



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
PROGRAMA DE DOUTORADO INTEGRADO EM ZOOTECNIA**

**JOELMA VASCONCELOS CELESTINO DA SILVA**

**FONTES E NÍVEIS DE ZINCO, COBRE E MANGANÊS NA NUTRIÇÃO DE  
POEDEIRAS COMERCIAIS**

**AREIA  
2021**

**JOELMA VASCONCELOS CELESTINO DA SILVA**

**FONTES E NÍVEIS DE ZINCO, COBRE E MANGANÊS NA NUTRIÇÃO DE  
POEDEIRAS COMERCIAIS**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Doutorado Integrado Zootecnia da Universidade da Paraíba e Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

**Área de concentração:** Zootecnia

**Comitê de orientação:**

Prof. Dr. Fernando Guilherme Perazzo Costa –  
Orientador principal

Prof. Dr. José Humberto Vilar da Silva –  
Comitê de orientação

Prof. Dr. Leonardo Augusto Fonseca Pascal –  
Comitê de orientação

**AREIA  
2021**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

S586f Silva, Joelma Vasconcelos Celestino da.

Fontes e níveis de zinco, cobre e manganês na nutrição de poedeiras comerciais /  
Joelma Vasconcelos Celestino  
da Silva. - Areia: UFPB/CCA, 2021.  
123 f. : il.

Orientação: Fernando Guilherme Perazzo Costa. Coorientação: José Humberto  
Vilar da Silva, Leonardo  
Augusto Fonseca Pascal.  
Tese (Doutorado) - UFPB/CCA.

1. Zootecnia. 2. Histologia. 3. Microminerais. 4. Ovos.  
I. Costa, Fernando Guilherme Perazzo. II. Silva, José Humberto Vilar da. III.  
Pascal, Leonardo Augusto Fonseca. IV. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 636(043.2)

## PARECER DE DEFESA DO TRABALHO DE TESE

**TÍTULO:** “FONTES E NÍVEIS DE ZINCO COBRE E MANGANÊS NA NUTRIÇÃO DE POEDEIRAS COMERCIAIS”

**AUTOR:** JOELMA VASCONCELOS CELESTINO DA SILVA

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. Fernando Guilherme Perazzo Costa

### J U L G A M E N T O

**CONCEITO:** APROVADO

**EXAMINADORES:**



Prof. Dr. Fernando Guilherme Perazzo Costa  
Presidente  
Universidade Federal da Paraíba/UFPB



Dr. Jorge Cunha Lima Muniz  
Examinador  
Universidade Federal de Viçosa/UFV



Prof. Dr. Danilo Teixeira Cavalcante  
Examinador  
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco/UFape



Profa. Dra. Patrícia Emília Naves Givisiez  
Examinador  
Universidade Federal da Paraíba/UFPB



Prof. Dr. Ricardo Romão Guerra  
Examinador  
Universidade Federal da Paraíba/UFPB

Areia, 15 de dezembro de 2020

## AGRADECIMENTOS

A *Deus* por ter estado comigo ao longo destes cinco anos, dando-me força, coragem, sabedoria, resiliência, fé e muita paciência e serenidade para chegar até aqui. Sei que cada momento vivido, tinha um propósito maior que a minha humana compreensão pudesse entender. Vós fostes o meu sustento, esperança e certeza que tudo passa, que a paciência, verdade e humildade tudo alcançam, e contar com sua providência nos dias em que o mar estava agitado, era o melhor abraço e mais lindo “eu te amo” que recebi até aqui. Os meus olhos viram o impossível acontecer, Ábba! Pois, quem como Deus? Ninguém como Deus!

À *Nossa Senhora*, que por inúmeras vezes foi o meu amparo, refúgio, refrigerio, minha inspiração e minha intercessora. A senhora de tantos nomes e graças, e aos cuidados de Nossa Senhora da Apresentação eu tive as minhas dores, lágrimas e angústias acolhidas e sanadas. Como é bom ter uma mãe tão amorosa e cuidadosa! Gratidão, minha Rainha!

A *minha família* por todo amor, carinho, compreensão, sacrifício e apoio incondicional. Obrigada por entenderem as minhas ausências, renúncias, os momentos de estresse e por me fazerem sentir-se tão amada a cada retorno para casa. Vocês são a minha maior motivação! Sem vocês eu jamais teria chegado aqui. Gratidão eterna! Agradeço ainda, à *tia Chermonth* que abraçou o meu sonho como se fosse seu e mesmo sendo a quilômetros de distância cuidou para que nada me faltasse, a senhora tem o meu amor, gratidão e zelo pela sua vida, hoje e sempre, obrigada tia!

A *Roney Moura*, sem você o primeiro passo para esta caminhada não teria ocorrido e grande parte do trajeto foi mais leve graças a sua pessoa. Obrigada por ter me ajudado a caminhar até os meus sonhos e construir parte deles comigo! Estendo os meus agradecimentos a *família Moura*, em especial *Dona Nilza e Felício*, grandes amigos, intercessores e apoiadores deste desafio. Serei sempre grata por tudo que a mim fizeram e proporcionaram durante todo o nosso tempo de convivência. Gratidão!

À *Universidade Federal da Paraíba*, junto ao *Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia*, estendendo os agradecimentos a *todo corpo docente* que foram base para trilhar esta caminhada. Como vocês pude aprender grandes coisas que vão além das matérias ministradas. O Campus de Areia tem lugar cativo em meu coração!

Ao meu orientador, *Prof. Fernando Perazzo* que além de orientador acadêmico me ensinou grandes princípios e valores pessoais que levarei saudosamente. O senhor foi um pouco de muitos papéis durante nossa convivência - um pai nos dias difíceis, um amigo em todos os momentos, família em datas especiais, um educador para apontar o caminho e puxar as orelhas, quando necessário e um irmão mais velho para fazer a gente perder os cabelos a cada novo experimento. Obrigada Professor por me apoiar, proteger, cuidar e ensinar coisas que em livro nenhum eu encontrarei. MUITO OBRIGADA!!

Aos professores do meu comitê (*Humberto e Leonardo*), os que compuseram a minha banca de qualificação (*Marcelo Ribeiro, Matheus, Danilo Vargas e Bruno Lobato*) e aos da banca da defesa final (*Jorge Muniz, Danilo Teixeira, Ricardo Romão e Patrícia Givisiez*) suas contribuições e apontamentos foram de grande relevância para a melhoria deste trabalho. Obrigada!

A minha adorável turma do doutorado (*Tonhá, Aianne, Gabi, Guilherme, David, Gildênia, Mikael, Gabriel e Leandro*) e aos amigos e colegas que conheci ao longo do curso -

*Rafael e Carol, Iasmim e Danilo, Maylane, Eudes, Humberto, Rany, Jonathan e Nayson* – Vocês ajudaram a suportar a saudade de família e a se sentir em casa. Obrigada pelos sorrisos frouxos, ouvidos prontos, colo disponível e as saudosas lembranças construídas!

*Aos alunos de graduação, mestrado e doutorado* que direta ou indiretamente contribuíram para realização da minha pesquisa de campo, bem como, os pós-doc e alguns componentes do GETA que aqui passaram e se dispuseram a ajudar; aos funcionários do setor (*Josá e Ramalho*) que por muitas vezes foram amigos em todos os momentos; além dos servidores públicos de todos os laboratórios (*Edjânio, Juliana, Juraci, Flávio, André, Jaldir e Magnólia*) pelos quais passei, obrigada a todos vocês que abraçaram as minhas necessidades e ajudaram de forma ímpar, fazendo com que este sonho torna-se concreto.

Aos amigos que compreenderam a minha ausência (*Rubervan, Alexsandra, Dinamércia, Adriana Elias, Aldenira, Joyce, Itânia e Gledson*) e ao mesmo tempo me enchiam de coragem para continuar, o apoio de vocês foi um dos meus principais pilares para sustentar a caminhada.

De forma especial, agradeço à *Isabelle Naemi* que usou de sua sensibilidade, conhecimento, doação e positividade para comigo durante a reta final; à *Eduarda e Thamires* que por inúmeras vezes foram a minha ajuda certa para todos os momentos (felizes, tristes, árduos ou leves); a *David Rwbystanne* por trilhamos lado a lado está trajetória impulsionando-nos, intercedendo um pelo outro e literalmente sendo o apoio necessário para chegarmos até o fim. Aos professores *Ricardo Guerra, Adailton, Paulão, Ariosvaldo, Walter e Patrícia* por terem compreendido as minhas intemperes e me permitiram vencer batalhas, as quais eu não teria conseguido sem a ajuda de vocês, fosse essa através de atos, palavras ou o apoio ilimitado; a *Thiago, Wellington, Vânia e Márcia* pela disponibilidade e prontidão em ajudar nas mais diversas atividades experimentais que precisei desenvolver na pesquisa; à *Mayara Araújo* pela sua entrega a desenvolver tão bem a sua função, que por muitas vezes foi um anjo amigo que Deus colocou no meu caminho para me ajudar, sem sobra de dúvidas a sua bondade, empatia, solidariedade fizeram com que enxergasse o que eu não estava vendo. A paz do seu olhar e a firmeza da certeza presente na sua voz dava-me a sensação que eu não estava só; a “*seu Dunga*” por toda proteção, assistência, generosidade e atenção para comigo; à *Gilnara Carlyne e Aline Portela*, agradeço por ter me recebido também e tornado o tempo de convivência juntas numa amizade para sempre, graças a vocês o medo e a insegurança não fizeram mais morada em mim. Vocês foram mais que essenciais na minha trajetória até aqui! Que Deus derrame graças infinitas na vida de cada um de vocês. MUITO OBRIGADA!

Na dinâmica da existência, Deus me permitiu ser muitas Joelmas, mesmo sendo uma só e é por isso que eu agradeço *a mim*, por não ter desistido de levantar e seguir em frente, mesmo nos dias em que as dores físicas ou emocionais eram imensas/insuportáveis e justificaria a minha desistência. Mas quando se sabe onde se quer chegar é só questão de tempo para o impossível tornar-se possível. Não foi fácil chegar até aqui, precisei derramar sangue, suor e lágrimas por diversas vezes, mas aprendi a recalcular a rota. Hoje me orgulho da Joelma que precisei me tornar para fechar este ciclo, portanto, é com muito amor, admiração e gratidão que agradeço a essa Joelma que bravamente lutou e não desistiu. OBRIGADA!

A Empresa *NOVUS* pela doação dos produtos utilizados na pesquisa.

A *CAPES* pela bolsa de estudos a mim concedida.

Meu muito obrigada!!!

## **Dedico**

A Deus e minha Mãe celestial,  
A minha mãe, pai, irmãos, sobrinho,  
E especialmente ao meu avô Nozinho (*in memoriam*), Roney Moura,  
tia Chermonth, tio Vein (*in memoriam*), tio Doca (*in memoriam*),  
Mayara Araújo e a mim.

Bem-aventurado o homem que suporta a provação; porque depois da aprovação receberá a coroa da vida, a qual o Senhor prometeu aos que o amam.  
(Tiago, 1:12)

# FONTES E NÍVEIS DE ZINCO, COBRE E MANGANÊS NA NUTRIÇÃO DE POEDEIRAS COMERCIAIS

## RESUMO GERAL

Objetivou-se avaliar o efeito da suplementação de zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn) com diferentes fontes e níveis de suplementação na dieta de poedeiras a partir do primeiro dia de vida até a 54ª semana de idades sob os parâmetros de desempenho, qualidade de ovo, morfometria intestinal e do sistema reprodutor, parâmetro de tíbias e quantificação da deposição mineral no ovo, fígado e excretas. Um total de 364 aves foram distribuídas a partir de um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 2, sendo o primeiro fator as fontes (sulfato vs mineral metionina hidróxi-análoga) e o segundo fator os níveis de suplementação de Zn, Cu e Mn (nível recomendado vs nível superior a recomendação), totalizando quatro tratamentos com sete repetições. As dietas foram formuladas para atender as exigências das aves baseada no manual da linhagem sendo elas iso proteicas e iso energéticas e os níveis utilizados foram 32/8/32ppm e 64/16/64ppm de Zn, Cu e Mn, respectivamente. No Capítulo 1 foram avaliados o desempenho inicial; a idade da ave ao primeiro ovo (dias), o peso do primeiro ovo (g), o intervalo entre os primeiros ovos (dias); da 17ª a 54ª semanas - o número de ovos (unidades), o peso do ovo (g) e a produção de ovos/ave (%); e os aspectos morfológicos do magno e útero na fase de pré-postura, pré-pico e postura. No Capítulo 2 as variáveis analisadas foram desempenho das aves, qualidade dos ovos, morfometria intestinal, parâmetro de tíbia e quantificação dos minerais. Para os dados referentes aos primeiros ovos, foi realizada análise estatística descritiva e os resultados das demais variáveis utilizou-se ANOVA e comparação das médias pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). Os resultados do Capítulo 1 foram, a ocorrência do primeiro ovo aos 119 dias de idade com 34,79g de peso com o uso da fonte sulfato + níveis recomendados (FS+NR) de Zn, Cu e Mn. O intervalo entre ovos foi menor com a fonte quelatada + níveis superior ao recomendado (FQ+NS); o número, peso e produção de ovos foram maiores com o uso da FQ+NS da 20ª à 54ª semana. A FS+NR de Zn, Cu e Mn resultaram em melhores aspectos microscópicos do magno e útero na 54ª semana de idade. Nos resultados do Capítulo 2 observa-se a ocorrência de interação da fonte e os níveis de Zn, Cu e Mn para: conversão por dúzia de ovos (CDZ, g/dz); largura de vilo duodenal, profundidade de cripta duodenal; quantidade de fósforo e cobre na casca do ovo. Houve diferença significativa entre as fontes para sobre o desempenho das aves (CR, PR, CMO E CDZ), na qualidade da casca, na morfologia do íleo e na quantidade de fósforo presente na casca do ovo. Quanto aos níveis de suplementação as variáveis influenciadas foram: a concentração de fósforo na casca do ovo e a quantidade de Zn, Cu e Mn nas excretas. Não ocorreu interação ou efeito isolado da fonte e níveis para as variáveis de desempenho (PO e MO), da qualidade de ovos, exceto o peso da casca, morfometria intestinal do jejuno, parâmetros de tíbias e quantidade de minerais presente na gema e no fígado. As aves que utilizaram a fonte sulfato tiveram melhores CR, PR, maior profundidade de cripta duodenal, mais deposição de fósforo na casca do ovo e menor excreção de Zn, Cu e Mn. A fonte quelatada aumentou a CMO, CDZ, o peso da casca, a altura de vilo do íleo e reduziu a quantidade de fósforo na casca do ovo. Os níveis superiores as recomendações resultaram em menor quantidade de fósforo na casca e maior quantidade de Zn, Cu e Mn nas excretas. Analisado todos os efeitos da suplementação do Zn, Cu e Mn com diferentes fontes e níveis, recomenda-se a suplementação das aves com a fonte sulfato com níveis recomendados de microminerais (32/8/32) para poedeiras leves de um dia a 54 semanas de idade.

**Palavras-chave:** Desempenho. Excreta. Histologia. Microminerais. Ovos. Tíbia.

## ZINC, COPPER AND MANGANESE SOURCES AND LEVELS IN THE NUTRITION OF COMMERCIAL HEN'S LAYERS

### ABSTRACT

Was to evaluate the effect of supplementation of zinc (Zn), copper (Cu) and manganese (Mn) with different sources and levels of supplementation in the diet of laying hens from the first day of life until the 54<sup>th</sup> week of age under the parameters of performance, egg quality, small intestine and reproductive system morphometry, tibia parameter and quantification of mineral deposition in the egg, liver and excreta. 364 birds were distributed from a completely randomized design, in a 2 x 2 factorial, the first factor being the sources (sulfate vs mineral hydroxy-analogue methionine) and the second factor the levels of supplementation of Zn, Cu and Mn (recommended level vs higher than recommended level), totaling four treatments with seven repetitions. The diets were formulated to meet the requirements of the birds based on the lineage manual and they are iso protein and iso energy and the levels used were 32/8/32ppm and 64/16/64ppm of Zn, Cu and Mn, respectively. In Chapter 1, initial performance was assessed; the age of the bird to the first egg (days), the weight of the first egg (g), the interval between the first eggs (days); from 17th to 54th weeks - the number of eggs (units), the weight of the egg (g) and the production of eggs / poultry (%); and the morphological aspects of the magnum and uterus in the pre-posture, pre-peak and posture phase. In Chapter 2, the variables analyzed were bird performance, egg quality, intestinal morphometry, tibia parameter and mineral quantification. For the data referring to the first eggs, a descriptive statistical analysis was performed and the results of the other variables were used ANOVA and comparison of means by the Tukey test ( $P < 0.05$ ). The results of Chapter 1 were the occurrence of the first egg at 119 days of age with 34.79g of weight using the sulfate source + recommended levels (FS + NR) of Zn, Cu and Mn. The interval between eggs was shorter with the chelated source + higher levels than recommended (FQ + NS); the number, weight and egg production were higher with the use of FQ + NS from the 20th to the 54th week. FS + NR of Zn, Cu and Mn resulted in better microscopic aspects of the magnum and uterus at 54 weeks of age. The results of Chapter 2 show the occurrence of source interaction and the levels of Zn, Cu and Mn for: feed conversion ratio (kg feed/dozen eggs); duodenal villus width, duodenal crypt depth; amount of phosphorus and copper in the egg shell. There was a significant difference between the sources for the performance of the birds (FI, EP, FCEM and FCR), in the quality of the shell, in the morphology of the ileum and in the amount of phosphorus present in the egg shell. Regarding supplementation levels, the variables influenced were: the concentration of phosphorus in the eggshell and the amount of Zn, Cu and Mn in the excreta. There was no interaction or isolated effect of the source and levels for the performance variables (EW and EM), egg quality, except the shell weight, intestinal morphometry of the jejunum, tibial parameters and quantity of minerals present in the yolk and liver. The birds that used the sulfate source had better FI, EP, greater depth of duodenal crypt, more deposition of phosphorus in the egg shell and less excretion of Zn, Cu and Mn. The chelated source increased the FCEW, FCR, the weight of the shell, the height of the ileum and reduced the amount of phosphorus in the egg shell. Levels higher than the recommendation resulted in less phosphorus in the shell and higher amounts of Zn, Cu and Mn in the excreta. Having analyzed all the effects of supplementing Zn, Cu and Mn with different sources and levels, it is recommended to supplement birds with the sulfate source with recommended levels of micro minerals (8/32/32) for light-hens from one day to 54 weeks.

**Keywords:** Performance. Excrete. Histology. Microminerals. Eggs. Tibia.

## LISTA DE TABELAS

### **CAPÍTULO 2 – Efeito da suplementação de diferentes fontes e níveis de zinco, cobre e manganês no desenvolvimento reprodutivo de poedeiras leves**

Tabela 1 - Detalhamento do programa de luz utilizado na pesquisa e valores de temperatura e umidade do ar durante o período experimental .....	49
Tabela 2 - Valores nutricionais de zinco, cobre e manganês presentes nos tratamentos estudados durante as 54 semanas idade de poedeiras leves .....	50
Tabela 3 - Composição percentual e valores nutricionais calculados das rações experimentais para poedeiras leves na fase de cria (1 a 3 semanas) .....	51
Tabela 4 - Composição percentual e valores nutricionais calculados das rações experimentais para poedeiras leves na fase de cria (4 a 6 semanas) .....	52
Tabela 5 - Composição percentual e valores nutricionais calculados das rações experimentais para poedeiras leves na fase de recria (7 a 12 semanas) .....	53
Tabela 6 - Composição percentual e valores nutricionais calculados das rações experimentais para poedeiras leves na fase de recria (13 a 15 semanas) .....	54
Tabela 7 - Composição percentual e valores nutricionais calculados das rações experimentais para poedeiras leves na fase de pré-postura (16-17 semanas) .....	55
Tabela 8 - Composição percentual e valores nutricionais calculados das rações experimentais para poedeiras leves na fase de pré-pico e postura (18-37 semanas) .....	56
Tabela 9 - Composição percentual e valores nutricionais calculados das rações experimentais para poedeiras leves na fase de postura (38-48 semanas) ....	57
Tabela 10 - Composição percentual e valores nutricionais calculados das rações experimentais para poedeiras leves na fase de postura (49-54 semanas) ....	58
Tabela 11 - Efeito da suplementação de diferentes fontes e níveis de zinco, cobre e manganês sobre o desempenho inicial (1 a 15 semanas) de frangas de reposição .....	62
Tabela 12 - Efeito da interação das fontes e níveis de zinco, cobre e manganês sobre a conversão alimentar (kg/ave) de poedeiras leves com 3 semanas de idade .	63
Tabela 13 - Efeito da suplementação de diferentes fontes e níveis de zinco, cobre e manganês sobre a maturidade sexual (idade e peso do ovo) e início da postura (intervalo entre o primeiro e o segundo ovo) de poedeiras comerciais leves .....	65
Tabela 14 - Efeito da suplementação de diferentes fontes e níveis de zinco, cobre e manganês sobre o magno e útero de poedeiras leves na 17ª semana de idade	77
Tabela 15 - Efeito da suplementação de diferentes fontes e níveis de zinco, cobre e manganês sobre o magno e útero de poedeiras leves na 23ª semana de idade	78
Tabela 16 - Efeito da suplementação de diferentes fontes e níveis de zinco, cobre e manganês sobre o magno e útero de poedeiras leves na 54ª semana de idade	80
Tabela 17 - Efeito da interação de diferentes fontes e níveis de zinco, cobre e manganês sobre a altura de dobra do magno ( $\mu\text{m}$ ) de poedeiras leves na 54ª semana de idade .....	81

### **CAPÍTULO 3 – Diferentes fontes e níveis de zinco, cobre e manganês em dietas de poedeiras leves**

Tabela 2 - Composição percentual e valores nutricionais calculados das rações experimentais para poedeiras leves na fase de postura (38-48 semanas) ....	98
Tabela 3 - Composição percentual e valores nutricionais calculados das rações experimentais para poedeiras leves na fase de postura (49-54 semanas) ...	99
Tabela 4 - A composição química da água .....	100
Tabela 5 - Desempenho de poedeiras leves de 30-54 semanas de idade suplementada com diferentes fontes e níveis de zinco, cobre e manganês .....	105
Tabela 6 - Efeito da interação das fontes e níveis de zinco, cobre e manganês sobre a conversão por dúzia de ovos (CDZ, Kg/dz) de poedeiras leves de 30 a 54 semanas de idade .....	106
Tabela 7 - Qualidade de ovos de poedeiras leves de 30-54 semanas de idade suplementada com diferentes fontes e níveis de Zn, Cu e Mn .....	108
Tabela 8 - Características de tíbias de poedeiras leves em resposta a suplementação de fonte inorgânica e orgânica de Zn, Cu e Mn de 30 a 54 semanas de idade (continua...) .....	110
Tabela 8 - Características de tíbias...continuação .....	110
Tabela 9 - Morfometria do intestino delgado de poedeiras leves com 54 semanas suplementadas com diferentes fontes e níveis de Zn, Cu e Mn .....	112
Tabela 10 - Efeito da interação das fontes e níveis de zinco, cobre e manganês sobre a largura de vilo duodenal de poedeiras leves com 54 semanas de idade.....	113
Tabela 11 - Efeito da interação das fontes e níveis de zinco, cobre e manganês sobre a profundidade de cripta do duodeno de poedeiras leves com 54 semanas de idade .....	114
Tabela 12 - Efeito das fontes e níveis de minerais sob a deposição da casca, gema, fígado e excreta d de poedeiras leves com 54 <sup>a</sup> semana de idade das aves (continua...) .....	116
Tabela 12 - Efeito das fontes e níveis de minerais...continuação .....	116
Tabela 13 - Efeito da interação entre as fontes e os níveis de zinco, cobre e manganês sobre a quantidade de fósforo presente na casca do ovo de poedeiras leves com 54 semanas de idade .....	117
Tabela 14 - Efeito da interação entre as fontes e nos níveis de zinco, cobre e manganês sobre o a quantidade de cobre presente na casca do ovo de poedeiras leves com 54 semanas de idade .....	118

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1 - Referencial teórico

Figura 1 - Principais funções do cobre, manganês e zinco .....	24
Figura 2 - Maneiras com as inter-relações entre os microminerais podem ocorrer dentro do trato gastrointestinal .....	30
Figura 3 Inter-relações, sinergismos e antagonismos dos principais microminerais como minerais, vitaminas e hormônios em não ruminantes .....	32

### CAPÍTULO 2 – Efeito da suplementação de diferentes fontes e níveis de zinco, cobre e manganês no desenvolvimento reprodutivo de poedeiras leves

Figura 1 - Efeito da suplementação de diferentes fontes e níveis de zinco,cobre e manganês sobre o número de ovos produzidos por poedeiras leves com idades de 17 a 54 semanas .....	68
Figura 2 - Efeito da suplementação de diferentes fontes e níveis de zinco,cobre e manganês sobre o peso dos ovos de poedeiras leves com idades de 17 a 54 semanas .....	72
Figura 3 - Efeitos da suplementação de diferentes fontes e níveis de zinco,cobre e manganês sobre a produção de ovos de poedeiras leves com idades de 17 a 54 semanas .....	75
Figura 4 - Fotomicrografias do magno de poedeiras leves em diferentes fases: A- aves com 17 semanas de idade, B- aves com 23 semanas de idade, C – aves com 54 semana de idade suplementadas com diferentes fontes e níveis de Zn, Cu e Mn ...	84
Figura 5 - Fotomicrografias do útero de poedeiras leves em diferentes fases:A- aves com 17 semanas de idade, B- aves com 23 semanas de idade, C – aves com 54 semanas de idade suplementadas com diferentes fontes e níveis de Zn, Cu e Mn .....	85

## SUMÁRIO

<b>CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>REFERENCIAL TÉORICO.....</b>	<b>17</b>
<b>EVOLUÇÃO DA NUTRIÇÃO MINERAL PARA ANIMAIS .....</b>	<b>18</b>
<b>FONTES MINERAIS .....</b>	<b>18</b>
<i>Minerais inorgânicos .....</i>	<i>18</i>
<i>Minerais orgânicos .....</i>	<i>20</i>
<b>FONTE INORGÂNICA vs FONTE ORGÂNICA .....</b>	<b>22</b>
<b>IMPORTÂNCIA DOS MINERAIS TRAÇO .....</b>	<b>24</b>
<i>Cobre .....</i>	<i>26</i>
<i>Manganês .....</i>	<i>26</i>
<i>Zinco .....</i>	<i>27</i>
<b>FATORES QUE PODEM INTERFERIR NA NUTRIÇÃO E FISIOLOGIA DA ABSORÇÃO DOS MICROMINERAIS .....</b>	<b>28</b>
<i>Biodisponibilidade .....</i>	<i>28</i>
<i>Toxicidade .....</i>	<i>29</i>
<b>INTER-RELAÇÕES ENTRE OS MICROMINERAIS .....</b>	<b>30</b>
<b>RELAÇÃO DOS MINERAIS COM: .....</b>	<b>33</b>
<i>Qualidade do ovo – casca .....</i>	<i>33</i>
<i>Morfologia intestinal .....</i>	<i>34</i>
<i>Morfologia reprodutor feminino .....</i>	<i>35</i>
<i>Tecido ósseo .....</i>	<i>36</i>
<i>Impacto ambiental .....</i>	<i>37</i>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>38</b>
<b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>Efeito da suplementação de diferentes fontes e níveis de zinco, cobre e manganês no desenvolvimento reprodutivo de poedeiras leves .....</b>	<b>43</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>46</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>47</b>
<i>Desenho experimental e instalações .....</i>	<i>47</i>
<i>Dietas .....</i>	<i>49</i>
<i>Variáveis analisadas.....</i>	<i>59</i>
<i>Desempenho das aves .....</i>	<i>59</i>
<i>Idade ao primeiro ovo e produção de ovos .....</i>	<i>59</i>
<i>Morfologia do sistema reprodutor feminino .....</i>	<i>59</i>
<i>Análise Estatística .....</i>	<i>60</i>
<b>RESULTADOS E DISCURSÃO .....</b>	<b>61</b>
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>86</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>87</b>
<b>CAPÍTULO 3</b>	
<b>Diferentes fontes e níveis de zinco, cobre e manganês em dietas de poedeiras leves .....</b>	<b>90</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>93</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>94</b>

<i>Desenho experimental e instalações</i> .....	94
<i>Dietas</i> .....	96
<i>Variáveis analisadas</i> .....	100
<i>Desempenho</i> .....	100
<i>Qualidade do ovo</i> .....	100
<i>Morfometria Intestinal</i> .....	101
<i>Parâmetro de tíbia</i> .....	102
<i>Quantificação dos minerais</i> .....	102
<i>Análise Estatística</i> .....	103
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	103
<b>CONCLUSÃO</b> .....	119
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	120
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES</b> .....	122

## CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No que se refere as rações para poedeiras, sabe-se que são formuladas à base de grãos vegetais - principalmente o milho e a soja - os quais são deficitários em minerais. Dessa forma a suplementação mineral das rações torna-se necessária devido à participação dos minerais em diversos processos que vão desde a formação de enzimas até processos estruturais, tais como a formação óssea, a constituição da casca dos ovos e a qualidade interna do ovo. Além disso, a forma e a quantidade com que os minerais estão sendo disponibilizados na dieta das poedeiras podem vir a causar desequilíbrios nutricionais no corpo das aves, seja pela deficiência ou excesso do mineral, conseqüentemente, introduzi-los na alimentação animal foi um marco para a indústria de ração animal por permitir a melhora de problemas ósseos e de desempenho animal.

Do ponto de vista nutricional é preciso o fornecimento adequado de todos os nutrientes para atender às necessidades das aves de acordo com cada uma de suas fases de desenvolvimento até a produção. É essencial, com o início da postura, que seja feita prevenção contra a má formação da casca dos ovos em virtude da condição corporal e nutricional desses animais torna-se mais exigida metabolicamente com a produção dos ovos, pois, do ponto de vista comercial, a qualidade da casca do ovo torna-se mais relevante do que a qualidade interna do ovo porque a casca funciona como um tipo de embalagem que protege o albúmen e a gema contra as perdas naturais à medida que o ovo envelhece. A casca protege também o produto biológico contra possíveis agressões mecânicas durante o manuseio dos ovos no momento da coleta pós-postura até a sua comercialização.

As rações comerciais passaram a utilizar novos artifícios nutricionais para melhorar a suplementação mineral, por exemplo os minerais orgânicos que recebem essa terminologia por utilizar uma molécula orgânica junto do mineral, além da disponibilidade da fonte inorgânica tradicional. Também foi introduzida na composição química das rações os microminerais que são os minerais requeridos em menor quantidade pelo organismo mais de suma importância para o seu bom funcionamento, dentre eles o zinco, cobre e o manganês ganham mais atenção que os demais micros, devido as funções que esses desempenham no organismo.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar os efeitos da fonte sulfato e metionina hidroxil análoga de zinco, cobre e manganês com diferentes níveis de suplementação para poedeiras a partir do primeiro dia de vida até a 54ª semana de idade das aves através das variáveis de desempenho, qualidade de ovo, histologia dos sistemas digestório e reprodutor das aves, bem

como, a qualidade óssea e quantificação dos minerais presente no ovo, no fígado e nas excretas por meio dos experimentos aqui desenvolvidos.

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

**Fontes e níveis de zinco, cobre e manganês na nutrição de poedeiras comerciais**

## EVOLUÇÃO DA NUTRIÇÃO MINERAL PARA ANIMAIS

A origem da suplementação mineral animal tem como norteador a nutrição humana, que foi referência para a solução de problemas de desordem metabólica, cujos sintomas eram semelhantes nos animais. A partir de então foi possível resolver situações como perturbações ósseas; conhecer o potencial nutritivo dos alimentos encaminhando-se ao desenvolvimento de rações com maior densidade de nutrientes; gerar o modelo de criação em confinamento (RUTZ e MURPHY, 2009) que contribuíram para expansão da produção animal.

A utilização de microminerais na nutrição animal teve maior expansão a partir da década de 1930, devido ao resultado de pesquisas universitárias que apontaram o zinco e o cobre como nutrientes essenciais, além dos macrominerais já utilizados. Na época, a comercialização de fontes contendo zinco e cobre (resíduos e subprodutos industriais) a baixo custo permitiu que os mesmos fossem introduzidos na dieta animal, passando a ser um marco para a indústria de ração animal por contribuir na melhora dos problemas ósseos e de desempenho dos animais de produção, entre eles, as poedeiras.

Em detrimento do ocorrido e o avanço das pesquisas nutricionais até os dias atuais, entende-se que a fonte mineral ofertada na ração é um diferencial para o melhor desempenho das aves. Atualmente as fontes minerais são classificadas de acordo com o funcionamento no organismo do animal em relação à eficiência de absorção do metal (biodisponibilidade), assim, conforme Cohen e Steward (2014) podem ser descritas como: fontes convencionais ou inorgânicas (minerais inorgânicos); forma complexada ou orgânica (minerais orgânicos); complexos de metal inorgânico hidrolisado (hidroxi-minerais).

Independentemente do tipo de fonte mineral utilizada para suplementar as poedeiras, as funções dos minerais não são alteradas, o que tende a ocorrer é uma modificação na forma como esses minerais estão biodisponíveis para serem utilizados nos tecidos.

### FONTES MINERAIS

#### **Minerais inorgânicos**

A forma mineral habitualmente utilizada na nutrição animal são as fontes inorgânicas (óxidos, sulfatos, cloretos, carbonatos e fosfatos) por representarem um custo menor em relação às outras opções disponíveis no mercado (SILVA e PASCOAL, 2014).

Normalmente os microminerais são suplementados na forma de sais inorgânicos, mas devido a facilidade de dissociarem no ambiente com baixo pH no trato gastrointestinal superior (proventrículo), deixando-os mais susceptíveis a vários nutrientes e aos antagonistas que podem prejudicar a absorção e reduzir sua biodisponibilidade (UNDERWOOD, 1999) devido a solubilidade dos tipos de fontes dos sais inorgânicos serem diferentes (sulfatos e cloretos são mais solúveis do que carbonatos e óxidos) (MILES *et al.*, 1998).

De acordo com Rijsselaere e Bruneel (2018), os óxidos possuem ligações iônicas fortes que os impedem a dissociação e dessa forma não são absorvidos apenas excretados, enquanto os sulfatos são prematuramente mais solúveis (possuem ligações iônicas fracas). Uma vez dissociado, o metal ionizado se une a outros nutrientes da dieta, reduzindo a absorção tanto do nutriente como do próprio mineral.

Conforme Ashmead (1993), na maioria dos casos, o mineral na dieta deve estar como um cátion quando chegar ao intestino delgado, ligando-se a aminoácidos ou proteínas transportadoras, pois só assim são transportados para o citoplasma e absorvidos em sua maior parte no duodeno, devido ao pH desse segmento intestinal.

