.C.; MARQUES, R.H.; GRAVENA, R.A.; TRALDI, A.B.; GODOY, C.R.; MORAES, V.M.B. 2009. Fitase em dietas com níveis reduzidos de fósforo não-fítico para frangos de corte. **Biotemas**, 22:169-176.
- QIAN, H.; KORNEGAY, E.T.; DENBOW, D.M. Utilization of phytate phosphorus and calcium as influenced by microbial phytase, cholecalciferol, and the calcium:total phosphorus ratio in broiler diets. **Poultry Science**, 76:37-46.
- RAJMAN, M.; JURÁNI, M.; LAMOŠOVA, D.; MÁČAJOVÁ, M.; SEDLAČKOVÁ, M.; KOŠT'ÁL, L.; JEŽOVÁ, D.; VÝBOH, P. 2006. The effects of feed restriction on plasma biochemistry in growing meat type chickens (*Gallus gallus*). **Comparative Biochemistry and Physiology**, 145:363-371.
- ROSSEAU, X.; VALABLE, A-S.; LÉTOUNEAU-MONTMINY, M-P.; MÊME, N.; GODET, E.; MAGNIN, M.; NYS Y.; DUCLOS, M.J. NARCY, A. 2016. Adaptive response of broilers to dietary phosphorus and calcium restrictions. **Poultry Science**, 95:2849-2860.
- 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.; EUCLIDES, R. F. 2011. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. 2011. 252p.
- SAMUEL, D.D.; BILLARD, L.; PRINGLE, D.; WICKER, L. 2012. Influence of growth rate on occurrences of pale muscle in broilers. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 92:78-83.
- SARAIVA, G.L.; LAZARETTI-CASTRO, M. 2002. Marcadores bioquímicos da remodelação óssea na prática clínica. **Arquivo Brasileiro de Endocrinologia & Metabologia**, 46:72-78.
- SAS Institute. 2012. Version 10.0.2. SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002, 235p.
- SOARES JR, J.H.; KERR, J.M.; GRAY, R.W. 1995. 25-Hydroxycholecalciferol in poultry nutrition. **Poultry Science**, 74:1919-1934.
- SOUZA, J.P.L.; ALBINO, L.F.T.; VAZ, R.G.M.V.; RODRIGUES, K.F.; SILVA, G.F.; RENNO, L.N.; BARROS, V.R.S.M.; KANEKO, I.N. 2015. The effect of dietary phytase on broiler performance and digestive, bone, and blood biochemistry characteristics. **Brazilian Journal of Poultry Science**, 17:69-76.
- TAMIM, N.M.; ANGEL, R.; CHRISTMAN, M. 2004. Influence of dietary calcium and phytase on phytate phosphorus hydrolyses in broiler chicken. **Poultry Science**, 83:1358-1367.
- VIEIRA, J.G.H. 1999. Considerações sobre os marcadores bioquímicos do metabolismo ósseo e sua utilidade prática. **Arquivo Brasileiro de Endocrinologia & Metabologia**, 43:415-422.

- VIGNALE, K.; GREENE, E.S.; CALDAS, J.V.; ENGLAND, J.A.; BOONSINCHAI, N.; SODSEE, P.; POLLOCK, E.D.; DRIDI, S.; COON, C.N.. 2015. 25-hydroxycholecalciferol enhances male broiler breast meat yield through the mTor pathway. **The Journal of Nutrition**, 145:855-863.
- VIÑUELA, J.; FERRER, M.; 1997. Regulation of growth in red kites and imperial Eagles. **The Wilson Bulletin**. 109:92-101.
- WILKINSON, S.J.; SELLE, P.H.; BEDFORD, M.R.; COWIESON, A.J. 2011. Exploiting calcium-specific appetite in poultry nutrition. **Worlds Poultry Science Journal**, 67:587-598.
- YAN, F.; ANGEL, R.; ASHWELL, C.; MITCHELL, A.; CHRISTMAN, M. 2005. Evaluation of the broiler's ability to adapt to an early moderate deficiency of phosphorus and calcium. **Poultry Science**, 84:1232-1241.
- YARGER, J.G.; SAUNDERS, C.A.; MCNAUGHTON, J.L.; QUARLES, C.L.; HOLLIS, B.W.; GRAY, R.W. 1995. Comparasion of dietary 25-hydroxicholecalciferol and cholecalciferol in broiler chickens. **Poultry Science**, 74:1159-1167.