Relatos bibliográficos constataram interações do pH do trato gastrointestinal com a dieta ingerida, podendo interferir ativamente na absorção mineral, sendo necessária uma solubilização prévia da fonte mineral no lúmen intestinal antes da absorção (ASHMEAD, 1993; MILES *et al.*, 1998; UNDERWOOD, 1999). Para Ashmead (1993) o processo de absorção é dependente do pH em virtude do ambiente, por exemplo, o pH ácido do proventrículo melhora a solubilização, enquanto o pH do intestino delgado a reduz, assim, os minerais podem se tornar insolúveis, impedindo sua absorção durante a passagem no intestino.

Os microminerais apresentam taxas de absorção relativamente baixas ocorrendo formas diferentes de absorção (difusão passiva ou transporte ativo) de acordo com a concentração mineral no lúmen intestinal ou a presença de proteínas específicas (BERTECHINI, 2014; GOFF, 2018). Segundo Vieira (2008), quando os microminerais são solubilizados, as formas iônicas apresentam cargas elétricas que podem comprometer sua absorção por interagirem com outros componentes da dieta. Podem estar em quelatos, como o fitato, e terem uma interferência pela fibra, tanino, oxalato, silicatos ou outros minerais no trato gastrointestinal que pode reduzir também a disponibilidade. Bem como causar irritação da mucosa intestinal, com outros minerais e, finalmente, ser excretado no ambiente (MWANGI *et al.*, 2017).

Além de todos os fatores relatados é pertinente citar a dificuldade em se determinar a digestibilidade e absorção dos minerais com precisão porque o organismo secreta minerais

endógenos no trato gastrointestinal via suco pancreático, bile e células da mucosa (HAMBRIDGE; CASEY; KREBS, 1986).

A quantidade e a qualidade dos minerais na ração são importantes, porém o mais relevante é a inter-relação entre cada mineral e outros nutrientes, pois quando em quantidades abaixo das necessidades, surgem deficiências nutricionais e em excesso o crescimento pode ser retardado e vitaminas podem ser destruídas (ARAÚJO *et al.*, 2008). Por exemplo, o excesso de ingestão de Zn pode resultar em deficiência de Cu, que por sua vez, influencia na utilização de ferro pelo o organismo (AKSU; AKSU; OZSOY, 2010).

Araújo *et al.* (2008), destacaram a importância da forma física, do tamanho das partículas e a ausência de substâncias tóxicas para os animais na aquisição dos compostos minerais provenientes de fontes inorgânicas.

### **Minerais orgânicos**

Minerais orgânicos ou quelatados são nomenclaturas utilizadas para fazer menção aos minerais inorgânicos que utilizam moléculas orgânicas na sua composição química. Um quelato é um composto cíclico formado entre uma molécula orgânica e um íon metálico, sendo este último mantido dentro da molécula orgânica como se fosse uma garra (o "quelato" é derivado do grego que significa "garra" (McDOWEELL, 2003). É importante esclarecer que não existe mineral orgânico, todo mineral é inorgânico, porém recebe essa terminologia por ser ligada a uma molécula orgânica como o objetivo modificar o sítio de absorção e, aumentar a taxa de absorção dos microminerais, possibilitando a redução dos níveis de suplementação.

Essas ligações tornam os minerais mais estáveis e menos sujeitos a interações, tornando-os mais disponíveis ao organismo quando comparados às fontes inorgânicas (RICHARDS *et al.*, 2010) por impedir a sua conversão a um composto químico insolúvel no lúmen intestinal ou dificultar a sua absorção em um coloide insolúvel (LEESON e SUMMERS, 2001). A ligação aminoácido e mineral não tem vínculo entre os compostos e quando dissociados não há perda do valor nutricional de ambos. Alguns exemplos deste tipo de ligação incluem glicina-cobre (Cu), histidina-ferro (Fe) e cisteína-zinco (Zn) (BERTECHINI, 2014).

Os minerais orgânicos variam em relação ao ligante usado para formar o complexo de metal e são tipicamente agrupados como: complexos, quelatos ou proteinatos. O termo complexo refere-se à reação de um íon metálico com uma molécula ou um íon que contenha um átomo que possua um único par de elétrons (RUTZ e MURPHY, 2009).

Os quelatos são estruturas aneladas que envolvem metais normalmente bivalentes, sendo classificados como: estruturais estáveis e úteis ao organismo; estruturais estáveis e prejudiciais ao aproveitamento do mineral; estruturais estáveis e úteis no aproveitamento do mineral (BERTECHINI, 2014). Como já mencionado, os microminerais mais pesquisados são o Cu, Mn e Zn, devido à possibilidade de formar ligações covalentes coordenadas com aminoácidos e peptídeos (RUTZ e MURPHY, 2009). Os proteínatos são produtos resultantes da quelatação entre um sal solúvel com aminoácidos ou hidrolisado parcial de proteínas (AAFCO, 2000).

A maior parte das pesquisas utilizando diferentes tipos de fontes para suplementação mineral das poedeiras apontam os minerais orgânicos como opção altamente viável e funcional, com maior estabilidade e biodisponibilidade, proporcionando melhores índices de absorção e, conseqüentemente, melhores taxas de eficiência de uso. Todavia, as vantagens e o efeito das fontes orgânicas sobre as fontes inorgânicas ainda permanecem controversos, podendo confundir a interpretação dos resultados (KIEFER, 2005; SILVA e PASCOAL, 2014). Há ainda o efeito benéfico ao meio ambiente devido à redução mineral na excreção. Este efeito foi verificado no estudo de Boruta *et al.* (2007) que relataram aumento da resistência óssea e diminuição da excreção mineral em todos os tratamentos em que poedeiras receberam a fonte orgânica comparadas às que receberam fontes inorgânicas de minerais.

Diferente dos minerais inorgânicos, a melhor absorção dos minerais orgânicos é devido à menor possibilidade de interação durante a digestão, pois são quimicamente inertes. Além disso, a presença de metal na sua estrutura torna-o resistente à ação das peptidases que poderiam quebrar as ligações internas dos peptídeos e destruir os quelatos (RUTZ; PAN; XAVIER, 2007; HARTMAN, 2017). Para os mesmos autores, o mecanismo de absorção dos minerais orgânicos é semelhante aos das proteínas, havendo diferença na estrutura, pois são menos hidrolisados no interior das células e posteriormente transportados intactos pelo sangue até o sítio de atuação, onde se acredita que ocorra a separação do íon metálico.

Na forma complexada, os minerais são absorvidos por carreadores intestinais de aminoácidos e de peptídeos, e não pelos transportadores intestinais clássicos de minerais, permitindo maior biodisponibilidade e capacidade de serem armazenados por períodos mais longos que os inorgânicos (RUTZ; PAN; XAVIER, 2007). A utilização de microminerais mais biodisponíveis pode ser mais eficiente em fases de maior desenvolvimento da ave de postura, quando há intenso metabolismo celular e enzimático e conseqüente necessidade de minerais como cofatores (NYS *et al.*, 2004). Trabalhos como o Paik (2001) solidificam tais

apontamentos ao descrever que a utilização de minerais complexados pode amenizar a queda na produção de ovos em galinhas mais velhas no segundo ciclo de postura.

### **FONTE INORGÂNICA vs FONTE ORGÂNICA**

Abd El-Hack *et al.* (2017) avaliaram o efeito de Zn-Met no desempenho e qualidade de ovos de poedeiras (22 a 34 semanas) e encontraram efeito da fonte orgânica sobre o consumo de ração. O acréscimo dos níveis Zn-Met (até 100 mg / kg de dieta) contribuiu para o aumento no número de ovos, peso e a massa de ovos em comparação com outros grupos. Ao utilizar Zn-Met em aves com 49 semanas de idade, Li *et al.* (2019) encontraram aumento no consumo de ração e na taxa de conversão alimentar por massa de ovos com a suplementação de 80 mg/kg de Zn-met.

O uso de Zn inorgânicos (sulfato de Zn) com diferentes níveis de suplementação para poedeiras de segundo ciclo de produção resultou em melhor desempenho de postura, menor consumo de ração e redução de comportamento agressivo no grupo das aves que receberam 130 mg de Zn/kg de ração (SOROSH *et al.*, 2018).

Pang e Applegate (2007) ao testarem fontes inorgânica e orgânica de Cu relataram diferentes efeitos para as fontes testadas quanto suas solubilidade obtendo respostas sobre o crescimento da ave, na oxidação da vitamina E e na utilização do fitato-P, de maneira oposta. Oliveira *et al.* (2019), constataram melhora na conversão alimentar das aves que fizeram uso de fonte orgânica de Cu (25ppm de proteinato) como promotor de crescimento quando utilizaram rações sem antibiótico. Segundo Arias e Koutsos (2006), o cobre pode afetar a microbiota intestinal, reduzir a número de linfócitos intestinais e permitir melhor crescimento das aves.

Em estudo recente, Ren *et al.*, (2020) compararam os efeitos de diferentes fontes de Zn e Cu (óxido vs mineral metionina hidroxí análoga) na presença de fitase e concluíram que o Zn orgânico melhorou a eficácia da fitase na degradação do fitato-P em comparação como o Zn inorgânico, enquanto o Cu orgânico foi mais eficaz como promotor de crescimento que o Cu inorgânico e ainda exerceu efeito sinérgico com a fitase resultando em melhor eficiência alimentar e mineralização óssea. Os mesmos autores atribuíram a suplementação da fitase os efeitos encontrados na morfologia do intestino delgado (aumento da altura de vilosidade no duodeno, jejuno e íleo).

Que a utilização de Zn, Cu e Mn na forma orgânica para poedeiras promoveu maior peso de ovo e de gravidade específica, e permitiu a redução da quantidade de ovos danificados ao utilizar dieta basal com 50% de suplementação desses microminerais (MACIEL *et al.*, 2010). Por outro lado, Yildiz *et al.*, (2011) utilizando diferentes fontes e níveis de Mn não observaram mudanças significativas no peso, espessura e resistência de casca, e da gravidade específica.

Saleh *et al.*, (2019) ao incluírem Zn, Cu e Mn orgânico na dieta das aves constaram aumento do peso do ovo, na largura do albúmen, no peso e espessura da casca, como também, melhora no perfil plasmático, na concentração de minerais na gema, na oxidação dos lipídios da gema e a resposta imune da poedeiras foi melhor quando a temperatura ambiente aumentou.

Segundo Stefanello *et al.* (2014) há menor perda de ovos e maior resistência da casca com a suplementação da fonte orgânica de cobre, manganês e zinco quando comparada com a fonte inorgânica na ração de poedeiras. Spring (2013) reuniu 23 trabalhos entre 1996 a 2008 e fez uma meta análise, verificando que a substituição total de minerais inorgânicos por minerais orgânicos (proteínatos) melhorou a espessura e a resistência da casca e conseqüentemente diminuiu a porcentagem de ovos trincados ou rachados.

Em relação ao desempenho e a qualidade dos ovos de poedeiras, Yilmaz Dikmen *et al.* (2015) concluíram que a suplementação de 1 g / kg mineral quelato aminoácídico (ZnAA - MnAA) à dieta aumentou o peso dos ovos, a produção de ovos e teve efeitos favoráveis qualidade externa e interna dos ovos de poedeiras no final do período de postura.

Rubio Zapata (2016) avaliou o efeito de níveis crescentes de Zn, Mn e Cu na dieta, a partir de fontes orgânicas e inorgânicas, relatando redução na produção e massa de ovos, aumento da gema em 23% e aumento do teor de ferro e cálcio no ovo em concentrações superior a 150 mg/kg de Zn dietético.

Carvalho *et al.* (2015), avaliaram a inclusão de minerais orgânicos (Cu, Mn e Zn) na alimentação de galinhas poedeiras de segundo ciclo e concluíram que em todos os níveis (100, 90, 80 e 70%) ocorre redução na excreção dos minerais avaliados e não afeta a produção e a qualidade dos ovos.

## **IMPORTÂNCIA DOS MICROMINERAIS**

Os minerais são elementos inorgânicos que aves não têm capacidade de sintetizá-los, sendo necessário o uso de fontes minerais adequadas para suprir a exigência nutricional dos animais. A deficiência mineral pode gerar problemas de ordem metabólica, estrutural e

fisiológica pois eles atuam em importantes processos bioquímicos corporais. Os minerais são divididos em macro e microminerais em função da quantidade necessária exigida pelo organismo, mas todos atuam de forma imprescindível ao ótimo funcionamento do corpo da ave.

A importância dos microminerais foi negligenciada por muito tempo (BERTECHINI, 2014). À medida que o conhecimento sobre eles era ampliado, detectou-se influências amparadas em duas vertentes: a primeira com resultados positivos por melhorar a taxa de postura, a qualidade da casca do ovo e maior eclodibilidade de ovos oriundos de aves destinadas à reprodução (RIJSSELAERE e BRUNEEL, 2018) e a segunda com efeito negativo (redução do desempenho, da qualidade externa e interna dos ovos e possível contaminação ambiental) (SINGH; GHOSH; HALDAR, 2015). Consequentemente, concluiu-se, que o desempenho e a saúde das poedeiras necessitam da manutenção do *status* mineral. Os primeiros sinais de deficiência mineral são subclínicos (declínio da imunidade e das atividades enzimáticas) mas também pode afetar o desempenho e ocorrer o surgimento de patologias da idade e do período pelo o qual as aves passem pela carência mineral (LEESON e SUMMERS, 2001; McDOWELL, 2003).

Os microminerais têm inúmeras funções (Figura 1) a principal é como agentes catalíticos em todas as reações do metabolismo, sendo requeridos em valores inferiores a 50 mg/kg de peso vivo (BERTECHINI, 2014).

Figura 1 – Principais funções do cobre, manganês e zinco

<b>Mineral</b>	<b>Principais funções</b>
Cobre (Cu)	Ativador enzimático envolvendo o transporte e a transferência de oxigênio, metabolismo dos aminoácidos e do tecido conectivo; auxilia na absorção do Fe.
Manganês (Mn)	Integridade da matriz orgânica óssea e ativador enzimático.
Zinco (Zn)	Ativador enzimático, principalmente nos processos de formação óssea, do metabolismo dos ácidos nucleicos, do sistema imunológico e do sistema reprodutivo; componente da insulina.

Adaptado de McDowell (2003); Silva e Pascoal (2014).

O uso excessivo de microminerais na suplementação dietética de poedeiras decorre da variedade de resultados quanto à exigência nutricional para o animal; a disponibilidade dos minerais nos alimentos utilizados na formulação da ração; e a biodisponibilidade do tipo de fonte utilizada. Então, como precaução, tornou-se comum o uso de super dosagens de microminerais a fim de compensar a deficiência de certas. Em contrapartida, o uso excessivo de microminerais pode causar inter-relações indesejáveis, afetar o desempenho, produtividade e

qualidade final do ovo, como também comprometer o meio ambiente, devido à sobrecarga mineral encontrada nas excretas das aves.

Do ponto de vista nutricional, os minerais são muito mais predispostos a interagir com outros nutrientes devido a sua inconstância e tendência a formar ligações químicas (HENRY e MILES, 2000), sendo comuns as interações (sinérgicas ou antagônicas) com vitaminas e hormônios, e entre os próprios minerais (SILVA e PASCOAL, 2014). Aprofundar-se sobre as causas que geram perdas no processo produtivo avícola, permite o desenvolvimento de ações sustentáveis e precisas para se chegar a resultados mais eficientes, beneficiando a qualidade, o bem-estar animal, e o meio ambiente; o retorno econômico ao produtor; e um produto de qualidade ao consumidor.

Entre as causas que geram perdas significativas na produção está a desatualização das exigências nutricionais dos minerais - com ênfase nos microminerais – que mudam constantemente. Portanto é importante manter atualizada as referências para tais exigências com o intuito de chegar ao sucesso da atividade. Além das exigências é preciso presumir a disponibilidade dos minerais, pois, conforme McDowell (2003), as concentrações minerais são significativas tanto dentro do trato intestinal como a nível celular.

Logo, o desenvolvimento de linhagens precoces e mais produtivas acaba por requerer respostas nutricionais precisas para que estas novas linhagens possam ter condições de propagar bons resultados ao produtor. Para isso, avanços contínuos na nutrição de aves são necessários a fim de reduzir falhas como suplementação excessiva para assegurar margem de segurança que pode resultar em interações antagônicas durante o processo de absorção, resistência antimicrobiana, emissão de minerais no meio ambiente e ovos de qualidade inferior.

Normalmente os microminerais (Cu, Fe, Mn, Se e Zn) são suplementados nas dietas na forma de premix. Contudo, estudos recentes com poedeiras direcionam mais atenção aos minerais de transição (Cu, Mn e Zn) em decorrência de suas características físico-químicas, como também o selênio por desempenhar ações antioxidantes junto com a vitamina E (RUTZ e MURPHY, 2009). O boro, silício, arsênio, níquel, cádmio, lítio, estranho, chumbo e vanádio também compõem o grupo dos microminerais, todavia, há poucos estudos sobre os mesmos (são caracterizados como potencialmente tóxicos) e os resultados são divergentes. Segundo Nys *et al.* (2018), os microminerais potencialmente tóxicos podem ter alguma capacidade de essencialidade na alimentação dos animais que fizerem uso de dietas deficientes em minerais, mas devido ao desinteresse em explorá-los em nutrição prática e seus potenciais de toxicidade, esses microminerais ficam sem explorações relevantes até o momento.

Como forma conceitual será sumarizada a importância nutricional do Cu, Mn e Zn para avicultura de postura:

- **Cobre**

O cobre é cofator de vários sistemas enzimáticos (citocromo oxidase; superóxido dismutase; ceruloplasmina; tirosinase) (SILVA e PASCOAL, 2014); participa da formação/mineralização dos ossos (NYS; REVY; JONDREVILLE, 2003) e em especial da cartilagem; tem relação com o desenvolvimento e coloração das penas e pode ser encontrado em alguns pigmentos; atua na formação de membranas da casca e na casca do ovo (LEESON e SUMMERS, 2001; SCHEIDELER, 2008; FAVERO *et al.*, 2013) e na defesa do organismo contra o estresse oxidativo (NYS; REVY; JONDREVILLE, 2003). Além disso, o Cu possui propriedades antimicrobianas e melhora a saúde intestinal (WANG *et al.*, 2014), sendo utilizado como promotor de crescimento (KLEYN, 2013) em substituição a antibióticos (OLIVEIRA *et al.* 2019).

O cobre relaciona-se com o metabolismo do ferro e ambos são necessários para a produção de glóbulos vermelhos (KLEYN, 2013). A deficiência de Cu em aves é sinal de anemia (LEESON e SUMMERS, 2001; McDOWELL, 2003), além do mais, níveis inferiores de Cu resultam em distribuição irregular do elemento na membrana da casca, ocasionando aumento de ovos com casca irregular e de menor tamanho (HAFEEZ, 2015).

O Cu desempenha função antioxidante como parte integrante da enzima superóxido dismutase. Há relatos bibliográficos a respeito do tipo de fonte de Cu sobre as propriedades pró-oxidante. O Cu inorgânico tem forte efeito pró-oxidante e pode estimular a peroxidação lipídica, a nível intestinal ou na ração, caso não esteja ligado a proteínas, já o Cu orgânico não possui propriedade pró-oxidantes, tornando-o mais disponível para o animal (SURAI, 2005).

Até o momento foi identificado dois estados de oxidação do cobre na matéria viva, cuprosa ( $\text{Cu}^+$ ) e cúprico ( $\text{Cu}^{2+}$ ) (ARREDONDO e NÚÑEZ, 2005). O  $\text{Cu}^{2+}$  está em maior quantidade no corpo, devido à presença de oxigênio ou outros receptores de elétrons capazes de oxidar o  $\text{Cu}^+$  em  $\text{Cu}^{2+}$  (SHARP, 2004).

- **Manganês**

Manganês é componente de enzimas importantes no metabolismo dos carboidratos, lipídios e proteínas, como a arginase, piruvato carboxilase e manganês-superóxido dismutase, além de ativar as enzimas hidrolases, quinases, descarboxilases e transferases (FIGUEIREDO JUNIOR, 2010).

O manganês foi associado como o responsável pelo aumento da espessura da mucosa do estômago e aumento da atividade da enzima superóxido dismutase, de acordo com Scrutton;

Griminger; Wallace, (1972). O Mn é parte integrante da superóxido dismutase, sendo de maior relevância para a função imunológica, através processos de antioxidação (SURAI, 2005).

O Mn pode formar quelatos com aminoácidos (aminoácidos-piridoxal-fosfato-manganês) e este quelato é transportado mais rapidamente no organismo do que os aminoácidos isoladamente (ANDRIGUETTO *et al.*, 2006). Segundo Fassani *et al.* (2000), o manganês é importante na produção e na qualidade dos ovos, pois participa ativamente no processo produtivo e na atividade fisiológica normal das aves. É responsável por ativar enzimas envolvidas na síntese de mucopolissacarídeos e glicoproteínas que contribuem na formação da matriz orgânica dos ossos e da casca do ovo (GEORGIEVSKII, 1982). A deficiência de Mn pode ocasionar encurtamento dos ossos longos (SCHEIDELER, 2008), em aves em produção aumenta a incidência de ovos de casca fina e reduz a produção (GEORGIEVSKII, 1982; YILDIZ; CUFADAR e OLGUN, 2011) e tem efeito negativo sobre a eclodibilidade (FAVERO *et al.*, 2013; KLEYN, 2013).

Independente da fonte de Mn utilizada pelas aves a redução na quantidade desse mineral na dieta gera diminuição dos níveis de apoptose celular e o excesso pode se acumular na mitocôndria e interfere na fosforilação oxidativa, levando a produção de espécies reativas de oxigênio (GUNTER *et al.*, 2006). Além das mitocôndrias o Mn pode ser acumular na matriz inorgânica do osso (GOFF, 2018).

- **Zinco**

O zinco participa do crescimento e desenvolvimento ósseo, é um cofator da anidrase carbônica, enzima essencial para a formação da casca do ovo e calcificação dos ossos (LEESON e SUMMERS, 2001). A deficiência dessa enzima provoca redução na secreção de íon bicarbonato que diminui o peso da casca do ovo e a deficiência do elemento Zn, além da má qualidade da casca do ovo, afeta o sistema imunológico (FAVERO *et al.*, 2013), causa problemas na plumagem, pele e infertilidade.

De acordo com Naz *et al.* (2016), a suplementação de Zn pode melhorar o crescimento das aves; aumentar a imunidade e a capacidade antioxidante; além de interagir com outros minerais no intestino.

Segundo Surai (2005), este é o segundo micromineral mais abundante nas aves e é componente de mais de 300 enzimas estando diretamente envolvido com a estrutura desse grupo de enzimas ou nas ações catalíticas e reguladoras desempenhada por elas na maioria das espécies. Assim como o manganês, o Zn faz parte do sistema antioxidante como parte integrante da enzima superóxido dismutase.

A superóxido dismutase depende de alguns cofatores enzimáticos por apresentar em sua composição um grupo prostético. De acordo com Barbosa *et al.*, (2011), o sítio de ativação e a localização celular na superóxido dismutase pode ser encontrada sob duas formas – no citosol como superóxido dismutase-Cu-Zn e na mitocôndria na forma de superóxido dismutase-Mn. A atividade superóxido dismutase em tecido aviário depende de fatores diferentes que inclui genética, nutrição e condições relacionadas ao estresse (BU *et al.*, 2001).

Existem indicações sobre o papel do Zn como antioxidante que necessitam de elucidações ainda. Até o momento, é possível afirmar que sua ação antioxidante é indireta, pois íons Zn não podem ser ativados em reações de óxido-redução (KOURY e DONANGELO, 2003).

A nível microscópico, o Zn é transportado das células musculares lisas (através da matriz do tecido conjuntivo no espaço extracelular) para as células caliciformes epiteliais (BUTZEN; ROOT; STARCHER, 1985).

## **FATORES QUE PODEM INTERFERIR NA NUTRIÇÃO E FISIOLOGIA DA ABSORÇÃO DOS MICROMINERAIS**

A literatura elenca alguns fatores que podem vir a interferir na nutrição e fisiologia da absorção dos microminerais para as poedeiras e, portanto, comprometer a biodisponibilidade no trato gastrointestinal.

### **Biodisponibilidade**

A biodisponibilidade do mineral, ou seja, a fração do mineral que realmente é absorvida e utilizada pelo animal, sofre variações de acordo com o tipo da fonte mineral e aspectos relacionados a esta, como granulometria; presença e concentração de outros minerais; presença de íons; e técnicas físico-químicas aplicadas na sua produção. A biodisponibilidade pode ser maior à medida que a superfície dos minerais aumenta (HASSAN; HASSAN; REHMAN, 2020). A disponibilidade dos minerais pode variar também em função da linhagem; sexo; idade; estado fisiológico; saúde; resposta individual; consumo de minerais; relação entre os minerais; níveis de vitaminas, proteínas, fibra e gordura; e níveis de fatores antinutricionais (oxalatos e os fitatos) (HENRY e MILES, 2000; LU *et al.*, 2010). Os ácidos oxálico e fítico possuem a capacidade de se ligar a alguns metais, formando quelatos, o que interfere no metabolismo, e induz à deficiência destes metais (SOETAN; OLAIYA; OYEWOLE, 2010).

O uso de diferentes fontes minerais disponíveis no mercado para aves contribui para melhorar o desempenho das galinhas, além de proporcionar um produto biológico de melhor qualidade em relação às aves que não são suplementadas por nenhuma fonte mineral. Pesquisas mostraram que as fontes inorgânicas, orgânicas e as hidroxí-minerais não têm a mesma biodisponibilidade (AGAPITO, 2016; LI *et al.*, 2018; OLUKOSI, VAN KUIJK; HAN, 2019).

### **Toxicidade**

A toxicidade é definida como o estágio no qual a produção diminui e a extensão e gravidade dos sintomas observados nos animais são em função da ingestão dietética de microminerais, bem como o tempo de consumo excessivo (KLEYN, 2013). A exposição a concentrações tóxicas pode ocorrer de várias maneiras; os níveis minerais nos ingredientes da ração podem variar devido aos fatores do solo e à quantidade e disponibilidade dos minerais no solo; o suprimento natural de água pode conter níveis excessivos de S, Na, Mg e Fe e pode até haver contaminantes industriais na água; pode ocorrer problemas de contaminação cruzada na fábrica de pré-mistura e nas fábricas de ração que levem a níveis mais altos do que os esperados na ração (McDOWELL, 1992). É válido ressaltar que os animais recusam a alimentar-se quando a dieta está contaminada com metais pesados.

As quantidades ingeridas de um mineral tóxico e a duração da ingestão determinam se o animal morre rapidamente (toxicidade aguda) ou se sofre apenas de perda branda de produção (toxicidade crônica) (LEESON e SUMMERS, 2001). Além disso, animais jovens e saudáveis podem não reagir da mesma maneira que os animais mais velhos, desnutridos ou doentes. Alguns elementos, como arsênico, chumbo, cádmio, mercúrio e alumínio são frequentemente classificados como elementos tóxicos (McDOWELL, 1992).

Os principais sintomas de toxicidade originada pelo excesso de ingestão dietética de Cu, Mn e Zn para galinhas na fase de produção (NUNES, 1998; LEESON e SUMMERS, 2001; EWING e MILES, 2007) são:

- Cobre - pode prejudicar o apetite e a digestão; altos níveis de Cu aumentam a necessidade de aminoácidos sulfurados; distrofia muscular; reprodução prejudicada; anemia; lesão hepática, icterícia, necrose, morte.
- Manganês - dentre os minerais abordados nessa temática, o Mn apresenta o menor potencial de toxidez para as aves. Galinhas poedeiras toleram altas concentrações dietéticas de Mn devido ao consumo crônico em função das deficiências secundárias de outros minerais, principalmente o Fe (McDOWEEL, 1992).

- Zinco - o excesso de Zn na dieta levará a uma recusa alimentar ao invés de efeitos tóxicos. Peso vivo é reduzido; animais jovens são mais suscetíveis que animais mais velhos. As poedeiras manifestam anemia e redução da produção de ovos.

## INTER-RELAÇÕES ENTRE OS MICROMINERAIS

A quantidade e a qualidade dos minerais na ração são importantes, porém o mais importante é a inter-relação entre cada mineral e outros nutrientes, pois quando em quantidades abaixo das necessidades aparecerem deficiências nutricionais e em excesso o crescimento pode ser retardado, e vitaminas podem ser destruídas (ARAÚJO *et al.*, 2008).

Nos anos 90 o termo interação foi estabelecido por O'Dell como sendo a inter-relação evidenciada entre os elementos minerais através de respostas fisiológicas ou bioquímicas. Fixada a terminologia, as inter-relações foram classificadas em dois grupos – sinérgicas ou positivas e antagônicas ou negativas. Inter-relações sinérgicas são ações conjuntas dos minerais com resultado benéfico ao metabolismo animal, o qual não ocorreria com a ação individual dos minerais envolvidos (HENRY e MILES, 2000; SILVA e PASCAL, 2014). Desta forma, as interações sinérgicas podem melhorar simultaneamente a absorção dos minerais no trato gastrointestinal e desempenhar a mesma função metabólica no tecido ou na célula; Inter-relações antagônicas ocorrem quando diminui a inibição da absorção no trato gastrointestinal de um ou mais minerais que estiverem em excesso, gerando condições de deficiência entre os elementos afetados e comprometendo a absorção de outros elementos e sua função bioquímica no organismo da ave. Interações antagônicas são mais fáceis de visualizar na prática, pois as desordens nutricionais ocasionadas por deficiências prolongadas, tendem a produzir distúrbios no animal (HENRY e MILES, 2000) que às vezes apresenta sintomas semelhantes a alguma patologia, porém a correção da deficiência faz com que o animal se recupere. Na Figura 2 está apresentado alguns tipos de inter-relações no organismo animal

Figura 2 – Maneiras com as inter-relações entre os microminerais podem ocorrer dentro do trato gastrointestinal

SINERGISMO	ANTAGONISMO
<u>Interações diretas</u> O nível de absorção determina sua proporção na dieta Ex.: Zn/Co	<u>Processo de absorção gastrointestinal</u> -Reações químicas formando um complexo insolúvel Ex.: Zn + ácido fítico = fitato
<u>Interações indiretas</u>	

Ex.: Cu + Fe = hemoglobina Mn + Zn = formação de RNA (fígado)	-Competição entre íons com carga semelhante (absorção passiva) Ex.: Cu, Fe, Mn e Zn
<u>Participação simultânea no centro ativo de enzimas</u> Ex.: Fe + Mo = kantina-oxidase Cu + Fe = cítocromo-oxidase	<u>Processos metabólicos dos tecidos</u> -Competição entre íons pelos centros ativos enzimáticos Ex.: Mg e Mn na fosfatase alcalina  -Competição pelas ligações com substâncias carregadoras no sangue Ex.: o Zn com o Fe pela transferrina  - Efeito antagônico de diferentes íons sobre as enzimas receptoras
Ativação dos órgãos endócrinos e expressando seus efeitos sobre o metabolismo de outros minerais Ex.: Iodo	

Adaptado de Henry e Miles (2000); Silva e Pascoal (2014).

Dentre todos os nutrientes, os minerais são os mais predispostos a interagir com outros nutrientes, devido a sua variabilidade e tendência a formar ligações químicas. Em virtude dessas características as inter-relações podem ocorrer de forma unidirecional, recíprocas ou múltiplas (HENRY e MILES, 2000).

Interação unidirecional (Zn e Cu) - ocorrem quando um mineral se sobrepõe a outro mineral e o inverso não ocorre. Storey e Greger (1987) relataram que a ingestão excessiva de Zn diminui as concentrações de Cu dos tecidos moles. Pang e Applegate (2007), constaram com a suplementação de Cu aumento da porcentagem significativo do Zn que é associado a pequenos complexos. Para Soetan; Olaiya e Oyewole (2010), a deficiência de Cu resulta em aumento de Fe no fígado, enquanto que excesso de Cu resulta em redução no teor de Fe no fígado, indicando o efeito do Cu na utilização do Fe. Os mesmos autores concluíram que a deficiência de Zn em galinhas mais velhas reduz a produção de ovos e a eclodibilidade.

Interação recíproca (Zn e Fe) – se dá quando um mineral influencia o metabolismo do outro. Alta ingestão de Fe na dieta pode diminuir a absorção de Zn (SOETAN; OLAIYA e OYEWOLE, 2010). Stahl; Greger e Cook (1989) relataram que a mobilização do Fe armazenado foi afetada pelo excesso de suplementação de Zn. A absorção de Fe é influenciada pelo Cu e a deficiência de Cu altera o metabolismo do Fe por um efeito sobre a atividade ferrioxidase da ceruloplasmina, que é essencial para a liberação de Fe dos tecidos (SHARP, 2004). A ingestão de excesso de Zn diminui as concentrações de Cu no fígado e pâncreas, e também a concentração de Fe nas tíbias (STAHL; GREGER e COOK, 1989).

Interação múltipla (Cu-Mo-S) – a inter-relação múltipla específica pode ocorrer em virtude de altos níveis de molibdênio na dieta, aumentando bastante os requisitos de cobre.

Segundo Nunes (1998) a adição de enxofre a dieta ajuda a prevenir a intoxicação por molibdênio, porém o consumo exagerado de enxofre aumenta o requisito de cobre porque os sulfatos tornam o cobre indisponível. Embora milho e soja sejam deficientes em muitos minerais, de maneira geral, o nível de Cu desses ingredientes é adequado para as dietas de aves, enquanto o nível de Mo é baixo. Acredita-se que, em função do hábito alimentar, os não ruminantes toleram mais elevadas concentrações de Cu do que os ruminantes. Soetan; Olaiya e Oyewole (2010) relatam que suínos e aves recebendo diariamente 100 a 250 ppm de sulfato de cobre como agente microbiano e promotor de crescimento não apresentam sinais de toxicidade, enquanto os mesmos níveis de cobre ofertados a bezerros e cordeiros são considerados níveis tóxicos. Até o momento já foram evidenciadas mais de 50 inter-relações entre minerais. No entanto, não é parte do objetivo dessa revisão detalhá-las, portanto alguns exemplos serão apresentados de forma breve, apenas como ilustração dos muitos tipos de inter-relações que podem ocorrer.

De acordo com alguns autores (NUNES, 1998; HENRY e MILES, 2000; EWING e CHARLTON, 2007) as principais inter-relações dos microminerais estão retratadas na Figura 3.

Figura 3 – Inter-relações, sinergismos e antagonismos dos principais microminerais como minerais, vitaminas e hormônios em não ruminantes

<b>Mineral</b>	<b>Perspectivas das ações minerais</b>
<b>Cu</b>	<p><b>Interação:</b> Cu:Fe (Cu é necessário para o metabolismo adequado do Fe); Cu:Se (Deficiência de Cu e Se ocorrem simultaneamente).</p> <p><b>Sinergismo:</b> Cu:Se (O Se tende a reduzir os níveis séricos de Cu (ceruloplasmina) - este parece ser um efeito moderador).</p> <p><b>Antagonismo:</b> Excesso de Cu interage com Ca, Zn, Fe, Mo, S; Absorção reduzida por: dietas ricas em fitatos, alto Ca, S Fe, Zn, Cd, Ag, Mo; Excesso de Zn reduz as reservas de Fe e Cu no fígado e induz a síntese da proteína metalotioneína; A interação Cu-Mo-S.</p>
<b>Mg</b>	<p><b>Interação:</b> Ca, P, Ferro, Co, Cd, Zn em efeito direto sobre: a função do cobre e do zinco e o ferro podem ser intercambiáveis em alguns sistemas enzimáticos;</p> <p><b>Sinergismo:</b> Mn é necessário para utilização de biotina, Vitamina B1 e Vitamina C; O manganês e a vitamina K trabalham juntos na coagulação sanguínea; Os hormônios estrogênicos aumentam a absorção; O baixo Mn dietético reduz o acúmulo de Se nos tecidos.</p> <p><b>Antagonismo:</b> O excesso de Ca reduz a absorção de Mn no duodeno; O excesso de Mn interfere com Ca, Ph e pode induzir anemia por deficiência de ferro devido ao seu efeito na síntese de hemoglobina; As altas ingestões de Ca e P agravam a deficiência de Mn;</p>

	Mn compete com Fe e Co pelos sítios de ligação nas proteínas de captação intestinal; O Mn antagoniza o molibdênio e o Zn da dieta reduz a absorção de Mn.
<b>Zn</b>	<b>Sinergismo:</b> O Zn é necessário para o metabolismo e transporte da Vitamina A; Quelantes orgânicos de Zn podem aumentar a eficiência da absorção de zinco; Zn dietético adicional pode ajudar a aliviar a toxicidade por chumbo e cádmio. <b>Antagonismo:</b> Absorção é afetada por oxalatos de cálcio, Cu e dietas ricas em fibras e fitato; O cádmio é um antimetabólito do Zn; O chumbo impede a absorção do Zn e interfere na função do zinco; O Fe pode ser afetado pelo excesso de Zn levando a induzir anemia.

Acidentes de suplementação por contaminação ou erro na mistura dos ingredientes estão propensos a ocorrer, em virtude de falhas humanas, resultando em problemas devido às interações minerais. De acordo com Henry e Miles (2000), são necessários estudos para compreender melhor como as inter-relações influenciam na absorção, excreção, armazenamento e utilização de outros elementos. Os autores ainda consideram a possibilidade de existir outras interações que ainda não foram reconhecidas ou interações cuja importância não tenha sido investigada em termos práticos.

## **RELAÇÃO DOS MINERAIS COM**

### **Qualidade do ovo – casca**

Sobre aos parâmetros de qualidade interna do ovo, sabe-se que o uso da suplementação mineral é bastante voltado para prevenir os defeitos na má formação da casca do ovo e melhorar a condição corporal/óssea das aves.

Com relação a formação e qualidade de casca faz-se necessário compreender que se trata de um processo dinâmico ao qual o metabolismo da ave é bastante exigido tendo em vista que durante a formação da casca do ovo é preciso a ativação de hormônios, utilização de macro e microminerais, e ainda conta com a participação do processo respiratório da galinha, por isso que condições nutricionais e ambientais podem influenciar diretamente na qualidade da casca.

Para a formação da casca do ovo é preciso de Ca, P e hormônio da paratireoide (PTH). Segundo Pelicia *et al.*, (2009) quando é iniciada a formação da casa do ovo o nível de Ca no plasma diminui muito rápido, em virtude disso ocorre a estimulação da secreção hormonal (PTH) que tem como função estimular a síntese de hidroxilase nos rins aumentando a produção de 1,25 (OH) 2D3 que ao entrar em contato com a mucosa intestinal vai estimular os ossos a absorverem o Ca, enquanto a função do P é reduzir a acidose no sangue, pois o nível de P na

corrente sanguínea durante a formação da casca do ovo é alto, levando a excreção de fosfato pelo ruim. Durante a excreção, o fosfato realiza íons  $H^+$ , auxiliando a manutenção dos níveis de bicarbonato, conseqüentemente reduzindo a acidose (BERTECHINI, 1998). O íon de carbonato se origina do dióxido de carbono presente no sangue, que ao entrar em contato com a anidrase carbônica passa por processos que o transformam em íons de bicarbonato (GAUTON *et al.*, 2021).

Durante a maturidade sexual as aves passam por inúmeras adaptações fisiológicas para atender à necessidade metabólicas do Ca, então o oviduto e o osso medular se desenvolvem ao mesmo tempo para quando iniciar a produção dos ovos a capacidade do osso medular em secretar o cálcio para o útero esteja assegurada (GAUTON *et al.*, 2021).

O papel o Zn, Mn e, Zn e Mn na formação do ovo foram relatados, respectivamente como: aumento da espessura da casca do ovo (ZAMANI; RAHMANI; POURREZA, 2005); aumento da resistência da casca do ovo devido a síntese de glicosaminoglicanos na membrana da casca do ovo (XIAO *et al.*, 2014); o fornecimento simultâneo dos micros na dieta aumentou a força da casca do ovo para 36,7 N quando as aves estavam com 70 semanas de idade (SWIATKIEWICZ e KORELESKI, 2008), enquanto as poedeiras com 35 semanas de idade não teve efeito sobre as mesmas condições experimentais (SWIATKIEWICZ e KORELESKI, 2007).

### **Morfologia intestinal**

Compreender o desenvolvimento das estruturas microscópicas que formam os segmentos do intestino delgado faz-se pertinente, tendo em vista que é nesse órgão que se dá o sucesso ou insucesso da nutrição do animal.

Os principais eventos citológicos que proporcionam o desenvolvimento da mucosa intestinal são a renovação celular (proliferação e diferenciação) e a descamação celular no ápice dos vilos (UNI *et al.*, 1999).

O número e o tamanho dos vilos, e a quantidade de microvilosidades presente neles são bem característicos em cada segmento do intestino delgado e cada um dos segmentos vai ter sua capacidade de absorção diretamente proporcional a área de superfície disponível, ou seja, proporcional ao número e tamanho de vilos ali presentes (MACARI, 1999), assim o desenvolvimento da mucosa consiste no aumento da altura e densidade dos vilos que resultam no aumento em número de suas células epiteliais.

Um achado interesse já bem demarcado por pesquisas é quanto a ação de fatores tróficos sobre a altura e densidade das vilosidades. Segundo Maiorka *et al.* (2002) um agente trófico é considerado um agente estimulador por ter a capacidade de estimular ou reparar o crescimento

da mucosa intestinal ao promover a síntese de DNA, que vai ativar o aumento da taxa de mitose celular ali, resultando no desenvolvimento da mucosa intestinal.

Além do desenvolvimento da mucosa, os agentes tróficos são capazes de alterar o muco (quantidade) ou diretamente a permeabilidade da mucosa, podendo esses efeitos aumentam ou diminuem a absorção do mineral depende de seu modo normal e eficiência de absorção (POWELL *et al.*, 1994).

Quando há alguma resposta do intestino delgado ao agente trófico ocorrem mudanças entre os processos citológicos já mencionados, ocasionando um desequilíbrio entre eles que se tem confirmação pela modificação na altura dos vilos. Dessa forma, entende-se que os aumentos de vilosidades estão ligados a maior atividade digestiva e absorção intestinal, decorrente do aumento da área de absorção, secreção enzimática na borda em escova da membrana, sistema de transporte de nutrientes e conseqüentemente potencialização do desempenho produtivo da ave (NOROUZIAN *et al.*, 2018).

### **Morfologia reprodutor feminino**

A morfologia do sistema reprodutor das poedeiras precisa ter mais atenção nas investigações posteriores, pois ainda são escassas algumas informações e se existem relações dependentes ou independentes da presença dos microminerais.

Até o momento tem-se que o Zn e o Mn são encontrados em todos os segmentos funcionais do sistema reprodutor, enquanto o Cu geralmente está em maior concentração no tecido do istmo. E que o Cu e o Zn possuem uma correlação significativa com os hormônios reprodutivos (progesterona e estradiol) (PRASAD *et al.*, 1989).

Os hormônios são necessários para que as aves atinjam a maturidade sexual e inicie a produção de ovos, e o Zn, Cu e Mn participam direta ou indiretamente dessa fase. O zinco é componente de uma enzima que participa na expressão genética do hormônio reprodutivo (TAPIERO e TEW, 2003); o cobre participa da síntese e manutenção do nível apropriado do LH e FSH (Cu+Zn) (RAJESWARI e SWAMINATHAN, 2014); o manganês tem relação com a síntese dos hormônios esteroides devido a sua relação no metabolismo do colesterol (XIE *et al.*, 2014) e a deficiência de Mn reduziu os hormônios reprodutivos em galinhas poedeiras (YANG, 2008).

A maior altura do epitélio do magno torna-se importante para um órgão por realizar movimentos peristálticos fornecendo maior resistência e proteção as glândulas tubulares do magno (JUNQUEIRA e CARNEIRO, 2008). Além disso, um epitélio mais alto eleva a capacidade da produção de secreção que vai melhorar a lubrificação durante o processo de

formação do ovo, e na composição do mesmo, devido a adicionar mucina, especificamente a ovomucina (responsável pela viscosidade do albúmen), uma glicoproteína ácida, produzida pelas células caliciformes do magno (GARCÍA, 2010).

González-Morán (2016) observou que o magno de poedeiras mais velhas, as dobras da mucosa são menos volumosas e tendem a se complexar com as dobras secundárias curtas e as glândulas tubulares foram reduzindo de tamanho e sem produtos de secreção, e atribui a causa pela atrofia do oviduto a redução da progesterona.

### **Tecido ósseo**

A avaliação óssea é uma variável de grande potencial, pois permite investigar a qualidade óssea das aves oferecendo vantagens potenciais no apoio à pesquisa resultando em diversas aplicações (nutricional, econômica, bem-estar animal e produção avícola).

De acordo com a literatura são inúmeras as metodologias para avaliar o estado ósseo da poedeiras (incineração óssea, técnicas densitométricas, testes mecânicos, avaliação histomorfométrica são as mais usuais), pois através da condição óssea da galinha é possível desenvolver estudos para melhor compreensão do metabolismo ósseo e direcionar soluções para se ter aumento de produtividade, melhor bem-estar animal e também nortear questões econômicas. Segundo Kim *et al.* (2012) diferente de outras espécies, a galinha tem uma ligação direta com a produção e qualidade da casca de ovos.

Uma das características atribuída a uma boa poedeira é a qualidade óssea (osso medular). O osso medular é formado quando as frangas estão se tornando sexualmente maduras, através do estrogênio e andrógeno (FISCHER e SCHRAER, 1982). É uma região altamente calcificada com estruturas lamelares irregulares (YOSHIKO *et al.*, 1987) com elevada atividade de osteoblastos e osteoclastos (KIM *et al.*, 2007). Logo, a quantidade e atividade dos osteoclastos são os responsáveis pelo fornecimento de cálcio para a formação da casca do ovo a partir do osso medular.

Segundo Fleming (2006) a atividade dos osteoclastos é bastante utilizada para avaliar o metabolismo do cálcio de galinhas poedeiras. Durante a formação da casca do ovo, o osso chega a contribuir com até 40% do cálcio que ela necessita (BUSS e GUYER, 1984). Em geral, a modulação das atividades dos osteoclastos é principalmente regulada por ambos os hormônios da paratireóide e hormônios reguladores do cálcio da calcitonina (KIM *et al.*, 2007).

Em galinhas produtoras de casca de ovo mole, os osteoclastos do osso medular carecem de bordas onduladas, e não fornecem o cálcio para a formação da casca do ovo.

O peso, a porcentagem e a espessura de casca possuem correlação negativa com o peso do osso seco e peso de cinzas (KIM *et al.*, 2012). Pereira, (2018) ao utilizadas diferentes fontes e níveis de suplementação do Zn, Cu e Mn verificaram que a fonte orgânica apresentou túbias mais pesada, mas não foi observado nenhuma influência das fontes ou níveis sobre o comprimento, índice de Seedor, resistência ou mudança significativa na concentração do Ca, P, Zn, Cu e Mn das túbias das poedeiras.

A deficiência de zinco afeta negativamente o metabolismo esquelético em galinhas jovens (WANG *et al.*, 2002), pois conforme Bertechini (2014), nas aves o zinco é acumulado principalmente nos ossos, pois regula a cristalização da hidroxiapatia óssea; ativa a apoptose e o crescimento da placa dos condrócitos; atua na transcrição de genes envolvidos com a ossificação; ainda é componente da fosfatase alcalina e colagenase.

### **Impacto ambiental**

A produção de aves (frango ou poedeira) é diretamente correlacionada com problemas de impacto ambiental, em virtude da carga mineral presente em suas excretas. Em virtude disso estratégias nutricionais (substituição de proteína bruta por proteína ideal; utilização de fitase; minerais orgânicos) vem sendo desenvolvidas ao longo dos anos para diminuir a excreção mineral e manter o desempenho das aves sem onerar o custo da ração.

O desenvolvimento do conhecimento da nutrição avícola e a biotecnologia moderna proporcionam novas abordagens nutricionais para atender de perto a necessidade das aves em todas as suas fases de desenvolvimento, o que consequentemente contribui para reduzir a excreção nutricional e manter o custo da ração mais baixo (GODFRAY *et al.*, 2010; WANG *et al.*, 2017).

Conforme Sims *et al.* (2005), a produção de frango e de ovos geram um excesso de nitrogênio e fósforo nas excretas que estão em cerca de 82% e 64%. A composição da ração e a eficiência da conversão alimentar influenciam na quantidade do conteúdo de nutrientes presente nas excretas, por isso reduzir a densidade dos nutrientes na ração é uma forma de controlar a poluição e de economizar com recursos alimentares (WANG *et al.*, 2017).

De acordo com Świątkiewicz *et al.* (2015), áreas com intensa atividade avícola e com altas concentrações de minerais nos excrementos afetam o solo e pode resultar em contaminação dos lençóis freáticos. O eventual acúmulo de níveis excessivos de zinco e cobre pode ocorrer em solos que receberam aplicações repetidas de adubo/excretas de aves e suínos. Mohanna e Nys (1999) ao utilizarem fonte orgânica de Zn não encontraram evidências de que

a fonte promove diminuição na eliminação de zinco nas excretas, quando comparada com a fonte inorgânica de zinco.

Segundo Kiefer (2005), existem muitos fatores que podem modificar a absorção de zinco, e que podem ser considerados como ativadores ou inibidores deste processo, portanto, o zinco é pouco absorvido, sendo excretado em grande proporção pelas fezes.

Pereira (2018), utilizando diferentes fontes de Cu, encontraram diferença significativa do mineral Cu nas excretas, onde as aves que consumiram fonte orgânica excretaram maior quantidade de cobre quando comparada as aves que consumiram fontes de Cu na forma inorgânica.

Buscando respostas para reduzir o impacto ambiental e manter o desempenho e a qualidade dos ovos, Li *et al.* (2018) avaliaram os efeitos da redução da suplementação de Mn-Met sobre as dietas de poedeiras com 53 semanas de idade sobre a qualidade interna e externa dos ovos. Os resultados revelaram que a menor suplementação dietética de Mn-Met (20mg/kg) pode substituir o Mn inorgânico, sem causar danos a desempenho, qualidade dos ovos e meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

- AAFCO, **Associaton of American Feed Control Officials**, 2000.
- ABD EL-HACK, M.E.A. et al. Effects of dietary supplementation of zinc oxide and zinc methionine on layer performance, egg quality, and blood serum indices. **Biological trace element research**, v.184, n.2, p.456-462, 2018.
- AGAPITO, G. Hidroxi-minerais: uma nova abordagem para o uso de minerais em todas as espécies. **O presente rural**, n.137, p.72-73, 2016.
- AKSU, D.S., AKSU, T.; OZSOY, B. The effects of lower supplementation levels of organically complexed minerals (zinc, copper and manganese) versus inorganic forms on hematological and biochemical parameters in broilers. **Kafkas Univ. Vet. Fak. Derg.** v.16, p.553-559, 2010.
- ANDRIGUETTO, J.M. et al. **Nutrição Animal**. 4 ed., v.1, São Paulo: Nobel, 2006.
- ARAÚJO, J. A. et al. Fontes de minerais para poedeiras. **Acta Veterinaria Brasilica**, v.2, n.3, p.53-60, 2008.
- ARIAS, V.J.; KOUTSOS, E.A. Effects of Copper Source and Level on Intestinal Physiology and Growth of Broiler Chickens. **Poultry Science**, v.85, p.999-1007, 2006.
- ARREDONDO, M.; NÚÑEZ, M.T. Iron and copper metabolism. **Molecular aspects of medicine**, v.26, n.4-5, p.313-327, 2005.
- ASHMEAD, H. D. Comparative intestinal absorption and subsequent metabolism of metal amino acid chelates and inorganic salts. p. 47-75. In **The Roles of Amino Acid Chelates in Animal Nutrition**. H. D. Ashmead, ed. Noyes Publ., Park Ridge, NJ, 1993.
- BARBOSA, K.B.F. et al. Relationship of oxidized low density lipoprotein with lipid profile and oxidative stress markers in healthy young adults: a translational study. **Lipids in Health and Disease**, n.10, v.61, 2011.
- BERTECHINI, A. G. **Nutrição de monogástrico**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2014.
- BERTECHINI, A.G. **Nutrição de monogástricos** [trabalho de conclusão de curso]. Brasília: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior; 1998.

- BORUTA, A. et al. Organic minerals (Bioplex) as total replacement of inorganic sources for layers - effect on productivity. **In: SIMPÓSIO ANNUAL DA ALLTECH**, Lexington 2007. Poster. Lexington Ky, 2007.
- BU, Y. et al., Cloning and sequence analysis of manganese-containing superoxide dismutase (MnSOD) cDNA of chickens. **Chinese Journal of Biochemistry and Molecular Biology**. n. 17, p. 463-467, 2001.
- BUSS, E.G.; GUYER, R.B. Bone parameters of thick and thin eggshell lines of chickens. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v.78, p.449-452, 1984.
- BUTZEN, P.; ROOT, E.; STARCHER, B. Zinc secretion in the oviduct of the *Coturnix quail*. **Biological trace element research**, v.8, n.4, p.283-300, 1985.
- CARVALHO, L.S.S. Effect of the inclusion of organic copper, manganese, and zinc in the diet of layers on mineral excretion, egg production, and eggshell quality. **Brazilian Journal of Poultry Science**, p.87-92, 2015.
- COHEN, J.; STEWARD, F.A. Hydroxy minerals-the newest development in mineral nutrition. **AFMA Matrix**, v.23, n.1, p.45-49, 2014.
- EWING, W.N.; CHARLTON, S.J. **The minerals directory – your easy to use guide on minerals in animal nutrition**. 2<sup>nd</sup> Edition. Context, 2007.
- FASSANI, E.J. et al. Manganês na nutrição de poedeiras no segundo ciclo de produção **Ciência Agrotécnica**, v.24, n.2, p.468-478, 2000.
- FAVERO, A. et al. Reproductive performance of Cobb 500 breeder hens fed diets supplemented with zinc, manganese, and copper from inorganic and amino acid complexed sources. **J. App. Poult. Res.**, v.22, p.80-91, 2013.
- FIGUEIREDO JUNIOR, J. P. **Níveis de minerais orgânicos na dieta de poedeiras semi-pesadas**. 2010, 42 f., Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2010.
- FLEMING, R.H. et al. Relationships between genetic, environmental and nutritional factors influencing osteoporosis in laying hens. **British Poultry Science**, v.47, p.742-755, 2006.
- GARCÍA, J. La Calidad del huevo. IN: LLOBET, J.A.; COS, J.I.; LAJUSTICIA, A.C.; CALVET, S., CAMBRA-LÓPEZ, M.; ESTELLÉS, F., **Producción del Huevo**. Barcelona, Espanha: Real Escuela de Avicultura, 2<sup>a</sup> ed., p.381-403, 2010.
- GEORGIEVSKII, V. I. **Mineral nutrition of animals**. London: Butterworths, 1982.
- GODFRAY, H.C.J. et al. Food security: the challenge of feeding 9 billion people, **Science**, v.327, p.812-818, 2010.
- GOFF, J.P. Invited review: Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid–base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. **Journal of Dairy Science**, v.101, n.4, p.2763-2813, 2018.
- HAFEEZ, A. **Effect of different feed treatment strategies on apparent mineral digestibility and retention in broilers and layers and egg quality in laying hens**, (Doctoral dissertation), Freie Universität Berlin. 2015.
- HAMBRIDGE, K.M.; CASEY, C.E.; KREBS, N.F. Zinc. In: Mertz W, editor. **Trace elements in human and animal nutrition**. New York: Academic; 1986. p. 1–138.
- HARTMAN, S.J. Implications of trace mineral supplementation strategies to overcome the effects of high antagonist diets in feedlot cattle. 2017.
- HASSAN, S.; HASSAN, F.; REHMAN, M. Nano-particles of trace minerals in poultry nutrition: Potential applications and future prospects. **Biological trace element research**, v.195, n.2, p.591-612, 2020.
- HENRY, P.R.; MILES, R.D. Interactions among the trace minerals. **Ciência Animal Brasileira**, v.1, n.2, p.95-106, jul./dez. 2000.
- JUNQUEIRA, L.C.U.; CARNEIRO, J. **Histologia básica-texto e atlas**. 11<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 2008.
- KIEFER, C. Minerais quelatados na nutrição de aves e suínos. **Revista Eletrônica Nutritime**, v.2, n.3, p.206 –220, maio/junho de 2005.
- KIM, W.K. et al. Molt performance and bone density of cortical, medullary, and cancellous bone in laying hens during feed restriction or alfalfa-based feed molt. **Poultry Science**, v.86, p. 1821-1830, 2007.

- KIM, W.K. Et al. Conceitos e métodos para a compreensão do metabolismo ósseo em galinhas poedeiras, **World Poultry Science Journal**, v.68, n.1, p.71-82, 2012.
- KLEYN, R. **Chicken Nutrition – a guide for nutritionists and poultry professionals**. England:Context, 2013.
- KOURY, J.C.; DONANGELO, C.M. Zinco, estresse oxidativo e atividade física. **Revista de Nutrição**, v.16, n.4, p.433-41, 2003.
- LEESON, S.; SUMMERS, J. D. **Nutrition of the chicken**. 4 ed. Guelph, Ontario: University Books, 2001.
- LI, L.L. et al. Effects of dietary Mn-methionine supplementation on the egg quality of laying hens, **Poultry Science**, v. 97, Issue 1, p. 247–254, jan. 2018.
- LI, L.L. et al. Effects of dietary Zn-methionine supplementation on the laying performance, egg quality, antioxidant capacity, and serum parameters of laying hens. **Poultry Science**, v.98, n.2, p.923-931, Feb. 2019.
- LU, L. et al. Effect of dietary supplementation with copper sulfate or tribasic copper chloride on the growth performance, liver copper concentrations of broilers fed in floor pens and stabilities of vitamin E and phytase in feeds. **Biol. Trace Elem. Res.**, v.138; p.1- 3, p.181-189, 2010.
- MACARI, M. Fisiologia do sistema digestivo das aves (II). **Aves e Ovos**, São Paulo, v.15, n.10, p. 2-20, 1999.
- MACIEL, M.P. et al. Effect of using organic microminerals on performance and external quality of eggs of commercial laying hens at the end of laying. **R. Bras. Zootec.**, v.39, p.344-348, 2010.
- McDOWELL, L.R. **Minerals in animal and human nutrition**. 2.ed. Netherlands: Elsevier Science, 2003. 644 p.
- McDOWELL, L.R., 1992. **Minerals in animal and human nutrition**. AcademicPress, INC San Diego, USA.
- MILES, R. et al. The effect of dietary supplementation with copper sulfate or tribasic copper chloride on broiler performance, relative copper bioavailability, and dietary prooxidant activity. **Poult. Sci**, v.77, p.416-425, 1998.
- MWANGI, S.J. et al. Effect of zinc imprinting and replacing inorganic zinc with organic zinc on early performance of broiler chicks. **Poult. Sci.**, v.96, p.861–868, 2017.
- NAZ, S. et al. The activity and use of zinc in poultry diets. **World's Poultry Science Journal**, v.72, n.1, p.159–167, 2016.
- NOROUZIAN, H. et al The effects of post-hatch feeding with betaine on the intestinal development of broiler chickens, **Poultry Science**, n.20, v.3, p.403-412, 2018.
- NUNES, I. J. Nutrição animal básica. **Minerais**, v.2, p.153-221, 1998.
- NYS, Y. et al. Adapting trace mineral nutrition of birds for optimising the environment and poultry product quality. **World's Poultry Science Journal**, n.74, v.2, p.225–238, 2018.
- NYS, Y. et al. Avian eggshell mineralization: biochemical and functional characterization of matrix proteins. **Comptes Rendus Palevol**, v3, n. 6-7, p.549–562, 2004.
- NYS, Y.; REVY, P.S.; JONDREVILLE, C. Zinc, cuivre et manganese en aviculture: role, disponibilit e et risque pour l'environnement. Journées de La Recherche Avicole, Tours. **Anais...Tours**, 2003.
- OLIVEIRA, M.D. et al. Desempenho de frangos de corte recebendo dietas com diferentes fontes e níveis de cobre. **SIAMS – Internacional poultry and pork show**, São Paulo – SP, p.167-169, 2019. Disponível em: [https://www.siams.com.br/wp-content/uploads/2019/09/anais\\_siams2019.pdf](https://www.siams.com.br/wp-content/uploads/2019/09/anais_siams2019.pdf) Acesso em: 12 jan. 2021.
- OLUKOSI, O.A.; VAN KUIJK, S.J.A.; HAN, Y. Sulfate and hydroxychloride trace minerals in poultry diets–comparative effects on egg production and quality in laying hens, and growth performance and oxidative stress response in broilers. **Poultry science**, v.98, n.10, p.4961-4971, 2019.
- PAIK, I. Application of chelated minerals in animal production. **Asian Australasian Journal of Animal Sciences**, v.14, n. SPI, p.191-198, 2001.
- PANG, Y.; APPLGATE, T.J. Efeitos da suplementa o dietética com cobre e fonte de cobre no pH da digesta, cálcio, zinco e tamanho do complexo de cobre no trato gastrointestinal de frangos de corte. **Poultry Science**, v.86, n.3, p.531-537, 2007.
- PELICIA, K. et al. Calcium and available phosphorus levels for laying hens in second production cycle. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.11, n.1, p.39-49, 2009.

- PEREIRA, C.G. **Poedeiras semipesadas suplementadas com minerais amino complexados**, Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Recife, BR-PE, 2018. 55f.
- POWELL, J.J. et al. Mechanisms of gastrointestinal absorption: dietary minerals and the influence of beverage ingestion. **Food chemistry**, v.51, n.4, p.381-388, 1994.
- PRASAD, C.S. *et al.* Trace elements and ovarian hormonal levels during different reproductive conditions in crossbred cattle. **Indian Journal of Dairy Science**. v.42, p.489-492, 1989.
- RAJESWARIS.; SWAMINATHAN, S, Role of copper in health and diseases, **J. Shanxi Agric. Univ.**, n.39, p.239-242, 2008.
- REN, P. et al. Interactive effects of zinc and copper sources and phytase on growth performance, mineral digestibility, bone mineral concentrations, oxidative status, and gut morphology in nursery pigs. **Translational Animal Science**, v.4, n.2, p.783-798, 2020.
- RICHARDS, J.D. et al. Trace mineral nutrition in poultry and swine. **AsianAustralasian Journal of Animal Sciences**, v.23, n.11, p.1527-1534, 2010.
- RIJSSELAERE, T.; BRUNEEL, B. Minerales traza en la nutrición de gallinas reproductoras y depostura: una actualización, LPN Congress, Octubre, 2018, Miame. Disponível em: <https://lpncongress.com/wp-content/uploads/2018/10/minerales-traza-en-la-nutricion-de-gallinas-reproductoras-y-de-postura-una-actualizacion-tom-rijsselaere-brecht-bruneel.pdf>
- RUBIO ZAPATA, N.K. Effect of increasing levels of dietary zinc (Zn), manganese (Mn), and copper (Cu) from organic and inorganic sources on egg quality and egg Zn, Mn, and Cu content in laying hens. 2016. Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College (These) - Master of Science, 52p. Disponível em: [https://digitalcommons.lsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2423&context=gradschool\\_theses](https://digitalcommons.lsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2423&context=gradschool_theses)
- RUTZ, F.; MURPHY, R. Minerais orgânicos para aves e suínos. In: Congresso Internacional sobre uso da levedura na Alimentação Animal, 1., 2009, Campinas. **Anais...** Campinas: CBNA, 2009. p.21-36.
- RUTZ, F.; PAN, E.A.; XAVIER, G.B. Efeito de minerais orgânicos sobre o metabolismo e desempenho de aves. **Revista Aveworld**, 2007.
- SALEH, A.A. et al. Impact of dietary organic mineral supplementation on reproductive performance, egg quality characteristics, lipid oxidation, ovarian follicular development, and immune response in laying hens under high ambient temperature. **Biological trace element research**, p.1-9, 2019.
- SCHEIDELER, S.E. **Trace mineral balance in poultry**. Proceedings Midwest Poultry Federation Convention; 2008; St. Paul, Minnesota. USA.
- SHARP, P. The molecular basis of copper and iron interactions. **Proceedings of the Nutrition Society**, v.63, n.4, p.563-569, 2004.
- SILVA, J.H.V; PASCOAL, L.A.F. Função e disponibilidade dos minerais.p.129-141, 2014. In: **Nutrição de não ruminantes**, Sakomura et al., Jaboticabal:Funep, 2014, 678p.
- SIMS, J.T. et al. Nutrient management for intensive animal agriculture: policies and practices for sustainability, **Soil Use Manage**, v.21, p.141-151, 2005.
- SINGH, A.K.; GHOSH, T.K.; HALDAR, S. Effects of methionine chelate- or yeast proteinate-based supplement of copper, iron, manganese and zinc on broiler growth performance, their distribution in the tibia and excretion into the environment, **Biol Trace Elem Res**, p.164-253, 2015.
- SOETAN, K.O.; OLAIYA, C.O.; OYEWOLE, O.E. The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants: A review, **African Journal of Food Science**, v.4, n.5, p.200-222, 2010.
- SOROSH, Z. et al. Dietary zinc supplementation and the performance and behaviour of caged laying hens. **Animal Production Science**, v.59, n.2, p.331-337, 2019.
- SPRING, P. Total replacement technology with organic minerals for laying hens. **Intencional Poultry Production**, v.20, n.7, p.21-22, 2013.
- STAHL, J.L.; GREGER, J.L.; COOK, M.E. Zinc, copper, and iron utilization by chicks fed various concentrations of zinc. **British Poultry Science**, v.30, p.123-134, 1989.
- STEFANELLO, C. et al. Productive performance, eggshell quality, and eggshell ultrastructure of laying hens fed diets supplemented with organic trace minerals. **Poultry Science**, v.93, n.1, p.104-113, 2014.
- STOREY, M.L.; GREGER, J.L. Iron, zinc and copper interactions: chronic versus acute responses of rats. **The Journal of nutrition**, v. 117, n. 8, p. 1434-1442, 1987.

- SURAI, P.F. **Minerals and anti-oxidants**, p.147-177. Re-defining mineral nutrition, Nottingham University Press: England, 2005.
- ŚWIĄTKIEWICZ, S. et al. Dietary factors improving eggshell quality: an updated review with special emphasis on microelements and feed additives. **World's Poultry Science Journal**, v.71, n.1, p.83-94, 2015.
- ŚWIĄTKIEWICZ, S.; KORELESKI, J. Eggshell quality in laying hens fed diets supplemented with different levels of zinc and manganese. **Pol J Food Nutr Sci**. v.57, n.4, 551–554, 2007.
- TAPIERO, H.; TEW, K.D. Trace elements in human physiology and pathology: zinc and metallothioneins. **Biomed. Pharmacother.**, n.57, p.399-411, 2003.
- UNDERWOOD, E.J. **The mineral nutrition of livestock**. 3<sup>rd</sup> Edition. New York: Cabi, 1999. 614p.
- UNI, Z. Functional development of the small intestine in domestic birds: cellular and molecular aspects. **Poultry and Avian Biology Review**, Chicago, v.10, n.3, p.167-179, 1999.
- VIEIRA, S.L. Chelated minerals for poultry. *Brazilian Journal of Poultry Science*, v.10, n.2, p.73-79, 2008.
- WANG, H. et al. Copper and lysine amino acid density responses in commercial broilers. **J. App. Poult. Res.**, p.959, 2014.
- WANG, J. et al. Nutritional modulation of health, egg quality and environmental pollution of the layers. **Animal Nutrition**, v.3, n.2, p.91-96, 2017.
- XIAO, J.F. et al. Manganese supplementation enhances the synthesis of glycosaminoglycan in eggshell membrane: a strategy to improve eggshell quality in laying hens. **Poult Sci**. n.93, v.2, p.380–388, 2014.
- XIE, J.J. et al. Effects of inorganic and organic manganese supplementation on gonadotropin-releasing hormone-I and folliclestimulating hormone expression and reproductive performance of broiler breeder hens, **Poult. Sci.**,v.93, p.959-969, 2014.
- YANG, Y. Adjustment of nutrition on the reproduction of poultry, **Int. J. Curr. Sci.**, n.10, p.94-107, 2014.
- YILDIZ, A.Ö.; CUFADAR, Y.; OLGUN, O. Effects of dietary organic and inorganic manganese supplementation on performance, egg quality and bone mineralisation in laying hens. **Revue de Medecine Veterinaire**, v.162, p.482-488, 2011.
- YILMAZ DIKMEN, B. et al. Effects of supplementary mineral amino acid chelate (ZnAA-MnAA) on the laying performance, egg quality and some blood parameters of late laying period layer hens. **Veteriner Fakultesi Dergisi**, v.21, p.155-162, 2015.
- YOSHIKO, Y.; KUSUHARA, S.; ISHIDA, K. Histological studies of the medullary bone of hens producing soft-shelled eggs. **Japanese Journal of Zootechnical Science**, v.58, p.123-130, 1987.
- ZAMANI, A; RAHMANI, H.R.; POURREZA, J. Supplementation of a corn-soybean meal diet with manganese and zinc improves eggshell quality in laying hens. **Pak J Biol Sci.**, v.8, n.9, p.1311–1317, 2005.

**CAPÍTULO 2**

**Efeito da suplementação de diferentes fontes e níveis de zinco, cobre e manganês no desenvolvimento reprodutivo de poedeiras leves**

## RESUMO

Objetivou-se avaliar a suplementação de zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn) usando diferentes fontes e níveis na dieta de poedeiras leves (Hy-line W-80). Um total de 364 aves foram distribuídas a partir de um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 2, sendo o primeiro fator as fontes (sulfato vs mineral metionina hidróxi-análoga) e o segundo fator os níveis de suplementação de Zn, Cu e Mn (nível recomendado vs nível superior a recomendação), totalizando quatro tratamentos com sete repetições. As aves foram alimentadas com a dieta testada a partir do primeiro dia de vida até a 54ª semana de idade, totalizando 378 dias de período experimental. Foram avaliados o desempenho inicial (peso inicial (g), peso final (g), ganho de peso (g), consumo de ração (g/ave/dia) e conversão alimentar (kg/ave)); a idade da ave ao primeiro ovo (dias), o peso do primeiro ovo (g), o intervalo entre os primeiros ovos (dias); de 17 a 54 semanas - o número de ovos (unidades), o peso do ovo (g) e a produção de ovos / ave (%); e os aspectos morfológicos considerando a altura ( $\mu\text{m}$ ), largura ( $\mu\text{m}$ ) e o número de dobras do magno e útero na fase de pré-postura, pré-pico e postura, abatendo-se uma ave / parcela ao final de cada fase (17, 23 e 54 semanas). Para os dados referentes aos primeiros ovos, foi realizada análise estatística descritiva e os resultados de desempenho inicial e morfológicos, utilizou-se ANOVA e comparação das médias pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). O primeiro ovo ocorreu aos 119 dias de idade com 34,79g de peso com o uso da fonte sulfato + níveis recomendados (FS+NR) de Zn, Cu e Mn. O intervalo entre ovos foi menor com a fonte quelatada + níveis superior ao recomendado (FQ+NS); o número, peso e produção de ovos foram maiores com o uso da FQ+NS da 20ª à 54ª semana. A FS+NR de Zn, Cu e Mn resultaram em melhores aspectos microscópicos do magno e útero na 54ª semana de idade. A suplementação das aves a partir do primeiro dia de vida da poedeira com a fonte sulfato com níveis recomendados de Zn, Cu e Mn teve efeito benéfico no desempenho inicial e do sistema reprodutor de poedeiras leves até a 54ª semana de idade.

**Palavras-chaves:** Aves. Fisiologia. Morfologia. Nutrição. Oviduto. Primeiro ovo.

## ABSTRACT

The objective was to evaluate the supplementation of zinc (Zn), copper (Cu) and manganese (Mn) using different sources and levels in the diet of light laying hens (Hy-line W-80). A total of 364 birds were distributed from a completely randomized design, in a 2 x 2 factorial scheme, the first factor being the sources (sulfate vs mineral hydroxy-analogue of methionine) and the second factor the supplementation levels of Zn, Cu and Mn (recommended level vs higher than recommended level), totaling four treatments with seven repetitions. The birds were fed the tested diet from the first day of life until the 54th week of age, totaling 378 days of experimental period. Performance (initial body weight (g), final body weight (g), weight gain (g), feed intake (g / bird / day) and feed conversion (kg / bird)) the age of the bird to the first egg (days), the weight of the first egg (g), the interval between the first eggs (days); from 17 to 54 weeks - the number of eggs (units), the egg weight (g) and the egg / bird production (%); and the morphological aspects considering the height ( $\mu\text{m}$ ), width ( $\mu\text{m}$ ) and the number of folds of the magnum and uterus in the pre-laying, pre-peak and laying phase, slaughtering one bird / plot at the end of each phase ( 17, 23 and 54 weeks) were evaluated. For the data referring to the first eggs, a descriptive statistical analysis was carried out and the results of performance and morphological were used, ANOVA and comparison of means by the Tukey test ( $P < 0.05$ ). The first egg occurred at 119 days of age with a weight of 34.79 g using the sulfate source + recommended levels (FS + NR) of Zn, Cu and Mn. The interval between eggs was shorter with the chelated source + higher levels than recommended (FQ + NS); the number, weight and egg production were higher with the use of FQ + NS from the 20th to the 54th week. FS + NR of Zn, Cu and Mn resulted in better microscopic aspects of the magnum and uterus at 54 weeks of age. Supplementation of birds from the first day of life of the hen with the sulfate source with recommended levels of Zn, Cu and Mn had a beneficial effect on the initial performance and on the reproductive system of light hens until the 54th week of age.

**Keywords:** Poultry. Physiology. Morphology. Nutrition. Oviduct. First egg.

## INTRODUÇÃO

Os minerais são elementos chave na nutrição de galinhas poedeiras e fazem parte dos mais diversos processos metabólicos corporais desde os primeiros dias de vida das aves ao contribuir com o desenvolvimento do sistema esquelético, como também na maturidade sexual e na formação do ovo. Contudo, suas exigências nutricionais são estudadas principalmente na fase produtiva devido à necessidade desses elementos para constituição da casca do ovo. Poucos são os trabalhos que abordam o papel dos microminerais para poedeiras nas fases que antecedem a produção de ovos e a existência de alguma relação benéfica entre eles e os sistemas endócrino e reprodutor das aves antes da idade reprodutiva.

O principal propósito das fases que antecedem a postura é formar lotes uniformes e com peso ideal, tendo em vista que essa última variável tem influência direta sobre a maturidade sexual das aves como já foi comprovado em estudos anteriores (LEESON e SUMMERS, 2001; RENEMA *et al.*, 2007; ALBINO *et al.*, 2014; D'AGOSTINI *et al.*, 2017). A maturidade sexual é marcada por inúmeras alterações na morfologia ovariana e o desenvolvimento do oviduto (infundíbulo, magno, istmo, útero e vagina). A primeira postura pode ocorrer a partir da 16ª semana de idade da ave, a depender do material genético da linhagem.

Durante esse período, a atividade metabólica é aumentada rapidamente, elevando a necessidade de nutrientes para as aves, portanto, conhecer os possíveis efeitos dos microminerais no decorrer do crescimento e desenvolvimento da maturidade sexual das aves pode proporcionar decisões mais assertivas e oferecer melhor produtividade na fase de postura, pois os microminerais, zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn) são metais de relevância na dieta de poedeiras porque participam ativamente dos constituintes do ovo e da casca.

Algumas das funções do Zn estão atreladas ao sistema reprodutor, formação óssea e é cofator da anidrase carbônica, enzima essencial para a formação da casca do ovo (LEESON e SUMMERS, 2001; SILVA e PASCOAL, 2014). O Cu participa da formação da cartilagem e da membrana da casca, e pode ser encontrado em alguns pigmentos (SCHEIDELER, 2008), ademais, possui propriedades antimicrobianas e melhora a saúde intestinal (WANG *et al.*, 2014). O Mn está relacionado ao desenvolvimento e funcionamento do sistema reprodutivo dos animais (UNDERWOOD, 1999; SWIATKIEWICZ e KORELESKI, 2008).

A suplementação mineral pode ser feita com o uso de microminerais de fonte inorgânica (óxidos, sulfatos, cloretos, carbonatos ou fosfatos) (SILVA e PASCOAL, 2014) ou microminerais de fonte orgânica, assim chamada por ligar um íon metálico a uma molécula

orgânica (McDOWEEL, 2003) e dependendo do tipo de ligante podem formar complexo de metal (complexos, quelatos ou proteínatos) (RUTZ e MURPHY, 2009) proporcionando estruturas mais estáveis no organismo quando comparada as fontes inorgânicas (RICHARDS *et al.*,2010).

Diante do exposto, buscou-se avaliar os efeitos comparativos entre as fontes sulfato e metionina hidroxí-análoga de zinco, cobre e manganês com diferentes níveis de inclusão sobre o desempenho inicial das aves (1-15 semanas de idade), como também o sistema reprodutor (17-54 semanas de idade) através da produção de ovos e morfologia do magno e útero de poedeiras leves.

## MATERIAL E MÉTODOS

O protocolo experimental foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal da Paraíba, Brasil, certidão de aprovação n°95620909-19.

### **Desenho experimental e instalações**

O experimento foi realizado no setor de avicultura do Departamento de Zootecnia, no Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba, Campus II, localizado no município de Areia, Paraíba, Brasil. As condições ambientais de temperatura e umidade relativa do ar foram registradas diariamente durante todo experimento (fev./2017 a mar./2018), com médias de 23,8°C e 82% UR.

Foram utilizadas inicialmente 364 aves da linhagem Hy-Line W-80, a partir de um dia de idade e selecionadas de acordo com o peso médio (45g). Ao longo do estudo, em virtude da coleta do material biológico para a histologia, uma ave/ unidade experimental era abatida. O critério adotado para definir os abates foi a mudança da exigência nutricional descrita no manual da linhagem, assim, caso ocorre algum efeito em função da dieta, seria possível demarcar um momento aproximado, portanto o número de aves ficou assim:

- 364 aves na cria: pré-inicial (1 a 3 semanas) (n=13);
- 336 aves na cria: inicial (4 a 6 semanas) (n=12);
- 308 aves na recria: crescimento (7 a 12 semanas) (n=11);
- 280 aves na recria: desenvolvimento (13 a 15 semanas) (n=10);
- 252 aves na fase de pré-postura (16 a 17 semanas) (n=9);
- 224 galinhas na fase de pré-pico (18 a 23 semanas) (n=8);

- 196 galinhas na fase de postura (24 a 54 semanas) (n=7).

O período experimental foi subdividido em quatro fases: fase de cria e recria (1 dia a 15ª semana de idade), pré-postura (16ª a 17ª semana de idade), pré-pico de postura (18ª a 23ª semana de idade) e postura (24ª a 54ª semanas de idade) resultando em 378 dias de experimento (1 dia a 54 semanas de idade das aves).

Foram utilizados quatro tratamentos com sete repetições com “n” aves/ unidade experimental, distribuindo as respectivas unidades experimentais de acordo com o delineamento inteiramente casualizado conforme esquema fatorial 2x2 para comparar diferentes fontes (sulfato e mineral-metionina hidroxí-análoga), com diferentes níveis de inclusão de zinco, cobre e manganês na suplementação mineral das aves. A unidade experimental foi representada pela gaiola.

Como fonte inorgânica foi utilizado o sulfato de zinco (35% Zn), o sulfato de cobre (34,5% Cu) e o sulfato de manganês (26% Mn). A fonte orgânica utilizada foi o zinco quelatado a metionina hidroxí-análoga (16% Zn), cobre quelatado a metionina hidroxí-análoga (16% Cu) e manganês quelatado a metionina hidroxí-análoga (13% Mn).

Os níveis estabelecidos foram determinados a partir do nível mínimo da exigência nutricional das aves com o uso da fonte inorgânica conforme as recomendações do manual da linhagem (HY-LINE-2016), assim a quantidade de zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn) suplementados foram de 32/08/32 ppm/kg de ração, respectivamente, sendo o nível recomendado (NR) e 64/16/64 ppm/kg sendo o nível superior ao recomendado (NS).

Logo os tratamentos ficaram constituídos como, o Tratamento 01 = Fonte sulfato + nível recomendado (FS+NR); Tratamento 02 = Fonte sulfato + nível superior ao recomendado (FS+NS); Tratamento 03 = Fonte quelatada + nível recomendado (FQ + NS); Tratamento 04 = Fonte quelatada + nível superior ao recomendado (FQ + NS) de Zn, Cu e Mn, nomenclaturas utilizadas no decorrer do texto.

Nesta pesquisa foram utilizados dois galpões: Galpão de cria e recria construído em alvenaria com telhas de barro, gaiolas de metal revestidas por material plástico, com piso de plástico telado com dimensões de 31x57x77cm (profundidade x comprimento x largura). Cada gaiola alojou inicialmente 13 aves, todas providas de bebedouros e comedouros infantis, posteriormente substituídos por comedouros tipo calha de PVC (policloreto de polivinila) e bebedouros tipo nipple antes da debicagem (aos 10 dias de idade) para as pintinhas se adaptarem. As aves receberam água e ração à vontade. O aquecimento se deu por lâmpadas incandescentes até o 15º dia de idade. Galpão de postura: galpão convencional de postura, coberto com telhas de barro, com comedouros tipo calha e bebedouros tipo nipple, sendo

agrupadas em gaiolas de arame galvanizado com dimensões de 24x37x41cm (profundidade x comprimento x largura), recebendo água e ração à vontade.

No primeiro galpão, as aves foram alojadas de 1 dia até o fim da 11ª semana de vida, quando foram transferidas para o galpão de postura permanecendo nele da 12ª até 54ª semana de idade. Foi adotado programa de luz recomendado pelo manual de criação Hy-Line W80 (2016), assegurando-se ausência do efeito do fotoperíodo sobre a maturidade sexual das aves.

O regime de luz na fase de cria e recria teve início com 20 horas de luz e foi decrescendo até 12 horas de luz (natural + artificial) para prevenir a maturidade sexual precoce e promover bom ganho de peso e boa uniformidade. A fase de pré-postura teve início com 12 horas de luz e finalizou com 13 horas de luz (natural + artificial) e a fase de pré-pico e postura sofreram aumentos gradativos de 15 minutos por semana até atingir as 16 horas de luz.

Na Tabela 1 está detalhado o programa de luz adotado durante todo o experimento, sendo 12 horas de luz natural e as horas de luz artificial foram feitas por lâmpadas fluorescentes de forma contínua. Durante todo o período experimental as aves tiveram o mesmo manejo.

Tabela 1 - Detalhamento do programa de luz utilizado na pesquisa e valores de temperatura e umidade do ar durante o período experimental

Fase	Idade das aves (semana)	Iluminação (horas de luz)	T° (C°)		Umidade (%)	
			Méd.(máx./mín.)	Méd.(máx./mín.)	Méd.(máx./mín.)	Méd.(máx./mín.)
Cria: Pré-inicial	1 a 3	20 a 19	25,1 (28,8 - 21,4)		83 (95 - 72)	
Cria: Inicial	4 a 6	18 a 16	25,5 (29,2 - 21,8)		81 (95 - 74)	
Recria: Crescimento	7 a 12	15 a 12	24,4 (27,7 - 21,2)		84 (97 - 69)	
Recria: Desenvolvimento	13 a 15	12	23,7 (26,4 - 20,9)		87 (97 - 73)	
Pré-postura	16 a 17	12	22,6 (25,4 - 19,9)		88 (97 - 80)	
Pré-pico	18 a 23	13 a 14:25	21,2 (23,5 - 18,8)		89 (98 - 74)	
Postura	24 a 26	14:30 a 15	21,9 (25,6 - 18,2)		81 (91 - 73)	
	26 a 29	15:25 a 16	21,9 (25,3 - 18,6)		84 (97 - 71)	
	30 a 33	16	23,0 (27,0 - 19,1)		78 (86 - 73)	
	34 a 37	16	23,9 (27,8 - 20,0)		80 (94 - 73)	
	38 a 41	16	24,9 (29,3 - 20,5)		74 (83 - 64)	
	42 a 45	16	25,4 (29,9 - 21,0)		75 (86 - 65)	
	46 a 49	16	25,1 (29,4 - 20,9)		78 (97 - 69)	
	50 a 54	16	25,1 (29,4 - 20,9)		83 (97 - 73)	

### Dietas

As rações foram formuladas com milho e farelo de soja, e seguiram as recomendações nutricionais do Manual da linhagem Hy-Line W-80 (2016) para todas as idades. A quantidade de cálcio e metionina presentes no milho, farelo de soja e na fonte quelatada foram consideradas durante a formulação e descontadas ao calcular-se a necessidade da fonte de metionina (MHA-Ca).

Na Tabela 2 foi sumarizada a quantidade de zinco, cobre e manganês utilizados nos diferentes tratamentos nas dietas experimentais para obter os níveis de Zn, Cu e Mn requeridos: 85/ 15/ 90 ppm na fase de cria até a pré-postura e 80/ 8/ 90 ppm na fase de pré-pico a postura, segundo o Manual da linhagem (HY-LINE INTERNACIONAL, 2016). Nas Tabelas 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 estão as rações experimentais das fases de cria, recria, pré-postura, pré-pico e postura.

Tabela 2 – Valores nutricionais de zinco, cobre e manganês presentes nos tratamentos estudados durante as 54 semanas idade de poedeiras leves

Tratamentos	1 a 3 sem	4 a 6 sem	7 a 12 sem	13 a 15 sem	16 a 17 sem	18 a 37 sem	38 a 54 sem
	(Zn/Cu/Mn) ppm						
	Cria		Recria		Pré-postura	Pré-pico	Postura
T1	61/ 15 /50	60/ 14 / 49	58/ 13 / 43	58/ 13 / 43	58/ 13 / 47	57/ 13 / 47	55/ 12 / 41
T2	93/ 23 / 82	92/ 22 / 81	90/ 21 / 75	90/ 21 / 75	90/ 21 / 79	89/ 21 / 79	87 / 21 / 75
T3	61/ 15 /50	60/ 14 / 49	58/ 13 / 43	58/ 13 / 43	58/ 13 / 47	57/ 13 / 47	55/ 12 / 41
T4	93/ 23 / 82	92/ 22 / 81	90/ 21 / 75	90/ 21 / 75	90/ 21 / 79	89/ 21 / 79	87 / 21 / 75

Tabela 3 – Composição percentual e valores nutricionais calculados das rações experimentais para poedeiras leves na fase de cria (1 a 3 semanas)

Ingredientes (%)	Tratamentos			
	T1	T2	T3	T4
Milho, 7,88%	63,24	63,24	63,24	63,24
Farelo de soja, 45,22%	31,16	31,16	31,16	31,16
Óleo de soja	1,62	1,62	1,62	1,62
Fosfato bicálcico, 18%	1,80	1,80	1,80	1,80
Sal comum	0,48	0,48	0,48	0,48
L-Lisina HCl	0,13	0,13	0,13	0,13
Cloreto de colina, 60%	0,07	0,07	0,07	0,07
Premix Vit + Se <sup>1</sup>	0,10	0,10	0,10	0,10
Iodato de K	0,0002	0,00	0,0002	0,0002
Sulfato de Fe, 20%	0,01	0,01	0,01	0,01
Antioxidante <sup>2</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01
Fitase <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01
Calcário calcítico, 37%	0,85	0,85	0,86	0,88
MHA-Ca <sup>4</sup>	0,29	0,29	0,25	0,20
Sulfato de Zn, 35%	0,009	0,018	-	-
Sulfato de Cu, 34,5%	0,002	0,005	-	-
Sulfato de Mn, 26%	0,012	0,025	-	-
Zn- Met, 16% <sup>5</sup>	-	-	0,020	0,040
Cu- Met, 15% <sup>6</sup>	-	-	0,005	0,011
Mn- Met, 13% <sup>7</sup>	-	-	0,025	0,049
Inerte <sup>8</sup>	0,20	0,18	0,21	0,19
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>Composição química</b>				
EM, kcal/kg	3000	3000	3000	3000
PB, %	19,30	19,30	19,30	19,30
Met dig, %	0,51	0,51	0,51	0,51
Met + Cis dig, %	0,78	0,78	0,78	0,78
Lis dig, %	1,02	1,02	1,02	1,02
Cálcio, %	1,00	1,00	1,00	1,00
Fósforo disp., %	0,50	0,50	0,50	0,50
Sódio, %	0,21	0,21	0,21	0,21
Cloro, %	0,34	0,34	0,34	0,34
Potássio, %	0,75	0,75	0,75	0,75
Zinco, %	32	64	32	64
Cobre, %	8	16	8	16
Manganês, %	32	64	32	64

<sup>1</sup>Pré-mistura por quilo de ração - Ácido Fólico: 30g; Ácido Pantotênico: 4,8g; Biotina: 60 g; Niacina: 15 g; Selenito de sódio: 40g; Vitamina A: 7.000.000 UI; Vitamina B1: 30g; Vitamina B12: 0,00001g; Vitamina B2: 4,5g; Vitamina B6: 30g; Vitamina D3: 3.000.000 UI; Vitamina E: 15.000 UI; Vitamina K: 90g; B.H.T: 2g.

<sup>2</sup>Etoxiquin.

<sup>3</sup>Sunphase 5000 FYT. Fitase derivada da bactéria *Escherichia coli*.

<sup>4</sup>MHA-Ca (metionina hidróxi-análoga sal de cálcio): matéria seca 99%, atividade de metionina 84%, valor proteico 49,3%, cálcio orgânico 12%, EM 4.041kcal/kg.

<sup>5</sup>Zn-Met: atividade de metionina 80%, valor proteico 47%, EM 3.823 kcal/kg.

<sup>6</sup>Cu-Met: atividade de metionina 78%, valor proteico 45,8%, EM 3.727 kcal/kg.

<sup>7</sup>Mn-Met: atividade de metionina 76%; valor proteico 44,7%, EM 3.632 kcal/kg.

<sup>8</sup>Areia lavada.

Tabela 4 – Composição percentual e valores nutricionais calculados das rações experimentais para poedeiras leves na fase de cria (4 a 6 semanas)

Ingredientes (%)	Tratamentos			
	T1	T2	T3	T4
Milho, 7,88%	68,10	68,10	68,10	68,10
Farelo de soja, 45,22%	27,14	27,14	27,14	27,14
Óleo de soja	0,78	0,78	0,78	0,78
Fosfato bicálcico, 18%	1,78	1,78	1,78	1,78
Sal comum	0,46	0,46	0,46	0,46
L-Lisina HCl	0,15	0,15	0,15	0,15
Cloreto de colina, 60%	0,07	0,07	0,07	0,07
Premix Vit + Se <sup>1</sup>	0,10	0,10	0,10	0,10
Iodato de K	0,00	0,00	0,00	0,00
Sulfato de Fe, 20%	0,01	0,01	0,01	0,01
Antioxidante <sup>2</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01
Fitase <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01
Calcário calcítico, 37%	0,89	0,89	0,90	0,92
MHA-Ca <sup>4</sup>	0,28	0,28	0,24	0,19
Sulfato de Zn, 35%	0,009	0,018	-	-
Sulfato de Cu, 34,5%	0,002	0,005	-	-
Sulfato de Mn, 26%	0,012	0,025	-	-
Zn- Met, 16% <sup>5</sup>	-	-	0,020	0,040
Cu- Met, 15% <sup>6</sup>	-	-	0,005	0,011
Mn- Met, 13% <sup>7</sup>	-	-	0,025	0,049
Inerte <sup>8</sup>	0,20	0,18	0,21	0,19
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>Composição química</b>				
EM, kcal/kg	3000	3000	3000	3000
PB, %	17,90	17,90	17,90	17,90
Met dig, %	0,48	0,48	0,48	0,48
Met + Cis dig, %	0,74	0,74	0,74	0,74
Lis dig, %	0,94	0,94	0,94	0,94
Cálcio, %	1,00	1,00	1,00	1,00
Fósforo disp., %	0,49	0,49	0,49	0,49
Sódio, %	0,20	0,20	0,20	0,20
Cloro, %	0,32	0,32	0,32	0,32
Potássio, %	0,69	0,69	0,69	0,69
Zinco, %	32	64	32	64
Cobre, %	8	16	8	16
Manganês, %	32	64	32	64

<sup>1</sup>Pré-mistura por quilo de ração - Ácido Fólico: 30g; Ácido Pantotênico: 4,8g; Biotina: 60 g; Niacina: 15 g; Selenito de sódio: 40g; Vitamina A: 7.000.000 UI; Vitamina B1: 30g; Vitamina B12: 0,00001g; Vitamina B2: 4,5g; Vitamina B6: 30g; Vitamina D3: 3.000.000 UI; Vitamina E: 15.000 UI; Vitamina K: 90g; B.H.T: 2g.

<sup>2</sup>Etoxiquin.

<sup>3</sup>Sunphase 5000 FYT. Fitase derivada da bactéria *Escherichia coli*.

<sup>4</sup>MHA-Ca (metionina hidroxí-análoga sal de cálcio): matéria seca 99%, atividade de metionina 84%, valor proteico 49,3%, cálcio orgânico 12%, EM 4.041kcal/kg.

<sup>5</sup>Zn-Met: atividade de metionina 80%, valor proteico 47%, EM 3.823 kcal/kg.

<sup>6</sup>Cu-Met: atividade de metionina 78%, valor proteico 45,8%, EM 3.727 kcal/kg.

<sup>7</sup>Mn-Met: atividade de metionina 76%; valor proteico 44,7%, EM 3.632 kcal/kg.

<sup>8</sup>Areia lavada.

Tabela 5 – Composição percentual e valores nutricionais calculados das rações experimentais para poedeiras leves na fase de recria (7 a 12 semanas)

Ingredientes (%)	Tratamentos			
	T1	T2	T3	T4
Milho, 7,88%	71,18	71,18	71,18	71,18
Farelo de soja, 45,22%	23,42	23,42	23,42	23,42
Fosfato bicálcico, 18%	1,35	1,35	1,35	1,35
Sal comum	0,41	0,41	0,41	0,41
L-Lisina HCl	0,13	0,13	0,13	0,13
Cloreto de colina, 60%	0,07	0,07	0,07	0,07
Premix Vit + Se <sup>1</sup>	0,10	0,10	0,10	0,10
Iodato de K	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
Sulfato de Fe, 20%	0,01	0,01	0,01	0,01
Antioxidante <sup>2</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01
Fitase <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01
Calcário calcítico, 37%	1,25	1,25	1,26	1,28
MHA-Ca <sup>4</sup>	0,25	0,25	0,20	0,16
Sulfato de Zn, 35%	0,009	0,018	-	-
Sulfato de Cu, 34,5%	0,002	0,005	-	-
Sulfato de Mn, 26%	0,012	0,025	-	-
Zn- Met, 16% <sup>5</sup>	-	-	0,020	0,040
Cu- Met, 15% <sup>6</sup>	-	-	0,005	0,011
Mn- Met, 13% <sup>7</sup>	-	-	0,025	0,049
Inerte <sup>8</sup>	1,79	1,76	1,80	1,78
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>Composição química</b>				
EM, kcal/kg	2950	2950	2950	2950
PB, %	16,50	16,50	16,50	16,50
Met dig, %	0,44	0,44	0,44	0,44
Met + Cis dig, %	0,68	0,68	0,68	0,68
Lis dig, %	0,84	0,84	0,84	0,84
Cálcio, %	1,00	1,00	1,00	1,00
Fósforo disp., %	0,47	0,47	0,47	0,47
Sódio, %	0,18	0,18	0,18	0,18
Cloro, %	0,29	0,29	0,29	0,29
Potássio, %	0,63	0,63	0,63	0,63
Zinco, %	32	64	32	64
Cobre, %	8	16	8	16
Manganês, %	32	64	32	64

<sup>1</sup>Pré-mistura por quilo de ração - Ácido Fólico: 30g; Ácido Pantotênico: 4,8g; Biotina: 60 g; Niacina: 15 g; Selenito de sódio: 40g; Vitamina A: 7.000.000 UI; Vitamina B1: 30g; Vitamina B12: 0,00001g; Vitamina B2: 4,5g; Vitamina B6: 30g; Vitamina D3: 3.000.000 UI; Vitamina E: 15.000 UI; Vitamina K: 90g; B.H.T: 2g.

<sup>2</sup>Etoxiquin.

<sup>3</sup>Sunphase 5000 FYT. Fitase derivada da bactéria *Escherichia coli*.

<sup>4</sup>MHA-Ca (metionina hidroxí-análoga sal de cálcio): matéria seca 99%, atividade de metionina 84%, valor proteico 49,3%, cálcio orgânico 12%, EM 4.041kcal/kg.

<sup>5</sup>Zn-Met: atividade de metionina 80%, valor proteico 47%, EM 3.823 kcal/kg.

<sup>6</sup>Cu-Met: atividade de metionina 78%, valor proteico 45,8%, EM 3.727 kcal/kg.

<sup>7</sup>Mn-Met: atividade de metionina 76%; valor proteico 44,7%, EM 3.632 kcal/kg.

<sup>8</sup>Areia lavada.

Tabela 6 – Composição percentual e valores nutricionais calculados das rações experimentais para poedeiras leves na fase de recria (13 a 15 semanas)

Ingredientes (%)	Tratamentos			
	T1	T2	T3	T4
Milho, 7,88%	71,97	71,97	71,97	71,97
Farelo de soja, 45,22%	22,71	22,71	22,71	22,71
Fosfato bicálcico, 18%	1,40	1,40	1,40	1,40
Sal comum	0,41	0,41	0,41	0,41
Cloreto de colina, 60%	0,07	0,07	0,07	0,07
Premix Vit + Se <sup>1</sup>	0,10	0,10	0,10	0,10
Iodato de K	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
Sulfato de Fe, 20%	0,01	0,01	0,01	0,01
Antioxidante <sup>2</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01
Fitase <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01
Calcário calcítico, 37%	1,28	1,28	1,30	1,31
MHA-Ca <sup>4</sup>	0,12	0,12	0,08	0,03
Sulfato de Zn, 35%	0,009	0,018	-	-
Sulfato de Cu, 34,5%	0,002	0,005	-	-
Sulfato de Mn, 26%	0,012	0,025	-	-
Zn- Met, 16% <sup>5</sup>	-	-	0,020	0,040
Cu- Met, 15% <sup>6</sup>	-	-	0,005	0,011
Mn- Met, 13% <sup>7</sup>	-	-	0,025	0,049
Inerte <sup>8</sup>	1,91	1,91	1,89	1,87
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>Composição química</b>				
EM, kcal/kg	2950	2950	2950	2950
PB, %	16,00	16,00	16,00	16,00
Met dig, %	0,33	0,33	0,33	0,33
Met + Cis dig, %	0,57	0,57	0,57	0,57
Lis dig, %	0,72	0,72	0,72	0,72
Cálcio, %	1,00	1,00	1,00	1,00
Fósforo disp., %	0,47	0,47	0,47	0,47
Sódio, %	0,18	0,18	0,18	0,18
Cloro, %	0,29	0,29	0,29	0,29
Potássio, %	0,62	0,62	0,62	0,62
Zinco, %	32	64	32	64
Cobre, %	8	16	8	16
Manganês, %	32	64	32	64

<sup>1</sup>Pré-mistura por quilo de ração - Ácido Fólico: 30g; Ácido Pantotênico: 4,8g; Biotina: 60 g; Niacina: 15 g; Selenito de sódio: 40g; Vitamina A: 7.000.000 UI; Vitamina B1: 30g; Vitamina B12: 0,00001g; Vitamina B2: 4,5g; Vitamina B6: 30g; Vitamina D3: 3.000.000 UI; Vitamina E: 15.000 UI; Vitamina K: 90g; B.H.T: 2g.

<sup>2</sup>Etoxiquin.

<sup>3</sup>Sunphase 5000 FYT. Fitase derivada da bactéria *Escherichia coli*.

<sup>4</sup>MHA-Ca (metionina hidroxí-análoga sal de cálcio): matéria seca 99%, atividade de metionina 84%, valor proteico 49,3%, cálcio orgânico 12%, EM 4.041kcal/kg.

<sup>5</sup>Zn-Met: atividade de metionina 80%, valor proteico 47%, EM 3.823 kcal/kg.

<sup>6</sup>Cu-Met: atividade de metionina 78%, valor proteico 45,8%, EM 3.727 kcal/kg.

<sup>7</sup>Mn-Met: atividade de metionina 76%; valor proteico 44,7%, EM 3.632 kcal/kg.

<sup>8</sup>Areia lavada.

Tabela 7 - Composição percentual e valores nutricionais calculados das rações experimentais para poedeiras leves na fase de pré-postura (16-17 semanas)

Ingredientes (%)	Tratamentos			
	T1	T2	T3	T4
Milho, 7,88%	67,64	67,64	67,64	67,64
Farelo de soja, 45,22%	23,33	23,33	23,33	23,33
Óleo de soja	0,89	0,89	0,89	0,89
Fosfato bicálcico, 18,5%	1,45	1,45	1,45	1,45
Sal comum	0,41	0,41	0,41	0,41
L-Lisina HCl	0,02	0,02	0,02	0,02
Cloreto de colina, 60%	0,07	0,07	0,07	0,07
Premix Vit + Se <sup>1</sup>	0,10	0,10	0,10	0,10
Iodato de K	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
Sulfato de Fe, 20%	0,01	0,01	0,01	0,01
Antioxidante <sup>2</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01
Fitase <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01
Calcário calcítico, 37%	5,63	5,63	5,65	5,66
MHA-Ca <sup>4</sup>	0,21	0,21	0,17	0,19
Sulfato de Zn, 35%	0,009	0,018	-	-
Sulfato de Cu, 34,5%	0,002	0,005	-	-
Sulfato de Mn, 26%	0,012	0,025	-	-
Zn- Met, 16% <sup>5</sup>	-	-	0,020	0,040
Cu- Met, 15% <sup>6</sup>	-	-	0,005	0,011
Mn- Met, 13% <sup>7</sup>	-	-	0,025	0,049
Inerte <sup>8</sup>	0,20	0,18	0,20	0,12
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>Composição química</b>				
EM, kcal/kg	2900	2900	2900	2900
PB, %	16,00	16,00	16,00	16,00
Met dig, %	0,41	0,41	0,41	0,41
Met + Cis dig, %	0,64	0,64	0,64	0,64
Lis dig, %	0,74	0,74	0,74	0,74
Cálcio, %	2,70	2,70	2,70	2,70
Fósforo disp., %	0,48	0,48	0,48	0,48
Sódio, %	0,18	0,18	0,18	0,18
Cloro, %	0,29	0,29	0,29	0,29
Potássio, %	0,62	0,62	0,62	0,62
Zinco, %	32	64	32	64
Cobre, %	8	16	8	16
Manganês, %	32	64	32	64

<sup>1</sup>Pré-mistura por quilo de ração - Ácido Fólico: 30g; Ácido Pantotênico: 4,8g; Biotina: 60 g; Niacina: 15 g; Selenito de sódio: 40g; Vitamina A: 7.000.000 UI; Vitamina B1: 30g; Vitamina B12: 0,00001g; Vitamina B2: 4,5g; Vitamina B6: 30g; Vitamina D3: 3.000.000 UI; Vitamina E: 15.000 UI; Vitamina K: 90g; B.H.T: 2g.

<sup>2</sup>Etoxiquin.

<sup>3</sup>Sunphase 5000 FYT. Fitase derivada da bactéria *Escherichia coli*.

<sup>4</sup>MHA-Ca (metionina hidroxí-análoga sal de cálcio): matéria seca 99%, atividade de metionina 84%, valor proteico 49,3%, cálcio orgânico 12%, EM 4.041kcal/kg.

<sup>5</sup>Zn-Met: atividade de metionina 80%, valor proteico 47%, EM 3.823 kcal/kg.

<sup>6</sup>Cu-Met: atividade de metionina 78%, valor proteico 45,8%, EM 3.727 kcal/kg.

<sup>7</sup>Mn-Met: atividade de metionina 76%; valor proteico 44,7%, EM 3.632 kcal/kg.

<sup>8</sup>Areia lavada.

Tabela 8 - Composição percentual e valores nutricionais calculados das rações experimentais para poedeiras leves na fase de pré-pico e postura (18-37 semanas)

Ingredientes (%)	Tratamentos			
	T1	T2	T3	T4
Milho, 7,88%	63,27	63,27	63,27	63,27
Farelo de soja, 45,22%	22,22	22,22	22,22	22,22
Óleo de soja	2,14	2,14	2,14	2,14
Fosfato bicálcico, 18%	1,59	1,59	1,59	1,59
Sal comum	0,39	0,39	0,39	0,39
L-Lisina HCl	0,23	0,23	0,23	0,23
Cloreto de colina, 60%	0,07	0,07	0,07	0,07
Premix Vit + Se <sup>1</sup>	0,10	0,10	0,10	0,10
Iodato de K	0,00	0,00	0,00	0,00
Sulfato de Fe, 20%	0,01	0,01	0,01	0,01
Antioxidante <sup>2</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01
Fitase <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01
Calcário calcítico grosso	4,58	4,58	4,58	4,59
Calcário calcítico fino	4,58	4,58	4,58	4,59
MHA-Ca <sup>4</sup>	0,40	0,40	0,35	0,31
Sulfato de Zn, 35%	0,01	0,02	-	-
Sulfato de Cu, 34,5%	0,00	0,00	-	-
Sulfato de Mn, 26%	0,01	0,02	-	-
Zn- Met, 16% <sup>5</sup>	-	-	0,02	0,04
Cu- Met, 15% <sup>6</sup>	-	-	0,01	0,01
Mn- Met, 13% <sup>7</sup>	-	-	0,02	0,05
Inerte <sup>8</sup>	0,20	0,18	0,21	0,19
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>Composição química</b>				
EM, kcal/kg	2860	2860	2860	2860
PB, %	15,50	15,50	15,50	15,50
Met dig, %	0,41	0,41	0,41	0,41
Met + Cis dig, %	0,77	0,77	0,77	0,77
Lis dig, %	0,82	0,82	0,82	0,82
Cálcio, %	4,08	4,08	4,08	4,08
Fósforo disp., %	0,50	0,50	0,50	0,50
Sódio, %	0,17	0,17	0,17	0,17
Cloro, %	0,27	0,27	0,27	0,27
Potássio, %	0,59	0,59	0,59	0,59
Zinco, %	32	64	32	64
Cobre, %	8	16	8	16
Manganês, %	32	64	32	64

<sup>1</sup>Pré-mistura por quilo de ração - Ácido Fólico: 30g; Ácido Pantotênico: 4,8g; Biotina: 60 g; Niacina: 15 g; Selenito de sódio: 40g; Vitamina A: 7.000.000 UI; Vitamina B1: 30g; Vitamina B12: 0.00001g; Vitamina B2: 4,5g; Vitamina B6: 30g; Vitamina D3: 3.000.000 UI; Vitamina E: 15.000 UI; Vitamina K: 90g; B.H.T: 2g.

<sup>2</sup>Etoxiquin.

<sup>3</sup>Sunphase 5000 FYT. Fitase derivada da bactéria *Escherichia coli*.

<sup>4</sup>MHA-Ca (metionina hidróxi-análoga sal de cálcio): matéria seca 99%, atividade de metionina 84%, valor proteico 49,3%, cálcio orgânico 12%, EM 4.041kcal/kg.

<sup>5</sup>Zn-Met: atividade de metionina 80%, valor proteico 47%, EM 3.823 kcal/kg.

<sup>6</sup>Cu-Met: atividade de metionina 78%, valor proteico 45,8%, EM 3.727 kcal/kg.

<sup>7</sup>Mn-Met: atividade de metionina 76%; valor proteico 44,7%, EM 3.632 kcal/kg.

<sup>8</sup>Areia lavada.

Tabela 9 - Composição percentual e valores nutricionais calculados das rações experimentais para poedeiras leves na fase de postura (38-48 semanas)

Ingredientes (%)	Tratamentos			
	T1	T2	T3	T4
Milho, 7,88%	67,18	67,18	67,18	67,18
Farelo de soja, 45,22%	19,30	19,30	19,30	19,30
Óleo de soja	1,57	1,57	1,57	1,57
Fosfato bicálcico, 18%	1,33	1,33	1,33	1,33
Sal comum	0,33	0,33	0,33	0,33
L-Lisina HCl	0,14	0,14	0,14	0,14
Cloreto de colina, 60%	0,07	0,07	0,07	0,07
Premix Vit + Se <sup>1</sup>	0,10	0,10	0,10	0,10
Iodato de K	0,00	0,00	0,00	0,00
Sulfato de Fe, 20%	0,01	0,01	0,01	0,01
Antioxidante <sup>2</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01
Fitase <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01
Calcário calcítico grosso	5,18	5,18	5,18	5,18
Calcário calcítico fino	4,24	4,24	4,26	4,27
MHA-Ca <sup>4</sup>	0,26	0,26	0,21	0,17
Sulfato de Zn, 35%	0,01	0,02	-	-
Sulfato de Cu, 34,5%	0,00	0,00	-	-
Sulfato de Mn, 26%	0,01	0,02	-	-
Zn- Met, 16% <sup>5</sup>	-	-	0,02	0,04
Cu- Met, 15% <sup>6</sup>	-	-	0,01	0,01
Mn- Met, 13% <sup>7</sup>	-	-	0,02	0,05
Inerte <sup>8</sup>	0,20	0,18	0,21	0,19
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>Composição química</b>				
EM, kcal/kg	2860	2860	2860	2860
PB, %	14,30	14,30	14,30	14,30
Met dig, %	0,42	0,42	0,42	0,42
Met + Cis dig, %	0,63	0,63	0,63	0,63
Lis dig, %	0,73	0,73	0,73	0,73
Cálcio, %	4,07	4,07	4,07	4,07
Fósforo disp., %	0,44	0,44	0,44	0,44
Sódio, %	0,17	0,17	0,17	0,17
Cloro, %	0,27	0,27	0,27	0,27
Potássio, %	0,54	0,54	0,54	0,54
Zinco, %	32	64	32	64
Cobre, %	8	16	8	16
Manganês, %	32	64	32	64

<sup>1</sup>Pré-mistura por quilo de ração - Ácido Fólico: 30g; Ácido Pantotênico: 4,8g; Biotina: 60 g; Niacina: 15 g; Selenito de sódio: 40g; Vitamina A: 7.000.000 UI; Vitamina B1: 30g; Vitamina B12: 0,00001g; Vitamina B2: 4,5g; Vitamina B6: 30g; Vitamina D3: 3.000.000 UI; Vitamina E: 15.000 UI; Vitamina K: 90g; B.H.T: 2g.

<sup>2</sup>Etoxiquin.

<sup>3</sup>Sunphase 5000 FYT. Fitase derivada da bactéria *Escherichia coli*.

<sup>4</sup>MHA-Ca (metionina hidroxí-análoga sal de cálcio): matéria seca 99%, atividade de metionina 84%, valor proteico 49,3%, cálcio orgânico 12%, EM 4.041kcal/kg.

<sup>5</sup>Zn-Met: atividade de metionina 80%, valor proteico 47%, EM 3.823 kcal/kg.

<sup>6</sup>Cu-Met: atividade de metionina 78%, valor proteico 45,8%, EM 3.727 kcal/kg.

<sup>7</sup>Mn-Met: atividade de metionina 76%; valor proteico 44,7%, EM 3.632 kcal/kg.

<sup>8</sup>Areia lavada.

Tabela 10 - Composição percentual e valores nutricionais calculados das rações experimentais para poedeiras leves na fase de postura (49-54 semanas)

Ingredientes (%)	Tratamentos			
	T1	T2	T3	T4
Milho, 7,88%	64,97	64,97	64,97	64,97
Farelo de soja, 45,22%	20,30	20,30	20,30	20,30
Óleo de soja	2,30	2,30	2,30	2,30
Fosfato bicálcico, 18%	1,70	1,70	1,70	1,70
Sal comum	0,39	0,39	0,39	0,39
L-Lisina HCl	0,09	0,09	0,09	0,09
Cloreto de colina, 60%	0,07	0,07	0,07	0,07
Premix Vit + Se <sup>1</sup>	0,07	0,07	0,07	0,07
Iodato de K	0,10	0,10	0,10	0,10
Sulfato de Fe, 20%	0,00	0,00	0,00	0,00
Antioxidante <sup>2</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01
Fitase <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01
Calcário calcítico grosso	7,28	7,28	7,28	7,28
Calcário calcítico fino	2,33	2,33	2,33	2,33
MHA-Ca <sup>4</sup>	0,20	0,20	0,16	0,12
Sulfato de Zn, 35%	0,01	0,02	-	-
Sulfato de Cu, 34,5%	0,00	0,00	-	-
Sulfato de Mn, 26%	0,01	0,02	-	-
Zn- Met, 16% <sup>5</sup>	-	-	0,02	0,04
Cu- Met, 15% <sup>6</sup>	-	-	0,01	0,01
Mn- Met, 13% <sup>7</sup>	-	-	0,02	0,05
Inerte <sup>8</sup>	0,20	0,18	0,22	0,21
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>Composição química</b>				
EM, kcal/kg	2890	2890	2890	2890
PB, %	14,91	14,91	14,91	14,91
Met dig, %	0,39	0,39	0,39	0,39
Met + Cis dig, %	0,60	0,60	0,60	0,60
Lis dig, %	0,71	0,71	0,71	0,71
Cálcio, %	4,22	4,22	4,22	4,22
Fósforo disp., %	0,40	0,40	0,40	0,40
Sódio, %	0,18	0,18	0,18	0,18
Cloro, %	0,26	0,26	0,26	0,26
Potássio, %	0,56	0,56	0,56	0,56
Zinco, %	32	64	32	64
Cobre, %	8	16	8	16
Manganês, %	32	64	32	64

<sup>1</sup>Pré-mistura por quilo de ração - Ácido Fólico: 30g; Ácido Pantotênico: 4,8g; Biotina: 60 g; Niacina: 15 g; Selenito de sódio: 40g; Vitamina A: 7.000.000 UI; Vitamina B1: 30g; Vitamina B12: 0,00001g; Vitamina B2: 4,5g; Vitamina B6: 30g; Vitamina D3: 3.000.000 UI; Vitamina E: 15.000 UI; Vitamina K: 90g; B.H.T: 2g.

<sup>2</sup>Etoxiquin.

<sup>3</sup>Sunphase 5000 FYT. Fitase derivada da bactéria *Escherichia coli*.

<sup>4</sup>MHA-Ca (metionina hidroxí-análoga sal de cálcio): matéria seca 99%, atividade de metionina 84%, valor proteico 49,3%, cálcio orgânico 12%, EM 4.041kcal/kg.

<sup>5</sup>Zn-Met: atividade de metionina 80%, valor proteico 47%, EM 3.823 kcal/kg.

<sup>6</sup>Cu-Met: atividade de metionina 78%, valor proteico 45,8%, EM 3.727 kcal/kg.

<sup>7</sup>Mn-Met: atividade de metionina 76%; valor proteico 44,7%, EM 3.632 kcal/kg.

<sup>8</sup>Areia lavada.

### **Variáveis analisadas**

#### **Desempenho**

Como desempenho inicial as variáveis: peso inicial (PI, g), peso final (PF, g), ganho de peso (GP, g), consumo de ração (CR, g/ave/dia) e conversão alimentar (CA, kg/ave). As mensurações para essa avaliação foram determinadas pela a mudança da exigência nutricional das aves (1-3; 4-6; 7-12; 13-15 semanas de idade). O PI e PF eram calculados através da pesagem individual das aves no início e final de cada idade descrita anteriormente, em balança; o GP se deu pela diferença entre os pesos vivos final e inicial; o CR foi determinado pela diferença entre a quantidade de ração fornecida pelas sobras de rações de cada unidade experimental; a CA foi determinada dividindo-se o GP pela CR. A mortalidade foi verificada diariamente para ajustar o CR, o GP e a CA das aves. Para corrigir os parâmetros de desempenho inicial foram utilizados - o número de aves mortas, as sobras de ração e o peso das aves restantes na parcela.

#### **Idade ao primeiro ovo e produção de ovos**

O primeiro ovo foi o parâmetro utilizado para iniciar as anotações para calcular a produção de ovos e a idade ao primeiro ovo. A coleta de ovo foi realizada duas vezes ao dia (9:00 e 15:00h) e as pesagens dos ovos eram realizadas no final da tarde em balança eletrônica com precisão de 0,01g. Em caso de mortalidade, realizava-se as devidas correções.

Considerou-se como variáveis de produção: a idade das aves na primeira postura (dias), peso dos primeiros ovos (g), intervalo entre os primeiros ovos (dias), o número de ovos (unidade), peso dos ovos (g) e produção de ovos (ovo/ave/dia) que foi calculada dividindo-se a quantidade total de ovos por parcela pelo número de aves multiplicado por 100, em seguida calculada a média do tratamento. Para melhor entendimento e visualização do comportamento das aves em resposta às dietas, avaliou-se o número de ovos, peso de ovos e produção de ovos de 17 a 54 semanas. Quando as aves atingiram a 24ª semana de idade, a variável peso de ovo passou a ser analisada com o intervalo de 28 dias, sendo que todos os ovos eram pesados nos últimos três dias do intervalo, totalizando seis coletas neste período (24 a 54 semanas).

#### **Morfometria do sistema reprodutor feminino**

Para a morfometria do sistema reprodutor (magno e útero), as aves foram selecionadas pelo peso médio da parcela, sendo abatida uma ave por parcela (n=28) a cada encerramento de fase para posterior coleta do material biológico. Durante o abate as aves foram eutanasiadas por meio de eletronarcolese seguida de exsanguinação. Foram coletados os fragmentos do magno (1 cm da região média e mais espessa do magno/animal) e útero (1 cm<sup>2</sup> da região média do útero/animal) de sete aves/tratamento/idade no final de cada fase. Até a fase de pré-postura foi

coletado apenas o material das aves que já estavam em produção. O material foi fixado em formal tamponado a 10% em solução de tampão fosfato pH 7,2 (PBS) por 24 horas, segundo metodologia de Junqueira e Junqueira (1983). As amostras foram processadas pelos métodos de rotina histológica e cortes histológicos de cinco micrômetros ( $\mu\text{m}$ ) foram realizados no sentido transversal, corados em Alcian Blue e pela reação histoquímica do Ácido Periódico de Schiff (PAS), posteriormente analisados em microscópio Olympus BX53F (Tóquio, Japão) acoplado a uma câmera fotográfica digital (Olympus DP73). Foram obtidas imagens digitais no software cellSens Dimension®. Para cada variável analisada, foram obtidas 10 mensurações/corte/ave na objetiva de 20x, totalizando 70 observações para cada variável/tratamento. As variáveis estudadas foram altura e largura das dobras ( $\mu\text{m}$ ), número de dobras (unidade) do magno e útero por área quando as aves estavam com 17, 23 e 54 semanas de idade.

A altura da dobra foi tomada a partir da mucosa até epitélio apical, considerando apenas as dobras que estavam íntegras. A largura das dobras foi considerada a distância horizontal a partir da altura central da dobra. O número de dobras se deu de forma aleatória, considerando todas as dobras inteiras que estivessem dentro do campo de varredura e desconsiderando as que estavam aparecendo de forma incompleta na foto. As análises histomorfométricas foram realizadas por um único avaliador para evitar erros de interpretação.

#### **Análise Estatística**

Para a análise das respostas de produção foram utilizadas ferramentas de análise estatística descritiva, através das quais foram mostrados por meio de frequências e percentuais obtidos. Os dados foram organizados na forma de tabelas e Figuras, considerando os vários atributos e dimensões. A análise dos dados foi realizada com o auxílio do programa *Excel do Windows 2010*, sendo as médias realizadas pelas ferramentas desse programa. As variáveis de morfometria do reprodutor foram submetidas às análises estatística utilizando-se o SAS (SAS Institute, 2011). Foi verificada a homogeneidade de variância, sendo posteriormente analisados por modelo fatorial, em que foram incluídos os efeitos dos tratamentos, fontes e níveis dos microminerais, e a interação entre os fatores. As médias foram comparadas por meio do teste de Tukey a 5% de significância.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os dados apresentados na Tabela 11, o desempenho inicial das aves teve interação entre as fontes e níveis de suplementação do Zn, Cu e Mn sobre a conversão alimentar de 1-3 semanas de idade (CA, 1-3s) ( $P=0,0326$ ), relação descrita posteriormente na Tabela 12. Não se observou efeito ( $P > 0,05$ ) isolado das fontes ou dos níveis e nem suas interações nas demais parâmetros de desempenho inicial (peso inicial, peso final, ganho de peso, consumo de ração e conversão alimentar).

Tabela 11 – Efeito da suplementação de diferentes fontes e níveis de zinco, cobre e manganês sobre o desempenho inicial (1 a 15 semanas) de frangas de reposição

Efeitos	Variáveis	PI1d, (g)	PF3s, (g)	GP1-3s, (g)	CR,1-3s (g/ave/dia)	CA, 1-3s (kg/ave)	PI4s, (g)	PF6s, (g)	GP4-6s, (g)	CR,4-6s (g/ave/dia)	CA, 4-6s (kg/ave)
<b>Fontes</b>	Sulfato	45,52	232,49	186,97	419,09	2,24	232,49	502,36	269,87	780,24	2,89
	Quelato	45,49	229,35	183,86	403,68	2,20	229,35	493,18	263,83	772,96	2,93
<i>P</i>		0,9434	0,1413	0,1383	0,9920	0,1304	0,1413	0,5141	0,7626	0,4533	0,4731
<i>CV (%)</i>		0,82	3,04	3,74	3,98	4,04	3,04	2,33	4,40	7,91	10,24
<b>Níveis</b>	32/8/32	45,51	231,66	186,15	407,75	2,19	231,66	502,43	270,77	771,93	2,86
	Zn/Cu/Mn 64/16/64	45,50	230,17	184,67	415,02	2,25	230,17	493,11	262,94	781,27	2,98
<i>P</i>		0,9812	0,1976	0,1934	0,2616	0,1054	0,1976	0,5072	0,8640	0,5927	0,5986
<i>CV (%)</i>		0,82	3,10	3,82	4,33	3,98	3,10	2,32	4,29	7,90	10,04
<b>Fontes x Níveis</b>											
<i>P</i>		1,0000	0,2382	0,2334	0,4203	0,0326	0,2382	0,9671	0,4359	0,4895	0,3631
Efeitos	Variáveis	PI7s, (g)	PF12s, (g)	GP7-12s, (g)	CR,7-12s (g/ave/dia)	CA, 7-12s (kg/ave)	PI13s, (g)	PF15s, (g)	GP13-15s, (g)	CR,13-15s (g/ave/dia)	CA, 13-15s (kg/ave)
<b>Fontes</b>	Sulfato	502,36	1015,87	513,51	2393,69	4,67	1015,87	1193,46	177,59	1433,26	8,24
	Quelato	493,18	1019,02	525,84	2413,09	4,60	1019,02	1186,96	167,94	1457,31	8,82
<i>P</i>		0,5141	0,6201	0,3923	0,2725	0,7974	0,6201	0,6001	0,2995	0,2441	0,1227
<i>CV (%)</i>		2,33	2,98	4,83	2,97	5,63	2,98	2,04	14,99	5,35	14,31
<b>Níveis</b>	32/8/32	502,43	1026,23	523,80	2428,82	4,64	1026,23	1196,18	169,94	1431,11	8,58
	Zn/Cu/Mn 64/16/64	493,11	1008,66	515,55	2377,96	4,63	1008,66	1184,25	175,59	1459,46	8,48
<i>P</i>		0,5072	0,9403	0,8439	0,8003	0,9271	0,9403	0,4801	0,5697	0,2268	0,2659
<i>CV (%)</i>		2,32	2,85	4,92	2,79	5,69	2,85	2,00	15,17	5,32	14,72
<b>Fontes x Níveis</b>											
<i>P</i>		0,9671	0,6662	0,6259	0,3609	0,9665	0,6662	0,7479	0,4338	0,3347	0,2148

Médias de tratamentos seguidas por letras distintas (nas linhas) diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%).  
CV(%): Coeficiente de variação.

Através dos dados de interação observa-se que a FS+NR teve a melhor CA, 1-3s e o aumento dos níveis de suplementação de Zn, Cu e Mn elevaram a CA das aves resultando na pior CA entre todos os tratamentos (FS+NS) para essa idade, tal ocorrência pode ter sido devido ao aumento no consumo de ração (CR) e redução no ganho de peso (GP). Já os tratamentos com uso da FQ tiveram valores médios de CA aproximados entre si, mesmo quando os níveis de suplementação aumentaram e não diferiram estatisticamente entre si.

Tabela 12 – Efeito da interação das fontes e níveis de zinco, cobre e manganês sobre a conversão alimentar (kg/ave) de poedeiras leves com 3 semanas de idade

Fontes x Níveis	32/8/32	64/16/64
	Zn/Cu/Mn	Zn/Cu/Mn
Sulfato	2,18B	2,30A
Quelato	2,20	2,19

<sup>a,b</sup>Médias dos tratamentos seguidas por letras maiúsculas distintas (nas colunas) diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%).

De acordo com Albino *et al.* (2014) a ave tem o desenvolvimento multifásico e da 1<sup>a</sup> a 6<sup>a</sup> semana de idade é o momento em que ocorrer o crescimento visceral. E que a mucosa do intestino por ter crescimento contínuo pode ser afetada por fatores endógenos e exógenos (MAIORKA *et al.*, 2000). Partindo dessas afirmativas, acredita-se que o trato gastrointestinal e suas glândulas acessórias não estavam com maturidade suficiente até a 3<sup>a</sup> semana de idade das pintinhas para aproveitar os nutrientes presentes na dieta FS+NS levando as aves a consumirem mais ração que as aves com uso da FQ (3,7%) para atender suas necessidades metabólicas e em função do aumento dos níveis de Zn, Cu e Mn alguma interação antagônica se deu refletindo sobre a redução no GP, consequentemente na CA. Mas independente da fonte ou do nível de suplementação dos microminerais, todas as variáveis relatadas estavam dentro do preconizado pelo o manual da linhagem (HY-LINE INTERNACIONAL, 2016) para essa idade.

Ao comparar os níveis de Zn, Cu e Mn utilizados nesta pesquisa com os apresentados nas tabelas brasileiras para aves e suínos (ROSTAGNO *et al.*, 2017) para as fontes inorgânica e orgânica, percebe-se que o maior nível utilizado por esta pesquisa (64/16/64ppm) é inferior aos valores recomendados pelos autores para suplementação mineral com a fonte inorgânica e que o menor nível aqui utilizado (32/ 8/32ppm) é próximo aos valores por eles sugeridos para utilizar a fonte orgânica na fase de cria. Esses resultados sugerem que os níveis recomendados no manual da linhagem das aves devem ser adotados para suplementação mineral com a fonte inorgânica (sulfato) e que as indicações nas tabelas brasileiras podem ser aplicadas com pequenas variações quanto a fonte orgânica (metionina hidroxí-análoga).

O momento em que se deu a primeira postura entre todos os tratamentos foi o critério adotado para contabilizar a idade das aves ao primeiro ovo/tratamento, assim, tal ocorrência foi considerada como maturidade sexual atingida, logo as aves alimentadas com a ração contendo minerais de FS, independentemente do nível de suplementação, atingiram a maturidade sexual entre 17 e 18 semanas de idade; enquanto as aves dos tratamentos com uso da FQ atingiram a maturidade posteriormente (17 a 19 semanas). Portanto, a idade ao primeiro ovo foi aos 119 dias (17 semanas) com uso FS + NR dos microminerais (T1) e ainda resultou em maior peso de ovo (34,79g) entre os tratamentos com a primeira postura na mesma semana (Tabela 13).

De acordo com Albino *et al.* (2014), a fase de pré-postura passa por constantes mudanças fisiológicas, o corpo da ave se prepara para iniciar a produção dos ovos, aumentando a demanda nutricional (aminoácidos, cálcio e fósforo, principalmente), devido ao término do crescimento, início do amadurecimento do sistema reprodutor e a produção de hormônios da reprodução. Assim, presume-se que as principais razões pelas quais a FS se sobressai à FQ quanto à idade da ave ao primeiro ovo seja em função do metabolismo das aves nesta idade e da força do quelante ao micromineral tornando-o indisponível devido as possíveis interações antagônicas com alguns nutrientes a nível de lúmen intestinal.

Para Khatun *et al.* (2019) a biodisponibilidade relativa e a eficácia dos microminerais orgânicos podem sofrer variações dependendo do quelante utilizado ao mineral, da força de ligação e da relação ligante-mineral, podendo interferir sobre os seus resultados. Logo, a fonte inorgânica tem alta solubilidade em água (RIJSSELAERE e BRUNEEL, 2018), enquanto a digestão da fonte orgânica é menos hidrolisada no interior da célula (SALDANHA, 2008; HARTMAN, 2017), por isso pode ter ocorrido o aumento da utilização do Zn, Cu e Mn inorgânico por estarem mais disponíveis, além disso, o zinco, cobre e o manganês podem ter promovido o alívio do estresse oxidativo. Ressalta-se que, independente da fonte, a função dos minerais não é modificada, a não ser que ocorra reações antagônicas que os impeçam de desenvolvê-las.

Tabela 13 – Efeito da suplementação de diferentes fontes e níveis de zinco, cobre e manganês sobre a maturidade sexual (idade e peso do ovo) e início da postura (intervalo entre o primeiro e o segundo ovo) de poedeiras comerciais leves

Fontes Minerais	Níveis Zn/Cu/Mn	Idade ao 1º ovo, (dias/ semana)*	Peso do 1º ovo, (g)	Tempo de luz (natural+artificial)	Intervalo do 1º para 2º ovo, (dias/semana)**	Peso do 2º ovo, (g)
Sulfato	T1 = 32/ 8 /32	119d. (17 sem.)	34,79	13h:00min	25d. (21 sem.)	50,92
	T2 = 64/ 16 /64	123d. (18 sem.)	40,00	13h:15min	6d. (19 sem.)	45,00
Quelato	T3 = 32/ 8 /32	131d. (19 sem.)	42,13	13h:30min	1d. (19 sem.)	44,29
	T4 = 64/ 16 /64	120d. (17 sem.)	32,32	13h:00min	16d. (20 sem.)	47,58

\*Idade ao primeiro ovo foi considerado um único ovo e não a média entre os primeiros ovos de cada parcela/tratamento;

\*\*Idade do segundo ovo foi considerado a segunda postura da parcela que havia colocado o primeiro ovo, no entanto, o primeiro e o segundo ovo podem ser de aves diferentes tendo em vista que as aves não estavam alojadas em gaiolas individuais.

De acordo com Stevenson *et al.* (2019), a metaloendocrinologia afirma que a função hormonal depende dos minerais (cálcio, zinco, cobre, selênio e ferro) para interagir nas diversas fases da maturação dos hormônios peptídicos.

Houve atraso no início da postura de poedeiras comerciais ao utilizar-se minerais quelatados comparados aos inorgânicos durante a fase de recria (12 a 20 semanas), ocorrendo aos 139 dias e 137 dias com a fonte quelatada e inorgânica, respectivamente (SANTOS, 2014). Nossos resultados corroboram com os deles, pois aves alimentadas com FS + NR de Zn, Cu e Mn (T1) atingiram a idade ao primeiro ovo 119 dias.

Com relação ao peso do primeiro ovo, aparentemente não houve relação da suplementação dietética nas aves com fontes e níveis dos sulfatos e quelatos de Zn, Cu e Mn, pois houve diferença de até três semanas entre os tratamentos para a início da postura das frangas. De acordo com Renema *et al.* (2007), o desenvolvimento folicular de frangas com idade de 18 a 22 semanas, está estreitamente relacionado com o consumo de ração e peso corporal das aves. Assim, tendo como referência os textos de Renema *et al.* (2007) e Stevenson *et al.* (2019), supracitados, a variável peso do primeiro ovo não deve sofrer influência da suplementação do Zn, Cu e Mn, mas talvez a função hormonal sobre o desenvolvimento folicular das frangas sim. Essa hipótese precisa ser melhor explorada para então consolidar sua veracidade.

Segundo Hy-Line Internacional (2016), na 19ª semana o peso de ovo esperado é de 42g. Considerando a mesma idade, entre os tratamentos testados, o peso do primeiro ovo da ave no T3 (FQ + NR) já demonstra peso semelhante e a partir do segundo ovo já supera o valor de referência do manual em 2,29g.

Em relação ao intervalo entre os primeiros ovos observou-se que as aves dos tratamentos que tiveram o primeiro ovo até a 17ª semana (T1 e T4) o intervalo entre ovos foi maior do que as aves nos tratamentos com início de postura a partir da 18ª semana de idade (T2 e T3).

De acordo com o Manual da linhagem (2016), essa idade é marcada pelo término do desenvolvimento do sistema muscular e início da produção das células de gordura, sendo tais características relevantes para aves de postura. Esses eventos fisiológicos podem estar repercutindo sobre as aves até o fim da fase de pré-postura (17 semanas) e ter influenciado o intervalo entre ovos ao invés da suplementação testada, pois os T1 (FS+NR) e T4 (FQ+NS) foram suplementados com fontes e níveis diferentes de Zn, Cu e Mn, mas tiveram peso do primeiro ovo e número de dias de intervalo na produção dos ovos semelhantes.

Zuidhof *et al.* (2007) avaliaram vários indicadores da função reprodutiva e metabólica em diferentes linhagens e encontraram intervalo entre a maturidade sexual e o tempo de postura

dos ovos de 22,8 dias, contra 9,3 dias nas aves com 18 e 22 semanas, respectivamente. As galinhas que tiveram sua primeira postura com 18 semanas os ovos foram mais leves em 3,6g comparado com os ovos das galinhas com 22 semanas de idade. Joseph *et al.* (2002) relataram aumento de 2,4 g no peso do ovo após o atraso da maturidade sexual em 3 semanas (de 20 para 23 semanas de idade). No presente estudo, o atraso da maturidade sexual foi maior para as aves fazendo uso da dieta FQ + NR de Zn, Cu e Mn (T3), resultando em aumento no peso do ovo de 4,97g quando o comparado na postura seguinte (20ª semana de idade).

O número de ovos entre 17 e 54 semanas de idade de galinhas poedeiras leves está apresentado na Figura 1.

O número de ovos cresceu de forma linear a partir da 20ª semana, idade em que aves de todos os tratamentos apresentaram alguma produção. Porém, entre a 17ª e 19ª semanas de idade, as aves alimentadas com FS tiveram maior taxa de postura (33,3%) em relação as aves alimentadas com a FQ. Quanto aos níveis de Zn, Cu e Mn, o NS proporcionou maior número de ovos para as duas fontes (T2; T4) até 19ª semanas. Atribui-se a esse resultado a necessidade metabólica das aves durante as fases de pré-postura e início da fase de pré-pico, cuja FS pode ter tido melhor absorção sobre tais condições, em virtude da rápida taxa de crescimento das aves e a presença de MHA-Ca na dieta pode ter contribuído de forma positiva para o resultado.

Por se tratar de um alfa-cetoácido de metionina, o sal de cálcio do análogo hidroxilados da metionina (MHA-Ca), tem como principal forma de absorção a difusão (NELSON e COX, 2014), assim pode ser utilizado para a síntese de proteína como a própria L-Met (DIBNER e KNIGHT, 1984) e manter as concentrações teciduais normais dos nutrientes em questão.

Apesar do número de ovos crescer na 20ª semana de idade as aves é importante ressaltar que metabolicamente nessa idade, as aves desta linhagem estavam realizando a 3ª muda das plumagens, o trato reprodutivo continuava a se desenvolver e iniciava a produção das células de gordura (HY-LINE INTERNACIONAL, 2016), contudo, a puberdade não acontece de maneira uniforme nas aves (ALBINO *et al.*, 2014).

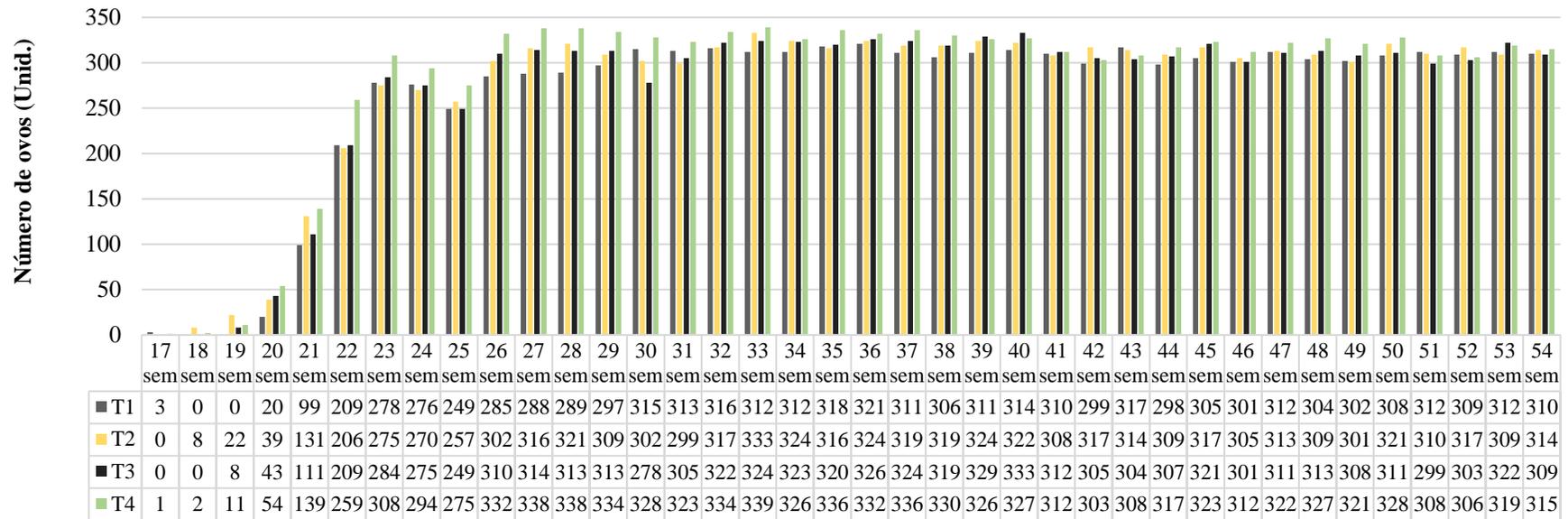


Figura 1 – Efeito da suplementação de diferentes fontes e níveis de zinco, cobre e manganês sobre o número de ovos produzidos por poedeiras leves com idades de 17 a 54 semanas

Na fase de pré-postura a maturidade hipotalâmica é um fator limitante para o desenvolvimento do oviduto e formação dos primeiros ovos. Nesse momento as aves apresentam um complexo evento fisiológico devido às interações entre os sistemas neuroendócrino e reprodutor, como também, fatores ambientais sucedendo em respostas associadas a eventos reprodutivos e à manifestação de comportamentos sexuais (MORAIS *et al.*, 2012b). De acordo com Nys e Guyot (2011), o ovário, em interação com a hipófise, controla todas as etapas da formação do óvulo, secretando esteroides e hormônios hipofisários. Para Albino *et al.* (2014) a maturidade hipotalâmica é um fator de maior relevância que o peso corpóreo das aves para atingirem a maturidade sexual, enquanto D'Agostini *et al.*, (2017) afirmaram existir uma alta correlação com o peso da ave na 6ª semana de idade, com a idade que ela atinge a maturidade sexual.

Os microminerais podem influenciar o eixo hipotálamo-hipófise-tireóide/adrenal, dependendo da concentração no corpo (HENKIN, 1976) ou causar efeito transitório (WATTS e PHD, 1990). Os efeitos dos microminerais na endocrinologia ganharam respaldo através dos estudos de Payer (1949) que classificou as glândulas endócrinas de acordo com o controle neurológico (simpático ou parassimpático) baseadas na influência dos minerais sobre a função neuroendócrina. Uma outra influência dos minerais que pode ocorrer é através de ligações dos metais sobre a conformação dos hormônios após a secreção, podendo inibir ou permitir a atividade biológica (O'HALLORAN *et al.*, 2013).

De acordo com Kleyn (2013), a franga ainda não completou seu desenvolvimento ao entrar em postura e este caracteriza-se como um novo estado fisiológico, que deve vir acompanhado de mudanças no regime alimentar, incluindo o aumento dos níveis de cálcio para formação da casca.

Aves podem construir reservas de cálcio por 14 dias antes do primeiro ovo, em virtude do armazenado nas cavidades medulares dos ossos longos (osso medular), sendo suficiente para a produção de seis ovos normais (KLEYN, 2013).

De acordo com Bouvarel *et al.* (2011), cada ovo requer 2,2 g de cálcio em média e, quando a franga realiza sua primeira postura, a liberação do estrogênio influencia na disponibilidade do cálcio presente no osso medular. Entretanto, durante esse período, as necessidades nutricionais individuais das frangas são mais elevadas do que na fase anterior porque, além do crescimento corporal (sistemas esquelético e muscular), o oviduto continua o seu desenvolvimento (HY-LINE INTERNACIONAL, 2016) e as aves não possuem capacidade física para exceder o consumo habitual de sua dieta. Portanto, durante o estabelecimento da maturidade sexual, as aves devem consumir nutrientes suficientes para atender o crescimento

corporal, desenvolvimento do oviduto e, em última análise, produção de ovos em si (KLEYN, 2013).

Ao considerar apenas o efeito da fonte, na 20ª semana percebe-se que aves alimentadas com FQ apresentaram maior número de ovos em comparação à FS. Já os níveis tiveram comportamento semelhante, independente da fonte, mas as aves fazendo uso do NS de Zn, Cu e Mn tiveram mais ovos (T2 e T4). Pressupõe-se que, à medida que as aves se aproximam do fim do desenvolvimento do trato reprodutivo, a FQ começa a se sobressair à FS. Supostamente, aves que conseguiram reter mais minerais para posterior absorção e os elevados níveis dos microminerais podem ter causado alguma interação biológica nas aves que fizeram uso da FS, seja por efeito isolado ou conjunto, tendo em vista que, sua utilização foi mais eficiente nos períodos cujo metabolismo celular, fisiológico e enzimático estavam mais intensos. Considere-se ainda que Zn, Cu e Mn possuem diversas funções, desde como constituinte de estruturas simples como enzimas até processos mais complexos como a formação do DNA.

Aves alimentadas com a FQ + NS (T4) produziram o maior número de ovos entre 20ª e 23ª semanas de idade, apresentando 16,7% a mais de ovos em relação ao segundo tratamento com maior produção (T2: FS+NS). Esse comportamento similar entre as idades pode ser devido à maturidade sexual já ter sido atingida, aproximando-se do pico de postura. Ressalta-se que o sistema reprodutor das aves atinge o fim do seu desenvolvimento na 25ª semana de idade (HY-LINE INTERNACIONAL, 2016). Nas semanas 24 e 25 foi possível observar queda no número de ovos, redução que atingiu até 9,78% (T1: FS + NR).

Sumarizando, na fase de postura, o maior número de ovos foi produzido em períodos diferentes, ou seja, 30 a 42 semanas (T1), 32 a 40 semanas (T2), 32 a 40 semanas (T3) e 26 a 40 semanas (T4). Diante do exposto, é possível concluir que a FS concentra sua maior produção de ovos entre 30 a 42 semanas de idade das aves e que os níveis não parecem ter efeito nessa idade das aves. Por outro lado, os níveis da FQ parecem ter efeito sobre o número de ovos de tal forma que houve aumento do NR para o NS. Aves alimentadas com FQ + NS (T4) produziram o maior número de ovos ao fim da pesquisa (10.743 unidades) e aquelas alimentadas com T1 (FS + NR) foi o que teve a menor quantidade de ovos (10.041).

Santos (2014), ao testar o uso de microminerais inorgânicos e orgânicos para poedeiras comerciais (12 a 80 semanas de idade), identificou que o excesso de zinco disponível na dieta favoreceu maior aproveitamento de energia da ração e resultou em maior deposição de gordura nas aves, sendo que o requerimento de energia para a construção de músculos e crescimento já estava diminuindo.

O zinco é relacionado à maior produção, armazenamento e secreção de hormônios reprodutivos (progesterona e estradiol) (PRASAD *et al.*, 1989). Além disso, o zinco mantém a concentração da vitamina A normal no plasma e é necessário para o funcionamento natural de todo epitélio do ovário (McDOWEEL, 2003). Esse mineral tem reações antagônicas com o cálcio, fósforo, cobre e ferro (SILVA e PASCOAL, 2014).

Trabalhos clássicos da literatura apontaram o cobre como o promotor das características produtivas por participar de mecanismos que viabilizaram efeito na população da microbiota e aumento da atividade mitogênica sérica (ZHOU *et al.*, 1994), aumento do hormônio de crescimento hipofisário (LABELLA *et al.*, 1973) e aumento da secreção de neuropeptídeo (BARNEA e CHO, 1987).

O manganês, semelhante ao zinco, pode afetar o organismo das aves de forma negativa quando se encontra em altas concentrações. Pine *et al.* (2005) constataram alterações sobre o sistema endócrino que refletiram sobre a produção e secreção de hormônios sexuais. Conforme Leeson e Summers (2001), o manganês tem baixa eficiência de absorção e responde de maneira inversamente proporcional quanto à ingestão e absorção, pois o aumento da ingestão do Mn diminui sua absorção e, quando ocorre alta absorção, sua ingestão é reduzida.

Segundo McDowell (1992) em galinhas poedeiras, a deficiência de Mn resultou em diminuição na taxa de produção de ovos e da qualidade da casca, redução da eclodibilidade e em uma deficiência embrionária chamada condrodistrofia.

Com relação ao peso dos ovos, percebe-se que teve o mesmo comportamento do número de ovos, em relação às fontes e níveis dos microminerais avaliados (Figura 2). Da 17<sup>a</sup> a 20<sup>a</sup> semana as aves com uso da FS na ração obtiveram ovos ligeiramente mais pesados que os das aves que receberam a FQ, sendo o NR de Zn, Cu e Mn o que resultou em maior peso do ovo (47,24g). Da 21<sup>a</sup> a 54<sup>a</sup> semana as fontes e os níveis apresentaram pesos muito próximos, sem haver consistência para diferenciar influência dos tratamentos observados. Entretanto, a FS apresentou peso médio do ovo maior nas fases de pré-postura e pré-pico, mas na fase de postura o peso médio dos ovos foi maior para os tratamentos com a FQ. Contudo, essa piora no peso do ovo das aves que fizeram uso da FQ pode estar relacionado a menor biodisponibilidade de fonte de metionina, já que a MHA-Ca possui biodisponibilidade menor, comparado a DL-Metionina.

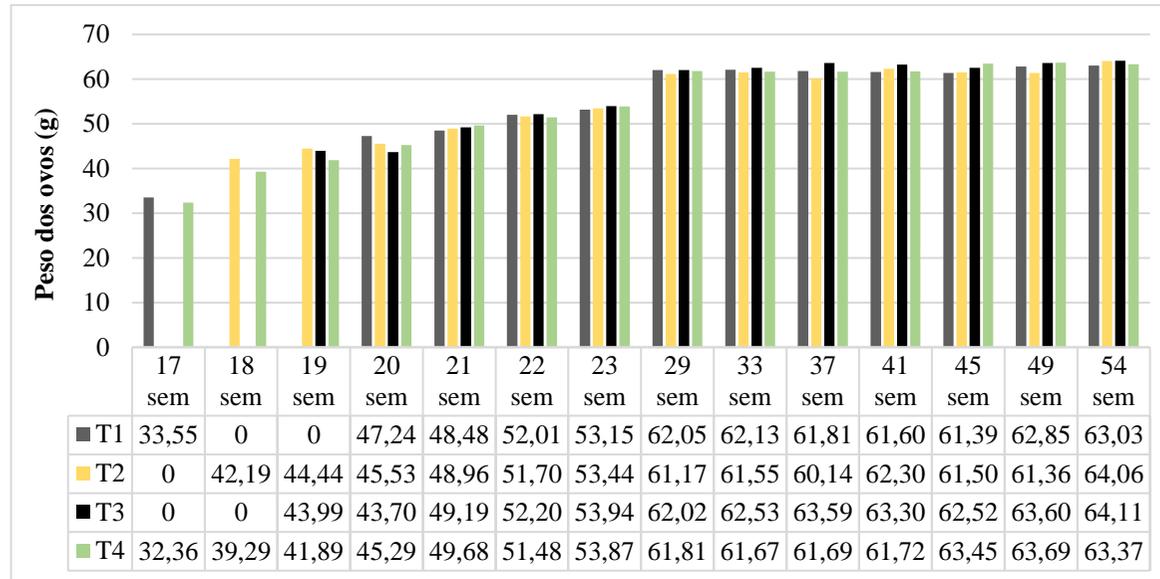


Figura 2 – Efeito da suplementação de diferentes fontes e níveis de zinco, cobre e manganês sobre o peso dos ovos de poedeiras leves com idades de 17 a 54 semanas

Os pesos de ovos encontrados nesta pesquisa foram predominantemente maiores que os pesos descritos no manual da linhagem (HY-LINE INTERNACIONAL, 2016).

Os relatos bibliográficos mostram que o peso do ovo é influenciado diretamente pela proteína. A metionina é um precursor da síntese de proteína que a torna relevante para o controle do peso dos ovos, dependendo dos níveis de aminoácidos da dieta (HARMS, 1999). Brumano *et al.* (2010) constataram que os níveis de metionina+cistina influenciaram positivamente a produção de ovos, tamanho do ovo, massa de ovo e a conversão alimentar por massa ou dúzia de ovos em poedeiras leves. O sal de cálcio do análogo hidroxilados da metionina é quimicamente diferente da DL e L-metionina, tornando-o um análogo a metionina, que apesar de ter menor atividade metabólica na fonte de quelato de cálcio, ainda possui taxa de absorção maior ou igual a DL-metionina (ZHANG *et al.*, 2015).

Zuidhof; Renema; Robinson (2007) relataram que o peso de ovo (52g) máximo é atingido com 187 dias (aproximadamente 27 semanas), sendo desvantajoso que o início da postura ocorra às 18 semanas, pois demanda-se maior tempo para atingir o peso do ovo para comercialização. No presente estudo, aves de todos os tratamentos produziram ovos com pesos superiores a 52g na 23ª semana de idade, atendendo um dos principais objetivos atuais da produção de poedeiras comerciais, devido à importância econômica do ovo (SAVEGNAGO *et al.*, 2011).

Sabe-se que o número de ovos influencia diretamente a produção dos ovos (Figura 3). As fontes minerais e os níveis de Zn, Cu e Mn apresentaram o melhor índice de produção quando as galinhas foram suplementadas com a FQ + NS (T4), enquanto os FS+NR (T1) e FQ+NR (T3) tiveram o mesmo índice de produção de ovos/aves na 23ª semana. Esse fato provavelmente decorre de variações individuais das aves, como pausas na produção dos ovos em momentos diferentes, gerando em algum instante mudanças na produção. De fato, o ovário das aves se caracteriza por apresentar vários folículos em estágios de amadurecimento diferentes que são liberados consecutivamente, no entanto, as sequências são marcadas por pausas de podem chegar a até 40 horas (BARBOSA *et al.*, 2013); este processo é chamado de hierarquia folicular.

O ciclo reprodutivo das aves tem início quando a hipófise anterior passa a produzir as gonadotrofinas, que são o hormônio folículo-estimulante (aumenta o tamanho dos folículos) e o hormônio luteinizante (estimula o folículo a liberar o ovo, como também o desenvolvimento das células intersticiais, responsáveis pela produção dos hormônios sexuais) (FREITAS *et al.*, 2011).

Retomando as informações de Payer (1949) sobre o uso de minerais na endocrinologia, têm-se na categoria simpático os minerais que podem causar efeito estimulante/acelerado (Mn, P, Fe, Na e Se) na tireoide, hipófise anterior, medula adrenal e gônadas produtoras de andrógenos; e na categoria parassimpático, os minerais que podem produzir efeito sedativo/desacelerado (Zn, Cu, Ca, Mg e Cr) no pâncreas, hipófise posterior, gônadas produtoras de estrogênio, paratireoide e córtex adrenal, dependendo do seu envolvimento enzimático e coenzimático.

Ao compilar o conjunto de dados já mencionados de Payer (1949), Freitas *et al.* (2011) e os deste estudo, é pressuposto que entre os microminerais avaliados, o manganês seja o responsável pelo início da produção de ovos, pois ele atua como estimulante sobre a hipófise anterior, glândula responsável pelos principais hormônios da reprodução (GH, FSH e LH). As glândulas hipófise e pineal, que são influenciadas pelo fotoperíodo, apresentam concentrações acentuadas de manganês (LEESON e SUMMERS, 2001). De acordo com Morais *et al.* (2012b), o fotoperíodo é o principal fator ambiental que regula a reprodução em aves.

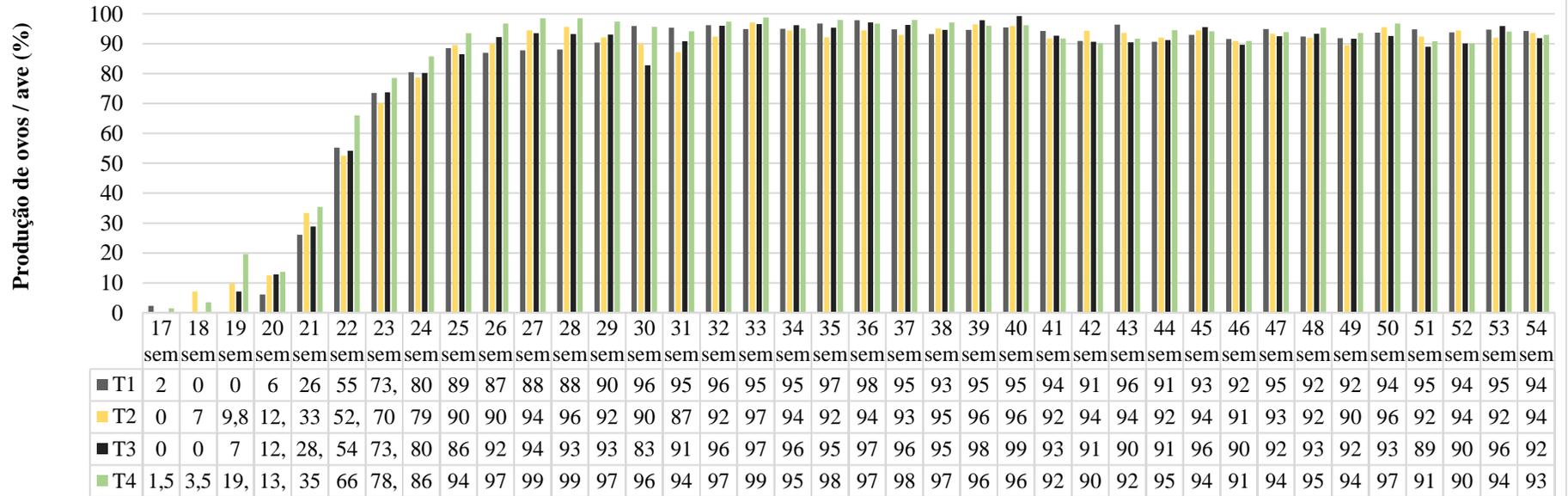


Figura 3 - Efeitos da suplementação de diferentes fontes e níveis de zinco, cobre e manganês sobre a produção de ovos de poedeiras leves com idades de 17 a 54 semanas

Antes da ovulação, os folículos pré-ovulatórios apresentam uma região chamada de estigma ovariano que tem parte da sua superfície composta por colágeno, sendo esse o local do rompimento do folículo (BAHR e JOHNSON, 1991). Entre as diversas funções atribuídas aos microminerais estudados, o Zn, Cu e Mn participam na síntese do colágeno (LEESON e SUMMERS, 2001), assim, à medida que ocorre a maturação folicular, se dá o crescimento na atividade da colagenase, rompendo o estigma e ocorrendo a ovulação (RUTZ *et al.*, 2007). Em outras palavras, o Zn, Cu e Mn podem contribuir para que a liberação do óvulo ocorra, iniciando a formação do ovo no infundíbulo. Para Remena *et al.* (2007), o perfil da maturidade sexual pode interferir na resposta da postura, dependendo da idade em que ocorra. Aves do T4 (FQ + NS) produziram menor produção de ovos nas primeiras semanas (17 a 19 semanas), mas apresentaram aumento superior ao demais tratamentos no momento em que estavam com 25 semanas de idade, possivelmente pela melhor uniformidade dos animais da parcela.

Com base no Manual da linhagem (2016), o percentual para produção de ovos na fase de pré-pico é de 9 a 89% e na fase de postura de 93 a 94%. Fazendo a comparação por fases, resultados semelhantes foram vistos entre as fontes na fase de pré-pico, mas o NS se sobressaiu aos outros níveis, resultando em maiores percentuais de produção 29% (FS) e 33% (FQ). Na fase de postura, os tratamentos suplementados com a FS tiveram 93% de produção de ovos, enquanto os de uso de FQ o percentual foi de 94% de produção de ovos. A produção de ovos deste estudo esteve de acordo com o manual da linhagem na fase de pré-pico e na fase de postura. No manual não constam valores referentes a fase de pré-postura, por isso não foi feita a comparação dos dados obtidos nessa fase.

Santos (2014) utilizou suplementação de fontes orgânica e inorgânica de microminerais na fase de recria (12 a 20 semanas) e concluiu que as fontes não afetaram os dados de desempenho na fase de postura (20 a 32 semanas). Min *et al.* (2018) estudaram o aumento da suplementação de zinco quelatado a metionina hidróxi-análoga no desempenho da postura de poedeiras e constataram redução na produção de ovos em resposta a adição do Zn-MHA. Li *et al.* (2018) encontraram aumento significativo na taxa de postura, peso do ovo, massa de ovos e melhora na conversão alimentar com 20 mg/kg de Mn; não houve efeito negativo do tipo de fonte (orgânica ou inorgânica) sobre os parâmetros relatados.

Com relação aos parâmetros morfológicos do magno e útero, não houve efeito significativo ( $P > 0,05$ ) para as fontes, níveis e nem interação entre fontes e níveis de Zn, Cu e Mn sobre a altura, largura e número de dobras no magno e útero de galinhas com 17 semanas de idade, como pode ser observado na Tabela 14.

Tabela 14 – Efeito da suplementação de diferentes fontes e níveis de zinco, cobre e manganês sobre o magno e útero de poedeiras leves na 17ª semana de idade

Efeitos	Variáveis	Magno			Útero		
		Altura de dobra (µm)	Largura de dobra (µm)	Nº de dobras (área)	Altura de dobra (µm)	Largura de dobra (µm)	Nº de dobras (área)
<b>Fontes</b>	Sulfato	665,15	261,15	20,500	862,50	197,56	12,75
	Quelato	561,84	198,63	24,417	742,90	181,84	13,08
<i>P</i>		0,3951	0,9920	0,9341	0,2510	0,5600	0,5806
<i>CV (%)</i>		24,32	16,74	20,81	28,89	27,51	43,50
<b>Níveis Zn/Cu/Mn</b>	32/8/32	614,41	234,74	22,08	847,70	197,23	10,33
	64/16/64	612,58	225,04	22,83	757,70	182,17	15,50
<i>P</i>		0,2143	0,4073	0,7569	0,2211	0,5550	0,9842
<i>CV (%)</i>		25,93	22,06	22,74	29,37	27,54	37,91
<b>Fontes x Níveis</b>							
<i>P</i>		0,1897	0,3058	0,6719	0,1288	0,4253	0,5334

CV(%): Coeficiente de variação.

Os dados de altura, largura e número de dobras no magno e útero das poedeiras leves com 23 semanas de idade não apresentaram efeito para as fontes e níveis de Zn, Cu e Mn em ambos os tecidos e nem interações em nenhum deles ( $P > 0,05$ ) (Tabela 15).

Tabela 15 – Efeito da suplementação de diferentes fontes e níveis de zinco, cobre e manganês sobre o magno e útero de poedeiras leves na 23ª semana de idade

Efeitos	Variáveis	Magno			Útero		
		Altura de dobra ( $\mu\text{m}$ )	Largura de dobra ( $\mu\text{m}$ )	Nº de dobras (área)	Altura de dobra ( $\mu\text{m}$ )	Largura de dobra ( $\mu\text{m}$ )	Nº de dobras (área)
<b>Fontes</b>	Sulfato	2724,40	858,34	2,1250	1878,00	232,10	6,83
	Quelato	2412,80	838,21	3,0417	1699,92	213,90	5,83
<i>P</i>		0,4622	0,6495	0,7267	0,6872	0,4425	0,2631
<i>CV (%)</i>		12,70	8,64	23,07	9,83	22,41	27,49
<b>Níveis Zn/Cu/Mn</b>	32/8/32	2631,57	848,22	2,50	1762,50	191,96	6,83
	64/16/64	2505,60	848,34	2,67	1815,42	254,03	5,83
<i>P</i>		0,6830	0,7665	0,2675	0,2424	0,6413	0,2631
<i>CV (%)</i>		14,02	8,74	29,66	11,07	17,32	27,49
<b>Fontes x Níveis</b>							
<i>P</i>		0,8470	0,7536	0,1827	0,2934	0,6036	0,1248

Médias de tratamentos seguidas por letras distintas (nas linhas) diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%).  
CV(%): Coeficiente de variação.

Na Tabela 16 estão apresentados à altura, largura e número de dobras do magno e útero de poedeiras leves com 54 semanas.

Houve interação ( $P=0,0511$ ) das fontes e níveis de Zn, Cu e Mn sobre a altura de dobra do magno. Não ocorreu efeito ( $P>0,05$ ) das fontes e níveis sobre a altura, largura e número de dobras no magno com 54 semanas e nem de suas interações ( $P>0,05$ ) para a largura e número de dobras. Houve efeito ( $P<,0001$ ) das fontes sobre o número de dobras útero, mas não teve influência ( $P>0,05$ ) dos níveis e nem da interação ( $P>0,05$ ) das fontes e níveis para essa variável. Também não houve efeito significativo ( $P>0,05$ ) das fontes, níveis ou suas interações sobre a altura e largura de dobra uteriníca.

Tabela 16 - Efeito da suplementação de diferentes fontes e níveis de zinco, cobre e manganês sobre o magno e útero de poedeiras leves na 54ª semana de idade

Efeitos	Variáveis	Magno			Útero		
		Altura de dobra (µm)	Largura de dobra (µm)	Nº de dobras (área)	Altura de dobra (µm)	Largura de dobra (µm)	Nº de dobras (área)
<b>Fontes</b>	Sulfato	2226,30	781,81	2,83	2295,20	237,95	6,17a
	Quelato	2111,10	595,41	3,50	1841,20	262,78	2,00b
<i>P</i>		0,5235	0,8506	0,3887	0,2440	0,6887	<,0001
<i>CV (%)</i>		16,24	25,38	36,68	16,43	13,57	25,25
<b>Níveis</b>	32/8/32	2074,80	633,33	3,50	2007,79	247,70	4,16
	Zn/Cu/Mn 64/16/64	2262,50	743,89	2,83	2128,54	253,03	4,00
<i>P</i>		0,2924	0,2224	0,8610	0,8384	0,9429	0,7096
<i>CV (%)</i>		15,82	27,93	36,68	19,95	14,52	60,07
<b>Fontes x Níveis</b>							
<i>P</i>		0,0511	0,3722	0,5820	0,6644	0,9842	0,7682

<sup>a,b</sup>: Médias de tratamentos seguidas por letras distintas (nas linhas) diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%).  
*CV*(%): Coeficiente de variação.

Houve interação entre os níveis de suplementação de Zn, Cu e Mn quando as poedeiras estavam fazendo uso da FS, assim maior altura de dobra no magno foi observada quando as aves foram alimentadas com a FS+NS, à medida que a suplementação aumentou, a altura da dobra também aumentou. Não houve diferença estatística entre as fontes e dentro dos mesmos níveis de suplementação. Na Tabela 17 estão apresentados os efeitos da interação das fontes e níveis suplementados sobre essa variável.

Tabela 17 – Efeito da interação de diferentes fontes e níveis de zinco, cobre e manganês sobre a altura de dobra do magno ( $\mu\text{m}$ ) de poedeiras leves na 54ª semana de idade

Fontes x Níveis	32/8/32	64/16/64
	Zn/Cu/Mn	Zn/Cu/Mn
Sulfato	1933B	2519A
Quelato	2216	2005

<sup>a,b</sup>Médias dos tratamentos seguidas por letras maiúsculas distintas (nas colunas) diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%).

Tais resultados podem representar uma melhora na eficiência do processo de formação do ovo (tratando-se do albúmen), reduzindo o tempo de permanência da gema e do albúmen no magno, pois o com o aumento da altura das dobras presume-se que a quantidade de células albuminas também aumentaram devido ao epitélio se tornar mais amplo. Por se tratar da região do oviduto que realiza síntese proteica, acredita-se que a presença da MHA-Ca como fonte de metionina supriu as exigências das aves ajudando a proporcionar maior produtividade na fase de postura na semana 54 como pôde ser observado na Figura 3.

Tais afirmativas valem-se de o fato desse epitélio ter características de produzir muco, que de acordo com Wyburn *et al.* (1970) a presença de glândulas tubulares no magno e suas dobras bem desenvolvidas aumentam a área de secreção de muco. A metionina é o primeiro aminoácido limitante para poedeiras, e entre as suas diversas funções pode ser eficaz na síntese de proteínas, no desenvolvimento órgão e na produção e qualidade de ovos (FIGUEIREDO JÚNIOR *et al.*, 2020).

Entre os microminerais aqui estudados não é possível afirmar qual deles tenha contribuído sobre a altura do magno, pois conforme Butzen, Root e Starcher (1985), o magno é a região do oviduto e nela tem-se a menor secreção de Zn em codornas japonesa, em contrapartida, Rezende, (2016) afirma que o Zn atua na deposição do albúmen e Mabe *et al.* (2003) tiveram aumento no peso do albúmen ao utilizar Cu.

O número de dobras no útero com 54 semanas foi maior com o uso da FS. A suplementação mineral com a FS resultou em maior altura de dobra e menor largura,

comparadas com os resultados da FQ, assim o número de dobras por área foi superior nas aves suplementadas com a FS+NR.

As características morfológicas do útero das aves que fizeram uso da FS possivelmente resultaram em maior área de superfície de contato, podendo intensificar a formação da casca e sua qualidade. Acredita-se que tais características são positivas, pois presume-se que pode ocorrer melhor preservação das estruturas responsáveis pela qualidade externa do ovo, ou seja, a casca. Segundo King e McLelland (1979), o ovo permanece por tempo variável no útero para a deposição de carbonato de cálcio e mudanças morfológicas no sistema reprodutor podem acontecer de acordo com a fase do ciclo reprodutivo (MORAIS *et al.*, 2012a), além disso, a casca do ovo torna-se mais frágil após a 40ª semana de idade da poedeira, devido ao aumento do tamanho do ovo com quantidade de cálcio semelhante, resultando na diminuição da espessura e qualidade da casca (FURTADO *et al.*, 2001).

O Zn é um cofator da anidrase carbônica, enzima essencial para a formação da casca do ovo, sua deficiência provoca redução na secreção de íon bicarbonato (LEESON e SUMMERS, 2001). O Cu atua na formação de membranas da casca de ovo e também na casca de ovo (SCHEIDELER, 2008; FAVERO *et al.*, 2013). O Mn é responsável em ativar as enzimas envolvidas na síntese de mucopolissacarídeos, proteoglicanos e glicoproteínas na glândula da casca que contribuem na formação da matriz orgânica dos ossos e da casca do ovo (GEORGIEVSKII, 1982; ZHANG *et al.*, 2018).

Mabe *et al.* (2003) avaliaram os efeitos das fontes inorgânicas e orgânicas de Zn, Cu e Mn em dietas a base de milho e farelo de soja sobre a qualidade do ovo das aves, encontraram Mn se sobressaindo na casca do ovo, e o Zn e Cu principalmente na gema. Os autores ainda relatam que o Zn e Cu conseguem alterar o mecanismo de formação da casca devido a interação com o carbonato de cálcio. O zinco é antagonista do cálcio e do cobre (SILVA e PASCOAL, 2014). Também foi constatado efeito das fontes e níveis diferentes do zinco orgânico (35,50 e 65 mg/kg) e do cobre inorgânico (3,5 e 5 mg/kg) em codornas japonesas, de acordo com Aguiar (2016), proporcionaram alturas maiores do epitélio reprodutivo.

As evidências nos resultados histológicos sugerem que as variações no epitélio do magno e do útero podem estar associadas à idade das aves, tendo em vista que durante o envelhecimento das aves a função ovariana é modificada até atingir a atrofia do oviduto, consequentemente os hormônios reprodutivos sofrem alterações até cessar a produção de ovos e também a taxa de absorção dos nutrientes é menor no trato gastrointestinal com a evolução da idade.

Na bibliografia são encontrados trabalhos que sustentam a relação do zinco, cobre e manganês com a secreção de hormônios. O zinco integra uma das proteínas que participa da transmissão e regulação da expressão da informação genética, armazenamento, síntese e ação de hormônios peptídicos (TAPIERO e TEW, 2003). O cobre participa na síntese e manutenção do nível de LH (RAJESWARI e SWAMINATHAN, 2014). O manganês tem papel na síntese dos hormônios esteroides, pois está envolvido no metabolismo do colesterol (XIE *et al.*, 2014) e sua deficiência reduz os hormônios reprodutivos em galinhas poedeiras (YANG, 2008).

Os aspectos morfológicos do magno e útero dos tratamentos avaliados apresentam dobras de tamanhos e formas similar com a de cada tecido que evaginam a luz do órgão e divergem quanto à região do oviduto, idade e estágio de maturidade sexual da ave (Figuras 4 e 5).

Através do início da maturidade sexual a mucosa expressa modificações morfológicas para estar apta a secretar o albúmen (magno) e as sucessivas camadas da casca do ovo (útero ou glândula da casca). Por meio da avaliação microscópica constatou-se diferença de altura, largura e número das dobras do magno e útero com a suplementação de diferentes fontes e níveis Zn, Cu e Mn nas diferentes idades avaliadas.

Romanoff e Romanoff (1949) descrevem o crescimento do oviduto como lento e progressivo até a 20ª semana, passando a alongar-se mais rápido por volta da 21ª semana de idade das aves. Neste estudo percebe-se que com o avanço da idade as dobras do magno chegam a quadruplicar em altura em todos os tratamentos, enquanto no útero ocorre no máximo duplicação da altura entre 17 e 23 semanas de idade das aves, em virtude disso, o número de pregas reduziu 87% para as duas fontes avaliadas. Normalmente, nessa faixa etária, ocorrem mudanças fisiológicas dinâmicas no corpo da ave para prepará-la para a produção de ovos, provavelmente a suplementação mineral contribuiu como os processos anabólicos resultando em expansão das variáveis estudadas. Na 54ª semana a altura e largura das dobras são reduzidas e o número de dobras por área praticamente não modificou, sendo menos perceptível a redução nas aves com uso da FQ+NS (T4), enquanto a FS+NR tiveram as maiores reduções (T1). Quanto aos níveis, em todas as fases, não ficou claro, mas sugerem que o aumento dos níveis de Zn, Cu e Mn podem reduzir as variações estudadas.

De acordo com Jeong *et al.* (2012), durante a formação do ovo, os tecidos do oviduto sofrem extensa proliferação da célula epitelial luminal e glandular, remodelação da matriz extracelular e neovascularização. Enquanto Renema *et al.* (2007) enfatizam as diferenças de resultados em seu estudo em virtude do nível de alimentação e peso corporal das aves entre 18 e 22 semanas, influenciando no desenvolvimento do ovário e dos números de folículos. Nesse

contexto, pode-se reafirmar que as modificações descritas no magno estão dentro do que se preconiza a literatura e pode ter ocorrido influência da dieta testada.

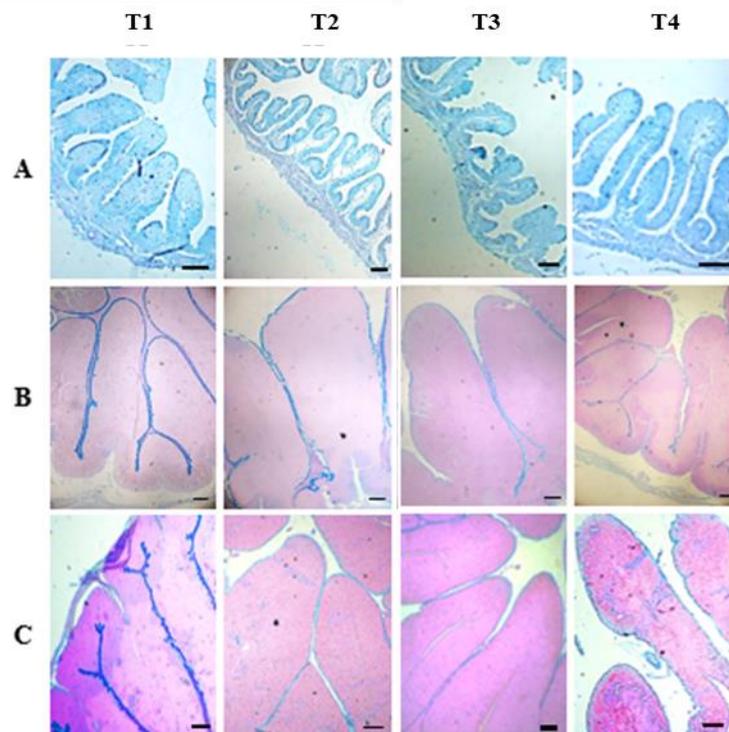


Figura 4 – Fotomicrografias do magno de poedeiras leves em diferentes fases: A- aves com 17 semanas de idade, B- aves com 23 semanas de idade, C – aves com 54 semana de idade suplementadas com diferentes fontes e níveis de Zn, Cu e Mn. Coloração: Alcian Blue+PAS. 20x. Barras: A-B-C) 200  $\mu$ m. Seccionadas transversalmente.

O magno é um componente longo do oviduto, com presença de glândulas tubulares e dobras bem desenvolvidas que permitem aumento da área secretora da mucosa em três vezes (WYBURN *et al.*, 1970); nessa região há mais muco que em outras partes do oviduto (SISSON e GROSSMAN, 1986). Por outro lado, as dobras do útero são bastante intersectadas por muitos sulcos transversos e oblíquos, estando assim subdivididas em numerosas lamelas altas e semelhantes a folhas (SISSON e GROSSMAN, 1986). O uso de fontes e níveis Zn, Cu e Mn na presente pesquisa não alterou de forma negativa a morfofisiologia de poedeiras leves durante o desenvolvimento do sistema reprodutor nas fases de pré-postura (17 semanas), pré-pico (23 semanas) e postura (54 semanas).

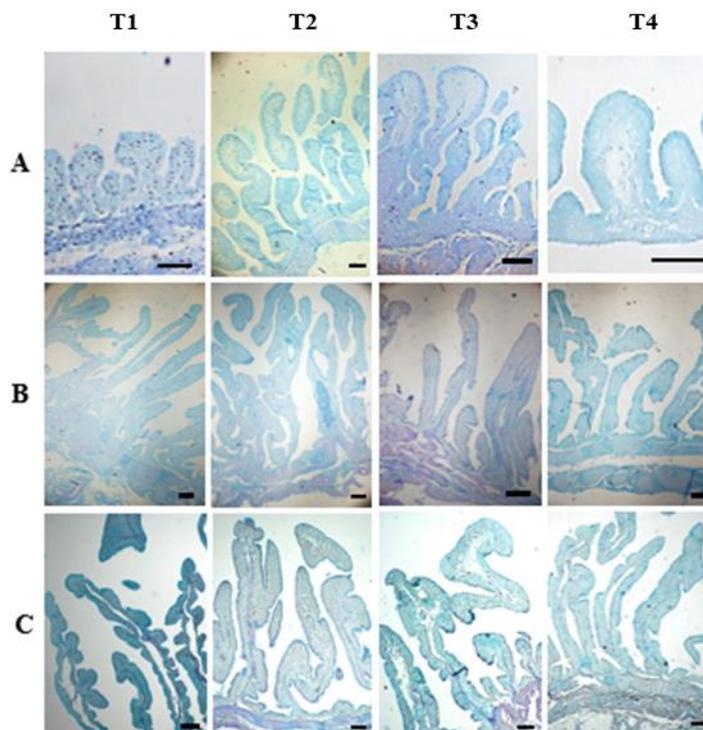


Figura 5 – Fotomicrografias do útero de poedeiras leves em diferentes fases: A- aves com 17 semanas de idade, B- aves com 23 semanas de idade, C – aves com 54 semanas de idade suplementadas com diferentes fontes e níveis de Zn, Cu e Mn. Coloração: Alcian Blue+PAS. 20x. Barras: A-B-C) 200  $\mu$ m. Seccionadas transversalmente.

O útero apresentou crescimento contínuo de uma fase para a outra, sendo que a FS promoveu maiores altura e largura de dobras na 17<sup>a</sup> e 23<sup>a</sup> semana de idade das aves, enquanto a FQ teve maiores médias de largura na 54<sup>a</sup> semana. Quanto aos níveis, na 17<sup>a</sup> semana o NR se sobressai ao NS, mas nas semanas 23 e 54, as aves suplementadas com o NS tiveram altura e largura de dobras maiores que o NR.

Schraer e Schraer (1965) relatam que o Zn foi encontrado em todos os segmentos do oviduto e não apenas no istmo e no útero, com níveis semelhantes em todos os tecidos; a concentração do Cu foi mais alta no istmo e tende a se manter elevado nesse tecido independentemente da localização do ovo em formação; o Mn é encontrado em todos os segmento do oviduto e sofre alterações de valores do momento da liberação do óvulo até a chegada no útero da ave, sugerindo que o magno é o responsável por fazer o transporte desse metal para o ovo, pois ocorre queda significativa na concentração do manganês depois de entrar na glândula da casca.

Para Ball *et al.* (1999), a alta concentração de Cu no istmo pode indicar maior concentração de metalotioneínas dependentes de cobre, como a cuproenzima e a cuproproteína.

As metalotioneínas são o principal estoque intracelular de íons de cobre e zinco (CRUZ e SOARES, 2011).

Pereira *et al.* (2020) suplementaram poedeiras com fontes inorgânica e orgânica de Zn, Mn e Cu desde o primeiro dia de vida e concluíram que a fonte orgânica promoveu intestinos mais longos e maior secreção hormonal, com consequente maior desenvolvimento do oviduto na fase de pico de produção.

Aguiar (2016) avaliou o efeito da fonte orgânica de zinco e inorgânica de cobre em codornas japonesas com 180 dias e concluiu que esses microminerais influenciaram indiretamente o aumento da síntese celular, refletindo no aumento da altura do epitélio do magno e aumento da produção de mucina.

O aspecto microscópico da morfologia do magno e útero em poedeiras leves demonstra quão diferenciadas são as respostas fisiológicas das aves a partir da sua alimentação com rações incluindo diferentes fontes e níveis de microminerais, sendo necessário maior número de pesquisas e publicações referentes ao uso deste nutriente para maiores esclarecimentos e melhorar a produção e o bem-estar animal.

## CONCLUSÃO

A utilização da fonte sulfato com os níveis recomendados de zinco, cobre e manganês (32/8/32ppm) proporcionou os melhores resultados de desempenho inicial, idade ao primeiro ovo e efeitos benéficos no sistema reprodutor de aves de poedeiras leves.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, L.L. **Zinco orgânico e cobre sobre parâmetros histomorfométricos e contagem diferencial de leucócitos de codornas japonesas**, Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, 70f., 2016.
- ALBINO et al., **Galinhas poedeiras: criação e alimentação**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2014, 376p. as Affected by Genotype, Feed Allocation, and Age at Photostimulation. 3. Reproductive Efficiency.
- BAHR, J.M.; JOHNSON, P.A. 1991. Reproduction in poultry. In: Cupps PT (Ed.). **Reproduction in domestic animals**. 3rd ed. New York: Academic Press, p.555- 575, 1991.
- BALL, G.F. et al. Steroid sensitive sites in the avian brain: does the distribution of the estrogen receptor  $\alpha$  and  $\beta$  types provide insight into their function?. **Brain, behavior and evolution**, v.54, n.1, p.28-40, 1999.
- BARBOSA, V.M. et al. Efeitos do horário de postura de matrizes pesadas sobre o rendimento de incubação. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.65, n.4, Belo Horizonte, Aug. 2013.
- BARNEA, A.; CHO, G. Copper amplification of prostaglandin E2 stimulation of the release of luteinizing hormone is a post receptor event. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, v.84, n.2, p.580-584, 1987.
- BOUVAREL, I. et al. Hen nutrition for sustained egg quality, In: Nys, Y., Bain, M. e Vanimmerseel, F. (Eds) **Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products**, Vol 1: Egg Chemistry, Production and Consumption, p.261–290, (Cambridge, Woodhead Publishing Ltd.), 2011.
- BRUMANO, G. Níveis de metionina + cistina digestíveis em rações para poedeiras leves, nos períodos de 24 a 40 e de 42 a 58 semanas de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.9, p.1984-1992, 2010.
- BUTZEN, P., ROOT, E.; STARCHER, B. Zinc Secretion in the Oviduct of the Coturnix Quail. **Biol Trace Elem Res**, v.8, p.283-300, 1985.
- CRUZ, J.B.F; SOARES, H.F. Uma revisão sobre zinco, **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v.15, n.1, p.207-222, 2011.
- D' AGOSTINI, P. et al. Exigência de metionina+cistina para frangas de reposição na fase inicial (1 a 6 semanas de idade). **Ciência Animal Brasileira**, v.18, 2017.
- DIBNER, J.J.; KNIGHT, C.D. Conversion of 2-Hydroxy-4- (Methylthio) butanic Acid to L-Methionine in the Chick: A Stereospecific Pathway, **The Journal of Nutrition**, v.114, n.9, p.1716–1723, setembro de 1984.
- FAVERO, A. et al. Reproductive performance of Cobb 500 breeder hens fed diets supplemented with zinc, manganese, and copper from inorganic and amino acid complexed sources. **Journal App. Poultry Res.**, v.22, p.80-91, 2013.
- FIGUEIREDO JUNIOR, J. P. et al. Níveis de metionina digestível para frangas da camada de clara de ovo de 7 a 12 semanas de idade. **Acta Sci. Anim. Sci.**, Maringá, v. 42, e47222, 2020. Disponível em [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1807-86722020000100204&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1807-86722020000100204&lng=en&nrm=iso) Acesso em: 22 de fevereiro de 2021.
- FREITAS, E.B. et al. Estudo anatomo-fisiológico do sistema reprodutivo feminino das aves na formação dos ovos - Revisão de literatura. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, n.17, ano IX, p.1-12, 2011.
- FURTADO, I. M. et al. Correlação entre medidas da qualidade da casca e perda de ovos no segundo ciclo de produção. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v.25, n.3, p.654-660, maio/jun., 2001.
- GEORGIEVSKII, V. I. **Mineral nutrition of animals**. London: Butterworths, 1982.
- HARMS, R.H. **Proteína (aminoácidos) para poedeiras**. In: Simpósio Internacional sobre Nutrição de Aves. Campinas, São Paulo, Brasil, p.111-122, 1999.
- HARTMAN, S.J. **Implications of trace mineral supplementation strategies to overcome the effects of high antagonist diets in feedlot cattle**. (2017). Graduate Theses and Dissertations. Disponível em: <https://lib.dr.iastate.edu/etd/15316> Acesso em: 19 jan. 2021.
- HENKIN, R.I. **Trace Metals in Endocrinology**. The Medical Clinics of North America, v.60, n.4, p.779-797, 1976.
- HY-LINE INTERNACIONAL. **Guia de Manejo –Poedeiras Comerciais w-80**. Hy-line. 2016. 36p.

- JEONG, W. et al. Cell-specific and temporal aspects of gene expression in the chicken oviduct at different stages of the laying cycle. **Biology of Reproduction**, v.86, p.172, 2012.
- JOSEPH, N.S. The effects of age at photostimulation and dietary protein intake on reproductive efficiency in three strains of broiler breeder varying in breast yield. **Poultry Science**, v.81, n.5, p.597–607, 2002.
- JUNQUEIRA, L.C.U.; JUNQUEIRA, L.M.M.S. **Técnicas básicas de citologia e histologia**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1983. 123p.
- KHATUMKHATUN, A. et al. Comparative effects of inorganic and three forms of organic trace minerals on growth performance, carcass traits, immunity, and profitability of broilers. **Journal of Advanced Veterinary and Animal Research**, v.6, n.1, p. 66-73, 2019.
- KLEYN, R. **Chicken Nutrition – a guide for nutritionists and poultry professionals**. England:Context, 2013.
- LABELLA, F. et al. Pituitary hormone releasing or inhibiting activity of metal ions present in hypothalamic extracts. **Bioch. Biophys. Res. Comm.** v.52, n.3, p.786-791, 1973.
- LEESON, S.; SUMMERS, J. D. **Nutrition of the chicken**. 4 ed. Guelph, Ontario: University Books, 2001.
- LI, L.L. et al. Effects of dietary Mn-methionine supplementation on the egg quality of laying hens. **Poultry Science**, v.97, n.1, p.247-254, Jan 2018.
- MABE, I.C. et al. Supplementation of a corn-soybean meal diet with manganese, copper, and zinc from organic or inorganic sources improves eggshell quality in aged laying hens. **Poultry Science** [Internet], v.82, n.12, p.1903-1913, 2003.
- MAIORKA, A. et al. Influência da suplementação de glutamina sobre o desempenho e o desenvolvimento de vilos e criptas do intestino delgado de frangos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.52, n.5, p.487-490, 2000.
- McDOWELL, L.R., 1992. **Minerals in animal and human nutrition**. 2.ed. Netherlands: Elsevier Science, 2003, 644p. AcademicPress, INC San Diego, USA.
- MIN, Y. N. et al. Effects of methionine hydroxyl analog chelated zinc on laying performance, eggshell quality, eggshell mineral deposition, and activities of Zn-containing enzymes in aged laying hens, **Poultry Science**, v.97, n.10, p.3587-3593, 2018.
- MORAIS, M.R.P.T. et al. Morfofisiologia da reprodução das aves: desenvolvimento embrionário, anatomia e histologia do sistema reprodutor. **Acta Veterinária Brasilica**, Mossoró, v.6, n.3, p.165-176, 2012a.
- MORAIS, M.R.P.T. Morfofisiologia da reprodução das aves: controle endócrino do ciclo sexual das aves. **Acta Veterinária Brasilica**, Mossoró, v.6, n.4, p.285-293, 2012b.
- NELSON, D.L.; COX, M.M. (2014). **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 6ª edição. Porto Alegre: Artmed.
- NYS, Y.; GUYOT, N. Egg formation and chemistry, In: Nys, Y., Bain, M. e Van Immerseel, F. (Eds) **Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products**. Vol. 1: Egg Chemistry, Production and Consumption, p.83–126 (Cambridge, Woodhead Publishing Ltd.), 2011.
- O'HALLORAN, T.V. et al. Zinc, insulin, and the liver: a ménage à trois. **The Journal of clinical investigation**, v.123, n.10, p.4136-4139, 2013.
- PAGE, M.E. **Body Chemistry in Health and Disease**. Nut. Dev. St. Petersburg Beach, Fl. 1949.
- PEREIRA, C.G. et al. Zinc, manganese and copper amino acid complexed in laying hens' diets affect performance, blood parameters and reproductive organs development, **Plos one**, v.15, n.11, p.1-16e0239229, 2020.
- PINE, M. et al. Manganese acts centrally to stimulate Luteinizing Hormone secretion: a potential influence on female pubertal development. **Toxicological Sciences**, v.85, n.2, p.880-885, 2005.
- PRASAD, C.S. et al. Trace elements and ovarian hormonal levels during different reproductive conditions in crossbred cattle. **Indian Journal of Dairy Science**. v.42, n.3 p.489-492, 1989.
- RAJESWARI, S.; SWAMINATHAN, S. **Role of copper in health and diseases**, **Int. J. Curr. Sci.**, v.10, p.94-107, 2014.
- RENEMA, R.A. et al. Reproductive efficiency and metabolism of female broiler breeders as affected by genotype, feed allocation, and age at photostimulation. 2. Sexual Maturation, **Poultry Science**, v. 86, n.10, p.2267–2277, October 2007.

- REZENDE, J.C.R. **Zinco na nutrição e saúde de frangos de corte**. 2016. 91f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Zootecnia, Botucatu, 2016.
- RICHARDS, J.D. et al. Trace mineral nutrition in poultry and swine. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.23, n.11, p.1527-1534, 2010.
- RIJSSELAERE, T.; BRUNEEL, B. Minerales traza en la nutrición de gallinas reproductoras y depostura: uma actualización, **LPN Congress**, Octubre, 2018, Miame.
- ROMANOFF, A.L; ROMANOFF, A.J. **The avian egg**. New York: J. Wiley, 1949. 918p.
- ROSTAGNO, H.S. et al. Tabelas brasileiras para aves e suínos. **Composição de alimentos e exigências nutricionais**, 4. Ed., p. 488, 2017.
- RUTZ, F. et al. Efeito de minerais orgânicos sobre o metabolismo e desempenho de aves. **Revista Ave world**, 2007.
- RUTZ, F.; MURPHY, R. Minerais orgânicos para aves e suínos. In: Congresso Internacional sobre uso da levedura na alimentação animal, 1., 2009, Campinas. **Anais...** Campinas: CBNA, 2009, p.21-36.
- SALDANHA, E.S.P.B. Efeitos de minerais orgânicos no desempenho, qualidade de ovos e qualidade óssea de poedeiras semi-pesadas no segundo ciclo de produção. 2008. 90 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.
- SANTOS, B.M. **Suplementação com minerais quelatados ou inorgânicos para poedeiras comerciais**. (Tese – Doutorado), Universidade Federal de Goiás, Escola de Veterinária e Zootecnia, 2014, 84p.
- SAVEGNAGO, R.P. et al. Estimates of genetic parameters, and cluster and principal components analyses of breeding values related to egg production traits in a White Leghorn population. **Poultry Science**, v.90, n.10, p.2174– 2188, 2011.
- SCHEIDELER, S.E. **Trace minerals balance in poultry**. Proceedings of the Midwest Poultry Federation Convention; 2008; Minnesota. USA. Lincoln: University of Nebraska, Department of Animal Science; 2008.
- SCHRAER, R.; SCHRAER, H. Changes in metal distribution of the avian oviduct during the ovulation cycle. **Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine**, v.119, n.4, p 937-942, 1965.
- SILVA, J.H.V; PASCOAL, L.A.F. Função e disponibilidade dos minerais.p.129-141, 2014. In: **Nutrição de não ruminantes**, Sakomura et al., Jaboticabal:Funep, 2014, 678p.
- SISSON, S.; GROSSMAN, J.D. **Anatomia dos animais domésticos**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1986. 2v.
- Sistema de Análise Estatística [SAS]. (2011). Guia do usuário SAS / STAT, versão 9.4. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- STEVENSON, M.J. et al. Metal-dependent hormone function: the emerging interdisciplinary field of metalloendocrinology. **Metallomics**, v.11, n.1, p.85-110, 2019.
- SWIATKIEWICZ, S.; KORELESKI, J. The effect of zinc and manganese source in the diet for laying hens on eggshell and bones quality. **Veterinarni Medicina**, v.53, n.10, p.555-563, 2008.
- TAPIERO, H.; TEW, K.D. Trace elements in human physiology and pathology: zinc and metallothioneins. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v.57, n.9, p.399-411, 2003.
- UNDERWOOD, E. J. **The mineral nutrition of livestock**. Cabi, 1999.
- WANG, H. et al. Copper and lysine amino acid density responses in commercial broilers. **Journal App. Poultry Res.**, p.959, 2014.
- WATTS, D.L.; PHD, D.C. Mineral relationships – vitamins – endocrines and health. **Journal of Orthomolecular Medicine**, v.5, n.1, 1990.
- WYBURN, G.M. et al. The magnum of the hen's oviduct as a protein secreting organ. **Journal of Anatomy, Cambridge**, v.106, n. Pt1, p.174-174, 1970.
- XIE, J.J. et al. **Effects of inorganic and organic manganese supplementation on gonadotropin-releasing hormone-I and folliclestimulating hormone expression and reproductive performance of broiler breeder hens**, **Poult. Sci.**, v.93, n.4, p.959-969, 2014.
- YANG, Y. **Adjustment of nutrition on the reproduction of poultry**, **J. Shanxi Agric. Univ.**, v.39, p.239-242, 2008.

- YANG, Z. et al. Effects of dietary copper on growth performance, slaughter performance and nutrient content of fecal in growing goslings from 28 to 70 days of age, **Revista Brasileira de Ciência. Avícola**, v.20, n.1, Jan./Mar. 2018.
- ZHANG, S.; WONG, E.A.; GILBERT, E.R. Bioavailability of different dietary supplemental methionine sources in animals. **Frontiers in Bioscience Elite**, v.7, p.478–490, 2015.
- ZHANG, Y.N. et al. Dietary manganese supplementation affects mammillary knobs of eggshell ultrastructure in laying hens, **Poultry Science**, v.97, n.4, p.1253-1262, 1 Apr. 2018.
- ZHOU, W. et al. Stimulation of growth by interavenous injection of copper in weanling pigs. **J. Anim. Sci.** v.72, n.9, p.2395-2403, 1994.
- ZUIDHOF, M.J.; RENEMA, R.A.; ROBINSON, F.E. Reproductive efficiency and metabolism of female broiler breeders as affected by genotype, feed allocation, and age at photostimulation. 3 – Reproductive efficiency. **Poultry Science**, v.86, p.2278–2286, 2007.

**CAPÍTULO 3****Diferentes fontes e níveis de zinco, cobre e manganês em dietas de poedeiras  
leves**

## Diferentes fontes e níveis de zinco, cobre e manganês em dietas de poedeiras leves

### RESUMO

Objetivou-se avaliar a suplementação de zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn) usando diferentes fontes e níveis na dieta de poedeiras leves (Hy-Line W-80). Um total de 364 aves foram distribuídas a partir de um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 2, sendo o primeiro fator as fontes (sulfato vs mineral metionina hidroxí-análoga) e o segundo fator os níveis de suplementação de Zn, Cu e Mn (nível recomendado (32/8/32) vs nível superior a recomendação (64/16/64)), totalizando quatro tratamentos com sete repetições. As aves foram alimentadas com a dieta testada a partir do primeiro dia de vida até a 54ª semana de idade, totalizando 378 dias de período experimental. As variáveis analisadas foram desempenho das aves, qualidade dos ovos, morfometria intestinal, parâmetro de tíbia e quantificação dos minerais. Os dados foram analisados estatisticamente por ANOVA e comparação das médias pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). Observa-se a ocorrência de interação da fonte e os níveis de Zn, Cu e Mn para: conversão por dúzia de ovos (CDZ, g/dz); largura de vilo duodenal, profundidade de cripta duodenal; quantidade de fósforo e cobre na casca do ovo. Houve diferença significativa entre as fontes para sobre o desempenho das aves (CR, PR, CMO E CDZ), na qualidade da casca, na morfologia do íleo e na quantidade de fósforo presente na casca do ovo. Quanto aos níveis de suplementação as variáveis influenciadas foram: a concentração de fósforo na casca do ovo e a quantidade de Zn, Cu e Mn nas excretas. Não ocorreu interação ou efeito isolado da fonte e níveis para as variáveis de desempenho (PO e MO), da qualidade de ovos, exceto o peso da casca, morfometria intestinal do jejuno, parâmetros de tíbias e quantidade de minerais presente na gema e no fígado. As aves que utilizaram a fonte sulfato tiveram melhores CR, PR, maior profundidade de cripta duodenal, mais deposição de fósforo na casca do ovo e menor excreção de Zn, Cu e Mn. A fonte quelatada aumentou a CMO, CDZ, o peso da casca, a altura de vilo do íleo e reduziu a quantidade de fósforo na casca do ovo. Os níveis superiores as recomendações resultaram em menor quantidade de fósforo na casca e maior quantidade de Zn, Cu e Mn nas excretas. Analisado todos os efeitos da suplementação do Zn, Cu e Mn com diferentes fontes e níveis, recomenda-se a suplementação das aves com a fonte sulfato com níveis recomendados de microminerais (32/8/32) para poedeiras leves de um dia a 54 semanas de idade.

**Palavras-chave:** Desempenho. Excretas. Qualidade de ovo. Morfometria intestinal. Tibia.

## Different sources and levels of zinc, copper and manganese in light laying diets

### ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the supplementation of zinc (Zn), copper (Cu) and manganese (Mn) using different sources and levels in the diet of light laying hens (Hy-Line W-80). 364 birds were distributed from a completely randomized design, in a 2 x 2 factorial scheme, the first factor being the sources (sulfate *vs* mineral hydroxy-analogue methionine) and the second factor the levels of supplementation of Zn, Cu and Mn (recommended level (32/8/32) *vs* level higher than the recommendation (64/16/64)), totaling four treatments with seven repetitions. The birds were fed the tested diet from the first day of life until the 54th week of age, totaling 378 days of experimental period. The variables analyzed were bird performance, egg quality, intestinal morphometry, tibia parameter and quantification of minerals. The data were analyzed statistically by ANOVA and comparison of the means by the Tukey test ( $P < 0.05$ ). It is observed the occurrence of source interaction and the levels of Zn, Cu and Mn for: feed conversion ratio (kg feed/dozen eggs); duodenal villus width, duodenal crypt depth; amount of phosphorus and copper in the egg shell. There was a significant difference between the sources for the performance of the birds (FI, EP, FCEM and FCR), in the quality of the shell, in the morphology of the ileum and in the amount of phosphorus present in the egg shell. Regarding supplementation levels, the variables influenced were: the concentration of phosphorus in the eggshell and the amount of Zn, Cu and Mn in the excreta. There was no interaction or isolated effect of the source and levels for the performance variables (EW and EM), egg quality, except the shell weight, intestinal morphometry of the jejunum, tibial parameters and quantity of minerals present in the yolk and liver. The birds that used the sulfate source had better FI, EP, greater depth of duodenal crypt, more deposition of phosphorus in the egg shell and less excretion of Zn, Cu and Mn. The chelated source increased the FCEW, FCR, the weight of the shell, the height of the ileum and reduced the amount of phosphorus in the egg shell. Levels higher than the recommendation resulted in less phosphorus in the shell and higher amounts of Zn, Cu and Mn in the excreta. Having analyzed all the effects of supplementing Zn, Cu and Mn with different sources and levels, it is recommended to supplement the birds with the sulfate source with recommended levels of micro minerals (32/8/32) for light laying from one day to 54 weeks.

**Keywords:** Performance. Excreta. Egg quality. Intestinal morphometry. Tibia.

## INTRODUÇÃO

Os minerais são naturalmente insuficientes quanto a sua disponibilidade através dos ingredientes utilizados nas dietas da avicultura de postura, o milho e o farelo de soja, o que redobra a necessidade de atenção na dieta disponibilizada às aves. Considerando-se que os minerais são nutrientes que participam de diversos processos bioquímicos corporais, sua deficiência pode gerar problemas de ordem metabólica e fisiológica e impactar negativamente o crescimento e produção das aves. Portanto, faz-se necessário o uso de fontes minerais que possam suprir a exigência nutricional dos animais durante toda sua vida.

Além de uma fonte de suplementação mineral disponível, é prudente saber qual(is) mineral(is) é(são) necessário(s) para que o animal expresse seu potencial genético. Neste sentido, os minerais são classificados em macro e microminerais em função da quantidade diária necessária ao animal, mas independente da sua classificação, todos atuam de modo essencial ao ótimo funcionamento do organismo da ave. A digestão dos minerais traz implicações em relação à forma de absorção e excreção desses nutrientes, especialmente quando se refere aos microminerais, que a depender do tipo de fonte mineral utilizada e do nível correto de suplementação podem proporcionar melhores resultados de desempenho. Assim, os minerais quelatados surgem como opção viável e funcional em substituição aos minerais inorgânicos. Apesar da necessidade de mais estudos sobre os minerais quelatados, já é possível afirmar que sua eficácia e biodisponibilidade podem sofrer variações dependendo do quelante utilizado ao mineral, da força de ligação e da relação ligante-mineral (KHATUN *et al.*, 2019).

A produção de ovos já solucionou problemas de nutrição, genética, bem-estar e instalações, mas até os dias atuais tem como um de seus maiores gargalos os defeitos e qualidade de casca. Estes geram perdas econômicas significativas para os produtores, que acreditavam no cálcio como solução viável e introduziram calcário em quantidades maiores na tentativa de sanar o problema. A qualidade do ovo, incluindo sua cor, tamanho e resistência da casca, tornou-se critério de compra pelos consumidores.

Para atender às necessidades da indústria avícola, de produtores e consumidores, inúmeros estudos avaliam diferentes tipos de minerais e os melhores níveis de inclusão na dieta para reduzir as inter-relações antagônicas com os demais nutrientes das rações. Desta forma, pretende-se melhorar a qualidade da casca de ovo através de fatores nutricionais, principalmente quanto aos microminerais, pois estes fazem parte de mecanismos ou estruturas durante a formação do ovo.

Portanto, objetivou-se foi avaliar os efeitos de diferentes níveis de Zn, Cu e Mn suplementados na forma inorgânica e quelatada em poedeiras leves de um dia de vida até a 54ª semana de idade.

## MATERIAL E MÉTODOS

O protocolo experimental foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal da Paraíba, Brasil, certidão de aprovação n°95620909-19.

### **Desenho experimental e instalações**

O experimento foi realizado no setor de avicultura do Departamento de Zootecnia, no Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba, Campus II, localizado no município de Areia, Paraíba, Brasil. As condições ambientais de temperatura e umidade relativa do ar foram registradas diariamente durante todo experimento (fev./2017 a mar./2018), com médias de 23,8°C e 82% UR.

Foram utilizadas 364 aves da linhagem Hy-Line W-80, a partir de um dia de idade e selecionadas de acordo com o peso médio (45g), mantendo-as na mesma unidade experimental até a 54ª semana de idade, resultando em 378 dias de experimento. A dieta experimental foi fornecida a partir do primeiro dia de vida e quando as aves atingiram a 30ª semana de idade foram avaliados desempenho e qualidade de ovo por 168 dias. Nessa idade, a produtividade média das aves era de 92%.

As aves foram divididas em quatro tratamentos e distribuídas em delineamento inteiramente casualizado com sete repetições, de acordo com um esquema fatorial 2x2 para comparar diferentes fontes (sulfato e mineral-metionina hidroxí-análoga), com diferentes níveis de inclusão de zinco, cobre e manganês na suplementação mineral das aves. Ao fim de cada mudança de dieta, um animal por parcela era abatido para a coleta da tíbia. Como fonte inorgânica foi utilizado o sulfato de zinco (35% Zn), o sulfato de cobre (34,5% Cu) e o sulfato de manganês (26% Mn). A fonte orgânica utilizada foi o zinco quelatado a metionina hidroxí-análoga (16% Zn), cobre quelatado a metionina hidroxí-análoga (16% Cu) e manganês quelatado a metionina hidroxí-análoga (13% Mn).

Os níveis estabelecidos foram determinados a partir do nível mínimo da exigência nutricional das aves com o uso da fonte inorgânica conforme as recomendações do manual da linhagem (HY-LINE-2016), assim a quantidade de zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn)

suplementados foram de 32/08/32 ppm/kg de ração, respectivamente, sendo o nível recomendado (NR) e 64/16/64 ppm/kg sendo o nível superior ao recomendado (NS).

Logo os tratamentos ficaram constituídos como, o Tratamento 01 = Fonte sulfato + nível recomendado (FS+NR); Tratamento 02 = Fonte sulfato + nível superior ao recomendado (FS+NS); Tratamento 03 = Fonte quelatada + nível recomendado (FQ + NS); Tratamento 04 = Fonte quelatada + nível superior ao recomendado (FQ + NS) de Zn, Cu e Mn, nomenclaturas utilizadas no decorrer do texto.

Nesta pesquisa foi utilizado um galpão de cria e recria, e um galpão de postura. No primeiro galpão, as aves ficaram alojadas de um dia de idade até o fim da 11<sup>a</sup> semana de vida. As aves foram então transferidas para o galpão de postura e ali permaneceram da 12<sup>a</sup> até a 54<sup>a</sup> semana de idade. O galpão era equipado com cortinas para evitar a interferência de qualquer tipo de iluminação que não fosse a proposta pela pesquisa.

Galpão de cria e recria tinha estrutura experimental de alvenaria com telhas de barro, equipado com gaiolas de metal com dimensões de 31x57x77cm (profundidade x comprimento x largura), revestidas por material plástico e piso de plástico telado. Cada gaiola alojou inicialmente 13 aves, todas eram providas de bebedouros e comedouros infantis que foram substituídos por comedouros tipo calha de PVC (policloreto de polivinila) e bebedouros tipo nipple antes da debicagem (aos 10 dias de idade) para que as pintinhas já estivessem adaptadas. As aves receberam água e ração à vontade. O aquecimento se deu por lâmpadas incandescentes até o 15<sup>o</sup> dia de idade.

Galpão de postura: galpão convencional de postura, coberto com telhas de barro, com comedouros tipo calha e bebedouros tipo nipple; as aves foram agrupadas em gaiolas de arame galvanizado com dimensões de 24x37x41cm (profundidade x comprimento x largura), recebendo água e ração à vontade.

O programa de luz seguiu estritamente as recomendações do manual de criação Hy-Line W-80 (2016), assegurando-se ausência do efeito do fotoperíodo sobre a maturidade sexual das aves. Na fase de adaptação utilizou-se inicialmente 20 horas de luz, decrescendo até 12 horas de luz (natural + artificial). A fase de pré-postura (13 a 17 semanas de idade) iniciou com 12 horas de luz e finalizou com 13 horas de luz (natural + artificial); na fase de postura ocorreram aumentos gradativos de 15 minutos por semana até atingir as 16 horas de luz. O fornecimento de luz artificial foi feito por lâmpadas fluorescentes de forma contínua. Durante todo o período experimental as aves tiveram o mesmo manejo.

### **Dietas**

As rações foram preparadas com milho e farelo de soja, e seguiram as recomendações nutricionais do Manual da linhagem Hy-Line W-80 (2016) para todas as idades (Tabelas 1, 2 e 3). A quantidade de cálcio e metionina presentes no milho, farelo de soja e na fonte quelatada foram consideradas durante a formulação e descontadas ao calcular-se a necessidade da fonte de metionina (MHA-Ca).

Tabela 1 - Composição percentual e valores nutricionais calculados das rações experimentais para poedeiras leves na fase de postura (30-37 semanas)

Ingredientes	Tratamentos			
	T1	T2	T3	T4
Milho, 7,88%	63,27	63,27	63,27	63,27
Farelo de soja, 45,22%	22,22	22,22	22,22	22,22
Óleo de soja	2,14	2,14	2,14	2,14
Fosfato bicálcico, 18%	1,59	1,59	1,59	1,59
Sal comum	0,39	0,39	0,39	0,39
L-Lisina HCl	0,23	0,23	0,23	0,23
Cloreto de colina, 60%	0,07	0,07	0,07	0,07
Premix Vit + Se <sup>1</sup>	0,10	0,10	0,10	0,10
Iodato de K	0,00	0,00	0,00	0,00
Sulfato de Fe, 20%	0,01	0,01	0,01	0,01
Antioxidante <sup>2</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01
Fitase <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01
Calcário calcítico grosso	4,58	4,58	4,58	4,59
Calcário calcítico fino	4,58	4,58	4,58	4,59
MHA-Ca <sup>4</sup>	0,40	0,40	0,35	0,31
Sulfato de Zn, 35%	0,01	0,02	-	-
Sulfato de Cu, 34,5%	0,00	0,00	-	-
Sulfato de Mn, 26%	0,01	0,02	-	-
Zn- Met, 16% <sup>5</sup>	-	-	0,02	0,04
Cu- Met, 15% <sup>6</sup>	-	-	0,01	0,01
Mn- Met, 13% <sup>7</sup>	-	-	0,02	0,05
Inerte <sup>8</sup>	0,20	0,18	0,21	0,19
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>Composição química</b>				
EM, kcal/kg	2860	2860	2860	2860
PB, %	15,50	15,50	15,50	15,50
Met dig, %	0,41	0,41	0,41	0,41
Met + Cis dig, %	0,77	0,77	0,77	0,77
Lis dig, %	0,82	0,82	0,82	0,82
Cálcio, %	4,08	4,08	4,08	4,08
Fósforo disp., %	0,50	0,50	0,50	0,50
Sódio, %	0,17	0,17	0,17	0,17
Cloro, %	0,27	0,27	0,27	0,27
Potássio, %	0,59	0,59	0,59	0,59
Zinco, % <sup>9</sup>	57	89	57	89
Cobre% <sup>9</sup>	13	21	13	21
Manganês, % <sup>9</sup>	47	79	47	79

<sup>1</sup>Pré-mistura por quilo de ração - Ácido Fólico: 30g; Ácido Pantotênico: 4,8g; Biotina: 60 g; Niacina: 15 g; Selenito de sódio: 40g; Vitamina A: 7.000.000 UI; Vitamina B1: 30g; Vitamina B12: 0.00001g; Vitamina B2: 4,5g; Vitamina B6: 30g; Vitamina D3: 3.000.000 UI; Vitamina E: 15.000 UI; Vitamina K: 90g; B.H.T: 2g.

<sup>2</sup>Etoxiquin.

<sup>3</sup>Sunphase 5000 FYT. Fitase derivada da bactéria *Escherichia coli*.

<sup>4</sup>MHA-Ca (metionina hidróxi-análoga sal de cálcio): matéria seca 99%, atividade de metionina 84%, valor proteico 49,3%, cálcio orgânico 12%, EM 4.041kcal/kg.

<sup>5</sup>Zn-Met: atividade de metionina 80%, valor proteico 47%, EM 3.823 kcal/kg.

<sup>6</sup>Cu-Met: atividade de metionina 78%, valor proteico 45,8%, EM 3.727 kcal/kg.

<sup>7</sup>Mn-Met: atividade de metionina 76%; valor proteico 44,7%, EM 3.632 kcal/kg.

<sup>8</sup>Areia lavada.

<sup>9</sup>Zinco, Cobre e Manganês: valores referentes aos níveis testados e suas respectivas quantidades presente no milho e farelo de soja.

Tabela 2 - Composição percentual e valores nutricionais calculados das rações experimentais para poedeiras leves na fase de postura (38-48 semanas)

Ingredientes (%)	Tratamentos			
	T1	T2	T3	T4
Milho, 7,88%	67,18	67,18	67,18	67,18
Farelo de soja, 45,22%	19,30	19,30	19,30	19,30
Óleo de soja	1,57	1,57	1,57	1,57
Fosfato bicálcico, 18%	1,33	1,33	1,33	1,33
Sal comum	0,33	0,33	0,33	0,33
L-Lisina HCl	0,14	0,14	0,14	0,14
Cloreto de colina, 60%	0,07	0,07	0,07	0,07
Premix Vit + Se <sup>1</sup>	0,10	0,10	0,10	0,10
Iodato de K	0,00	0,00	0,00	0,00
Sulfato de Fe, 20%	0,01	0,01	0,01	0,01
Antioxidante <sup>2</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01
Fitase <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01
Calcário calcítico grosso	5,18	5,18	5,18	5,18
Calcário calcítico fino	4,24	4,24	4,26	4,27
MHA-Ca <sup>4</sup>	0,26	0,26	0,21	0,17
Sulfato de Zn, 35%	0,01	0,02	-	-
Sulfato de Cu, 34,5%	0,00	0,00	-	-
Sulfato de Mn, 26%	0,01	0,02	-	-
Zn- Met, 16% <sup>5</sup>	-	-	0,02	0,04
Cu- Met, 15% <sup>6</sup>	-	-	0,01	0,01
Mn- Met, 13% <sup>7</sup>	-	-	0,02	0,05
Inerte <sup>8</sup>	0,20	0,18	0,21	0,19
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>Composição química</b>				
EM, kcal/kg	2860	2860	2860	2860
PB, %	14,30	14,30	14,30	14,30
Met dig, %	0,42	0,42	0,42	0,42
Met + Cis dig, %	0,63	0,63	0,63	0,63
Lis dig, %	0,73	0,73	0,73	0,73
Cálcio, %	4,07	4,07	4,07	4,07
Fósforo disp., %	0,44	0,44	0,44	0,44
Sódio, %	0,17	0,17	0,17	0,17
Cloro, %	0,27	0,27	0,27	0,27
Potássio, %	0,54	0,54	0,54	0,54
Zinco, % <sup>9</sup>	55	87	55	87
Cobre% <sup>9</sup>	12	21	12	21
Manganês, % <sup>9</sup>	41	75	41	75

<sup>1</sup>Pré-mistura por quilo de ração - Ácido Fólico: 30g; Ácido Pantotênico: 4,8g; Biotina: 60 g; Niacina: 15 g; Selenito de sódio: 40g; Vitamina A: 7.000.000 UI; Vitamina B1: 30g; Vitamina B12: 0,00001g; Vitamina B2: 4,5g; Vitamina B6: 30g; Vitamina D3: 3.000.000 UI; Vitamina E: 15.000 UI; Vitamina K: 90g; B.H.T: 2g.

<sup>2</sup>Etoxiquin.

<sup>3</sup>Sunphase 5000 FYT. Fitase derivada da bactéria *Escherichia coli*.

<sup>4</sup>MHA-Ca (metionina hidroxí-análoga sal de cálcio): matéria seca 99%, atividade de metionina 84%, valor proteico 49,3%, cálcio orgânico 12%, EM 4.041kcal/kg.

<sup>5</sup>Zn-Met: atividade de metionina 80%, valor proteico 47%, EM 3.823 kcal/kg.

<sup>6</sup>Cu-Met: atividade de metionina 78%, valor proteico 45,8%, EM 3.727 kcal/kg.

<sup>7</sup>Mn-Met: atividade de metionina 76%; valor proteico 44,7%, EM 3.632 kcal/kg.

<sup>8</sup>Areia lavada.

<sup>9</sup>Zinco, Cobre e Manganês: valores referentes aos níveis testados e suas respectivas quantidades presente no milho e farelo de soja.

Tabela 3 - Composição percentual e valores nutricionais calculados das rações experimentais para poedeiras leves na fase de postura (49-54 semanas)

Ingredientes (%)	Tratamentos			
	T1	T2	T3	T4
Milho, 7,88%	64,97	64,97	64,97	64,97
Farelo de soja, 45,22%	20,30	20,30	20,30	20,30
Óleo de soja	2,30	2,30	2,30	2,30
Fosfato bicálcico, 18%	1,70	1,70	1,70	1,70
Sal comum	0,39	0,39	0,39	0,39
L-Lisina HCl	0,09	0,09	0,09	0,09
Cloreto de colina, 60%	0,07	0,07	0,07	0,07
Premix Vit + Se <sup>1</sup>	0,07	0,07	0,07	0,07
Iodato de K	0,10	0,10	0,10	0,10
Sulfato de Fe, 20%	0,00	0,00	0,00	0,00
Antioxidante <sup>2</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01
Fitase <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01
Calcário calcítico grosso	7,28	7,28	7,28	7,28
Calcário calcítico fino	2,33	2,33	2,33	2,33
MHA-Ca <sup>4</sup>	0,20	0,20	0,16	0,12
Sulfato de Zn, 35%	0,01	0,02	-	-
Sulfato de Cu, 34,5%	0,00	0,00	-	-
Sulfato de Mn, 26%	0,01	0,02	-	-
Zn- Met, 16% <sup>5</sup>	-	-	0,02	0,04
Cu- Met, 15% <sup>6</sup>	-	-	0,01	0,01
Mn- Met, 13% <sup>7</sup>	-	-	0,02	0,05
Inerte <sup>8</sup>	0,20	0,18	0,22	0,21
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>Composição química</b>				
EM, kcal/kg	2890	2890	2890	2890
PB, %	14,91	14,91	14,91	14,91
Met dig, %	0,39	0,39	0,39	0,39
Met + Cis dig, %	0,60	0,60	0,60	0,60
Lis dig, %	0,71	0,71	0,71	0,71
Cálcio, %	4,22	4,22	4,22	4,22
Fósforo disp., %	0,40	0,40	0,40	0,40
Sódio, %	0,18	0,18	0,18	0,18
Cloro, %	0,26	0,26	0,26	0,26
Potássio, %	0,56	0,56	0,56	0,56
Zinco, % <sup>9</sup>	55	87	55	87
Cobre% <sup>9</sup>	12	21	12	21
Manganês, % <sup>9</sup>	41	75	41	75

<sup>1</sup>Pré-mistura por quilo de ração - Ácido Fólico: 30g; Ácido Pantotênico: 4,8g; Biotina: 60 g; Niacina: 15 g; Selenito de sódio: 40g; Vitamina A: 7.000.000 UI; Vitamina B1: 30g; Vitamina B12: 0,00001g; Vitamina B2: 4,5g; Vitamina B6: 30g; Vitamina D3: 3.000.000 UI; Vitamina E: 15.000 UI; Vitamina K: 90g; B.H.T: 2g.

<sup>2</sup>Etoxiquin.

<sup>3</sup>Sunphase 5000 FYT. Fitase derivada da bactéria *Escherichia coli*.

<sup>4</sup>MHA-Ca (metionina hidroxí-análoga sal de cálcio): matéria seca 99%, atividade de metionina 84%, valor proteico 49,3%, cálcio orgânico 12%, EM 4.041kcal/kg.

<sup>5</sup>Zn-Met: atividade de metionina 80%, valor proteico 47%, EM 3.823 kcal/kg.

<sup>6</sup>Cu-Met: atividade de metionina 78%, valor proteico 45,8%, EM 3.727 kcal/kg.

<sup>7</sup>Mn-Met: atividade de metionina 76%; valor proteico 44,7%, EM 3.632 kcal/kg.

<sup>8</sup>Areia lavada.

<sup>9</sup>Zinco, Cobre e Manganês: valores referentes aos níveis testados e suas respectivas quantidades presente no milho e farelo de soja.

Composição mineral da água durante o período experimental foi analisada e os resultados estão na Tabela 4.

Tabela 4 – A composição química da água

	Zn (mg/L)	Cu (mg/L)	Mn (mg/L)	pH
Manual	1,5	0,6	0,05	6,3-7,5
Analisada*	0,0264	0,0169	0,0109	7,1

\*A análise foi realizada no Laboratório de Química do Solo da Universidade Federal da Paraíba

### **Variáveis analisadas**

O período experimental foi dividido em 6 subperíodos de 28 dias. A coleta dos ovos foi realizada diariamente no período da tarde após registro de produção de cada parcela e, em caso de mortalidade, as devidas correções eram realizadas. Nos três últimos dias de cada subperíodo todos os ovos foram pesados e a partir do peso médio selecionou-se seis ovos por parcela, sendo três destinados a análise de qualidade dos ovos, dois para análise de gravidade específica e um para resistência de casca, totalizando assim 756 ovos analisados por tratamento no final do experimento (6 ovos x 3 dias x 7 repetições em 6 subperíodos).

### **Desempenho**

Avaliou-se consumo de ração (CR, g/ave/dia), produtividade (PR, %), peso do ovo (PO, g/ovo), massa de ovo (MO, g/ave/dia), conversão por massa (CMO, kg de ração/kg de ovos) e por dúzia de ovos (CDZ, kg de ração/dz de ovos). O CR foi determinado a partir da diferença da ração fornecida e as sobras existentes no final de cada subperíodo, corrigido pela mortalidade das aves em cada um deles; a PR foi obtida anotando-se a produção diária por parcela; o PO, todos os ovos de cada parcela foram pesados individualmente em balança digital de quatro dígitos (0,0001g) e calculado o peso médio dos ovos; a MO foi determinada multiplicando a produção de ovos pelo peso do ovo das aves de cada repetição e dividido por cem. Para determinação da CMO, o consumo de ração de cada parcela foi dividido pela massa do ovo; a CDZ foi calculada dividindo o consumo de ração pelo número de dúzias produzidas por ave.

### **Qualidade do ovo**

A qualidade interna e externa dos ovos foi avaliada através das porcentagens (%) de albúmen, gema e casca, unidade Haugh (UH), cor da gema, peso de casca (g) espessura da casca ( $\mu\text{m}$ ), resistência da casca (kgf) e gravidade específica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

Os constituintes do ovo, a gema e casca, foram pesados separadamente em balança digital de quatro dígitos (0,0001g) e o peso de albúmen foi determinado a partir da diferença entre o peso do ovo inteiro subtraído o peso da gema e o peso da casca do ovo. As porcentagens de albúmen e de gema foram determinadas pela relação entre o peso médio de cada um dos componentes e o peso médio do ovo. As cascas dos ovos foram identificadas, lavadas com água

destilada, mantendo a membrana interna da casca, secas em estufa a 55-60°C por 12 horas e pesadas em balança digital com precisão de 0,0001g para obtenção do peso médio das cascas. A porcentagem da casca foi obtida através da relação entre o peso médio da casca sobre o peso médio do ovo multiplicado por 100; para avaliação da qualidade do albúmen, através da unidade Haugh, os ovos foram pesados individualmente em balança de precisão (0,0001g), posteriormente quebrados sobre uma mesa especial de vidro e medida a altura do albúmen através de um altímetro especial AMES. A unidade Haugh foi calculada de acordo Card e Nesheim (1972) através da equação:  $UH = 100 * \log (H + 7,57 - (1,7 * W^{0,37})$ , onde: UH = unidade Haugh; H = altura de albúmen (mm); W = peso do ovo (g); para determinar a espessura de casca, foi utilizado um micrômetro digital Mitutoyo de 0-25 mm, com precisão de 0,001 mm; a resistência da casca foi determinada pelo aparelho TA-XT Plus Stable Micro Systems (Surrey, UK), pertencente ao Laboratório de Produtos de Origem Animal (LAPOA), localizado no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba. Foi usada uma sonda P5 DIA Cylinder de aço inoxidável de 5 mm de diâmetro, com distância de 6 mm e velocidade pré de 3,0, durante de 0,5 e pós-teste de 5,0 mm/s. O teste seguiu o método de fratura por compressão, em que o ovo inteiro é colocado longitudinalmente, segundo Rodriguez-Navarro (2002), sobre um suporte de metal em forma de anel com 5cm de diâmetro dentro de um cadinho de porcelana. A casca é pressionada até que ocorra a fratura e a força necessária usada é a indicadora da resistência da casca; a gravidade específica foi determinada pelo método de flutuação em solução salina, conforme metodologia descrita por Hamilton (1982). Os ovos foram imersos em 12 soluções de cloreto de sódio (NaCl) com densidades variando de 1,070 a 1,0975 g/mL, com gradiente de 0,0025 entre elas. A densidade das soluções foi rotineiramente aferida por meio de um densímetro de petróleo.

### **Morfometria Intestinal**

No final do experimento uma ave por repetição foi escolhida no peso médio da parcela e eutanasiada para coleta fragmentos de 1 cm da porção média do duodeno, jejuno e íleo de cada ave, perfazendo sete fragmentos por tratamento/região, os quais foram fixados por imersão em formol a 10%. Os fragmentos do intestino delgado foram inclusos em parafina segundo processamento histológico padrão (RAMOS *et al.*, 2011). Realizou-se em seguida a microtomia a 5 micrômetros de espessura de cada bloco de parafina, sendo tais lâminas histológicas submetidas à coloração de “Periodic Acid Schiff” (PAS) e digitalizada em câmera Motic acoplada em microscópio Olympus BX-53 com o programa analisador de imagens Motic Image Plus 2.0. Para cada fotomicrografia/região foram realizadas três mensurações de altura e largura de vilosidade intestinal e de sua respectiva cripta, perfazendo um número amostral de 63

mensurações (7 animais x 3 fotomicrografias x 3 mensurações) para cada variável supracitada por tratamento. A altura de vilão ( $\mu\text{m}$ ) foi tomada a partir da região da mucosa intestinal que coincidia com a porção superior das criptas, até seu ápice. A largura do vilão era mensurada na altura mediana do vilão, no sentido horizontal ( $\mu\text{m}$ ). A profundidade de cripta ( $\mu\text{m}$ ) foi medida considerando a distância entre a sua base até a região de transição cripta-vilosidade. As análises histomorfométricas foram realizadas por um único histologista para evitar erros de interpretação.

### **Parâmetro de tíbia**

A cada mudança de exigência nutricional até a 23<sup>a</sup> semana de idade e na 54<sup>a</sup> semana de idade, foram realizados abates e coleta da coxa esquerda das aves para a análise de peso (g), comprimento (mm) e resistência óssea (kgf), totalizando sete abates (3, 6, 12, 15, 17, 23 e 54 semanas de idade) nos quais uma ave por parcela era abatida (sete/tratamento). A ave era escolhida pelo peso médio da parcela e eutanasiada por meio de eletronarcolese seguindo de exsanguinação. Após o abate as coxas eram armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados e levadas para congelamento em freezer a  $-20^{\circ}\text{C}$ . O preparo das tíbias se deu com a retirada da pele, músculo e a cartilagem que envolviam os ossos e foram secos à temperatura ambiente (KIM, 2004). Para verificar o peso das tíbias foi utilizada balança semi analítica 0,01g e medidas o comprimento por paquímetro digital inox 150mm. Após a medição, as tíbias foram levadas ao LAPOA para análise de resistência óssea através do aparelho universal de teste TA-XT Plus Stable Micro Systems (Surrey, UK) com uma célula de carga de 50 kg à uma velocidade de 50 mm/min. O acessório para fratura Point Bend Rig (HDP/3PB), Stable Micro Systems, foi regulado para permitir que o vão livre da diáfise fosse de 3,0 cm (PARK *et al.*, 2003). As tíbias foram posicionadas em apoios na região das epífises e sem apoio na região central, onde foi aplicado a força para fratura. As análises das tíbias foram realizadas por um único avaliador para evitar erros de interpretação.

### **Quantificação dos minerais**

Na 54<sup>a</sup> semana de idade das aves foram coletados ovos, fígado e excretas para a determinação mineral do cálcio, fósforo, zinco, cobre e manganês. Para as análises dos macrominerais foram pesados 1,0g de cada material e para os microminerais a amostra era de 0,5 g pesados em balança analítica ( $\pm 0,0001\text{g}$ ) (ZENEBO; PASCUET; TIGLEA, 2008). A quantificação dos minerais se deu pela espectrometria de absorção atômica com chama (Ca, Zn, Cu e Mn) e colorimetricamente a partir de um espectrofotômetro Genesys 5 (Thermo Electron Corp., Madison, WI) a 660 nm, de acordo com os métodos estabelecidos pelo AOAC (1970) para o fósforo, no Laboratório de Química do Solo da Universidade Federal da Paraíba.

Preparo da casca e gema: para a análise do conteúdo mineral da casca e na gema foram utilizados cinco ovos por parcela experimental com um dia, sendo as gemas separadas, homogeneizadas e colocadas em placa de petri. As amostras foram congeladas em freezer a uma temperatura de -20°C. Após congelamento, as amostras de gemas foram liofilizadas até total secagem. As cascas foram lavadas com água destilada, secas em estufa a 55-60°C “overnight” e posteriormente congeladas. A membrana interna da casca não foi retirada. As cascas foram processadas em moinho de bola MA350 com 617 golpes por minuto, durante um minuto.

Preparo do fígado: após coleta, os fígados foram armazenados em sacos plásticos identificados e congelados em freezer a -20°C para processamento. Posteriormente, um fragmento pesado e fracionados para aumentar a área superficial das partículas sendo coletado um fragmento do lobo direito de cada animal/ tratamento (n=7). As amostras mantiveram-se congeladas até o momento da digestão.

Preparo das excretas: as excretas foram coletadas duas vezes ao dia durante 24 horas no final do período experimental. Placas de alumínio foram forradas com lonas e postas embaixo das gaiolas no final da tarde, sendo realizada a primeira coleta na manhã seguinte e no final da tarde. Após a coleta, as amostras foram armazenadas em sacos plásticos esterilizados identificados e congeladas em freezer a -20°C. Posteriormente, as excretas das duas coletas foram descongeladas, homogeneizadas e pré-secas em estufa de ventilação forçada a 55°C durante 72 horas e em seguida trituradas em moinho bola de aço inoxidável (MA350 com 617 golpes por minuto), devidamente esterilizado, por dois minutos.

### **Análise Estatística**

Para a análise das respostas de desempenho, qualidade de ovo, tíbias e composição mineral as variáveis foram submetidas às análises estatística utilizando-se o SAS (SAS Institute, 2011). Foi verificada a homogeneidade de variância, sendo posteriormente analisados por modelo fatorial, em que foram incluídos os efeitos dos tratamentos, fontes e níveis dos microminerais, e a interação entre os fatores. As médias foram comparadas por meio do teste de Tukey a 5% de significância.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na Tabela 5 estão descritos os resultados das variáveis de desempenho de poedeiras leves com idade de 30 a 54 semanas suplementadas com diferentes fontes e níveis de zinco,

cobre e manganês. Verifica-se que houve efeito da fonte sobre o CR ( $P=0,0022$ ), PR ( $P<,0001$ ), CMO ( $P<0,0063$ ) e CDZ ( $P<,0001$ ). Não ocorreu efeito dos níveis ( $P>0,05$ ) sobre nenhuma das variáveis de desempenho das poedeiras.

As aves que fizeram uso da FS tiveram menor CR, maior PR (1,32%) e menores CMO e CDZ que a FQ, e os melhores resultados de desempenho das poedeiras se deu com o uso da FS+NR, enquanto as aves utilizando a FQ+NS apresentaram os maiores valores para o CR e CMO comparado aos demais tratamentos.

Na literatura é possível encontrar relatos de aumento do consumo da ração das poedeiras devido ao tipo de fonte (fonte quelatada *vs* fonte inorgânica) e em faixas etárias diferentes. Este aumento no consumo de ração repercute diretamente sobre a CMO tendo em vista que o CR é uma variável utilizada para calcular essa variável. Assim, esses resultados estão de acordo com os de Abd El-Hack *et al.* (2017), Pereira *et al.* (2018) e Li *et al.* (2019), que relataram diferença sobre as variáveis de desempenho comparando a suplementação dos microminerais com fontes inorgânicas e orgânicas, enquanto Zhang *et al.* (2017 1) não encontraram diferença entre as fontes orgânica e inorgânica sobre a produção de ovos e o peso dos ovos.

Para tais resultados acredita-se que tenha ocorrido interação sinérgica dos microminerais da FS com algum constituinte da dieta (aminoácido, polipeptídeo, vitamina) que promoveu estabilidade biológica no organismo das aves e reduziu as alterações, por eles sofrida, com a mudança de pH do trato digestório superior para o inferior, proporcionando maior biodisponibilidade do microminerais, o que melhorou o desempenho produtivo das poedeiras com a FS. De acordo com McCartney (2008) a mistura de minerais com aminoácidos ou derivados da soja podem formar falsos quelatos e, conforme Goff (2006), o zinco pode formar complexos com peptídeos e aminoácidos (cisteína e histidina) e sua disponibilidade aumenta devido à formação de complexos solúveis no intestino viabilizando seu alcance a borda da escova. A essa ocorrência o autor nomeia de quelante natural. Favero *et al.* (2013) relataram a possibilidade do zinco, cobre e manganês conseguirem se fixar a ligantes estáveis e melhorar o desempenho das galinhas, mas alerta para importância de se explorar e detalhar as interações que ocorrem na ração dos animais quanto ao uso de fontes orgânicas e inorgânicas.

Tabela 5 – Desempenho de poedeiras leves de 30-54 semanas de idade suplementada com diferentes fontes e níveis de zinco, cobre e manganês

Efeitos	Variáveis	CR, (g/ave/dia)	PR, (%, ave)	PO, (g, ovo)	MO, (g/ ave/ dia)	CMO, (kg/g)	CDZ, (kg/dz)
<b>Fontes</b>	Sulfato	107,20b	94,92a	61,97	58,84	1,83b	1,36b
	Quelato	108,98a	93,31b	62,94	58,72	1,86a	1,40a
<i>P</i>		0,0022	<,0001	0,1090	0,8585	0,0063	<,0001
<i>CV (%)</i>		1,28	0,80	1,24	1,45	1,63	1,55
<b>Níveis</b>	32/8/32	107,77	94,05	62,71	58,98	1,83	1,38
	Zn/Cu/Mn 64/16/64	108,41	94,18	62,21	58,58	1,85	1,38
<i>P</i>		0,3078	0,3670	0,9650	0,6563	0,0873	0,6535
<i>CV (%)</i>		1,51	1,19	1,41	1,41	1,78	2,35
<b>Fontes x Níveis</b>							
<i>P</i>		0,0753	0,2765	0,5344	0,9484	0,1162	<,0001

<sup>a,b</sup>Médias seguidas por letras distintas (nas linhas) diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%).

CR: consumo de ração; PR: produção de ovos; PO: peso de ovo; MO: massa de ovo; CMO: conversão por massa de ovo; CDZ: conversão por dúzia de ovos.

Ao testar o Zn (ABD EL-HACK *et al.*, 2017) e o Cu (PEKEL e ALP, 2011) isolados, com fontes e níveis diferentes, os autores citados, atribuíram à palatabilidade dos minerais a possível causa do efeito da fonte sobre o CR nas poedeiras e sua biodisponibilidade no trato digestivo, respectivamente. O maior nível de Zn-Met (100mg/kg) teve maior CR (ABD EL-HACK *et al.*, 2017) e foi considerado como efeito positivo; enquanto efeito negativo foi associado ao sulfato de Cu, assim justificaria o menor CR (PEKEL e ALP, 2011), pois os níveis crescentes de Cu podem modificar a palatabilidade das dietas ou danificar a cavidade oral, até mesmo a moela, levando a redução do consumo de ração (CHIOU;CHEN;YU, 1997). Quanto ao Mn, não foi encontrado relatos bibliográficos fazendo relação com o consumo de ração e/ou palatabilidade.

Inferese, portanto, que o cobre inorgânico possa ser responsável pelo menor CR, maior PR, menor PO e menor valores de conversão (CMO e CDZ), assim como o zinco quelatado possa ter proporcionado maior CR, maior PO e piores conversões nesta pesquisa. Deve-se ressaltar que MO, CMO e CDZ são reflexos secundários de CR, PR ou PO, tendo em vista que, para se calcular os valores de massa e das conversões, essas variáveis compõem parcialmente ou totalmente a fórmula.

Observou-se interação entre fonte e níveis de suplementação ( $P < 0,0001$ ) para a conversão por dúzia de ovos (Tabela 6). As aves que receberam os menores níveis de Zn, Cu e Mn tiveram respostas de desempenho diferente em relação as fontes; poedeiras alimentadas com a fonte sulfato (T1) tiveram CR menor que as poedeiras que consumiram a fonte quelatada (T3).

Tabela 6 – Efeito da interação das fontes e níveis de zinco, cobre e manganês sobre a conversão por dúzia de ovos (CDZ, Kg/dz) de poedeiras leves de 30 a 54 semanas de idade

Fontes x Níveis	32/8/32	64/16/64
	Zn/Cu/Mn	Zn/Cu/Mn
Sulfato	1,35b	1,37
Quelato	1,41a	1,40

<sup>a,b</sup>Médias dos tratamentos seguidas por letras minúsculas distintas (nas linhas) diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%).

Para CDZ as aves que receberam os níveis menores de Zn, Cu e Mn apresentaram valores bem distintos com relação às fontes, sendo com o uso da FS a melhor conversão (T1) em relação a fonte quelatada (T3) quando utilizando o NR. A FS+NS (T2) e FQ+NS (T4) não diferiram

Diante do exposto fica claro que a utilização de fontes com maior biodisponibilidade por si só não proporciona os melhores resultados de desempenho, sendo necessário ajustar os

níveis de inclusão dos microminerais às reais condições vividas pelas aves para que seu potencial genético seja expressado, assegurando atendimento de suas demandas metabólicas e fisiológicas, além do, bem-estar e sanidade. Logo, diferenças na quantidade de mineral solubilizado podem explicar alteração do metabolismo dos minerais e desempenho animal (PEREIRA, 2002).

Os resultados das variáveis de qualidade de ovos estão apresentados na Tabela 7. Não foram observados efeitos ( $P>0,05$ ) isolados das fontes ou dos níveis e de Zn, Cu e Mn, e nem de interação entre eles para a qualidade interna e externa dos ovos de poedeiras leves, exceto para a o peso da casca que foi influenciado pelo tipo de fonte ( $P=0,0036$ ).

As aves alimentadas com a FQ produziram ovos com cascas mais pesadas que as poedeiras suplementadas com o Zn, Cu e Mn inorgânico.

A casca do ovo é formada por componentes orgânicos e inorgânicos que resultam em várias ultraestruturas durante seu processo de formação e mineralização. Segundo relatos bibliográficos, os cristais de carbonato de cálcio é o principal componente inorgânico da casca do ovo, podendo representar em até 97% do peso total da casca do ovo (STEFANELLO *et al.*, 2014; XIÃO *et al.*, 2014), sendo a camada paliçada a responsável por dois terços da espessura total da casca do ovo e a mesma é constituída de cristais de calcita de carbonato de cálcio (RUIZ e LUNAM, 2000; FATHI *et al.*, 2007).

O zinco, cobre e o manganês possuem funções de grande relevância para a formação da casca do ovo e eles estão associados a diversos sistemas enzimáticos. Segundo Xião *et al.* (2014), os microminerais podem agir como ativadores ou componentes de enzimas que participam na síntese da casca do ovo ou interagem direto com os cristais de cálcio durante a formação da casca do ovo, refletindo diretamente com a qualidade da casca. Assim, os microminerais afetam a qualidade da casca do ovo de forma independente (STEFANELLO *et al.*, 2014).

Tabela 7 – Qualidade de ovos de poedeiras leves de 30-54 semanas de idade suplementada com diferentes fontes e níveis de Zn, Cu e Mn

Efeitos	Variáveis	Albúmen, (%)	Gema, (%)	Casca, (%)	UH	Casca, (g)	EC, (mm)	RC, (KGF)	GE, (cm/m <sup>3</sup> )
<b>Fontes</b>	Sulfato	62,36	27,52	10,08	94,56	6,21b	467,36	4,11	1,09
	Quelato	62,32	27,52	10,04	94,20	6,40a	470,86	4,05	1,09
<i>P</i>		0,4961	0,8315	0,6484	0,7393	0,0036	0,2004	0,8981	0,2390
<i>CV (%)</i>		1,18	2,30	1,96	1,45	2,52	1,76	6,33	0,55
<b>Níveis</b>	32/8/32	62,41	27,52	10,02	94,69	6,32	467,20	4,08	1,09
Zn/Cu/Mn	64/16/64	62,27	27,51	10,10	94,07	6,28	471,02	4,08	1,09
<i>P</i>		0,4345	0,8444	0,1998	0,6288	0,5307	0,1896	0,9610	0,3147
<i>CV (%)</i>		1,18	2,30	1,93	1,42	2,97	1,75	6,38	0,54
<b>Fontes x Níveis</b>									
<i>P</i>		0,5035	0,8209	0,1232	0,9022	0,7556	0,3224	0,9374	0,2051

UH: unidade de Haugh; EC: espessura de casca; RC: resistência de casca; GE: gravidade específica.

<sup>a,b</sup>Médias dos tratamentos seguidas por letras distintas (nas linhas) diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%).

Conforme a bibliografia, o zinco é um dos componentes da anidrase carbônica, sendo cerca de 0,33% de zinco na sua composição (LEESON e SUMMERS, 2001) e também atua na deposição do albúmen (MABE *et al.*, 2003). A anidrase carbônica é uma metaloenzima que participa do metabolismo do cálcio, fixando-o na casca do ovo na forma de carbonato de cálcio (ŚWIĄTKIEWICZ, ARCZEWSKA-WŁOSEK e JÓZEFIAK, 2014) durante a formação da casca do ovo, pois a anidrase carbônica controla a transferência dos íons de bicarbonato do sangue das aves para o útero/glândula da casca (MABE *et al.*, 2003). Além do zinco, ocorre a ação do Mn como cofatores enzimáticos durante o metabolismo do cálcio, enquanto o Cu é associado a membrana da casca (LEESON e SUMMERS, 2001).

Estudos recentes com poedeiras na 54ª semana de idade suplementadas com diferentes fontes de manganês (ZHANG *et al.*, 2018) através da análise quantitativa de PCR em tempo real no útero da ave, mostraram que a presença do Mn na dieta aumentou a expressão de genes que codificam proteoglicanos e glicoproteínas no útero aumentando a densidade de botões mamilares durante a formação da casca do ovo.

O cobre e o zinco alteram o mecanismo de formação da casca pela interação com o carbonato de cálcio, modificando a textura da casca ou pela interação direta com os cristais de calcita na formação da casca do ovo (MABE *et al.*, 2003).

Outros estudos relataram ausência de efeito da suplementação do zinco e/ou cobre e/ou manganês e suas diferentes fontes sobre a qualidade do ovo. Zhang *et al.* (2017) concluíram que o peso da casca do ovo, a proporção da casca, o índice de casca e a resistência de casa não foram afetados por nenhuma das formas de suplementação de Mn. Os autores sugerem que os efeitos positivos do manganês na qualidade da casca do ovo podem não estar relacionados com o aumento do peso da casca. Mabe *et al.* (2003) sugerem que a adição de fontes orgânica ou inorgânica de Zn, Mn e Cu combinados não influenciam significativamente a quantidade de material depositado na casca do ovo durante a formação da casca, mas pode melhorar algumas propriedades mecânicas, independente da fonte dos microminerais.

As fontes e níveis de suplementação de zinco, cobre e manganês não influenciaram o peso, o comprimento e a resistência da tíbia em nenhuma das idades analisadas ( $P > 0,05$ ). Também não houve interação da fonte com os níveis em nenhuma faixa etária para o peso, comprimento e resistência da tíbia (Tabela 8). Acredita-se que esse resultado é positivo, tendo em vista que há maior utilização de fonte sulfato pelos pequenos e médios produtores do que a fonte quelatada, assegurando ao produtor melhor longevidade da ave e redução de problemas ósseos independente da fonte utilizada por eles. Pois o zinco, o manganês e o cobre estão asso-

ciados ao crescimento e ao desenvolvimento do tecido ósseo (MAIORKA e MACARI, 2002).

Tabela 8 – Características de tíbias de poedeiras leves em resposta a suplementação de fonte inorgânica e orgânica de Zn, Cu e Mn de 30 a 54 semanas de idade (continua...)

Efeitos	Variáveis	Peso (g)							Comprimento (mm)					
		Idade (sem.)	3	6	12	15	17	23	54	3	6	12	15	17
<b>Fontes</b>	Sulfato	1,09	2,55	4,88	6,29	7,04	7,58	7,75	54,00	76,26	108,42	103,65	110,89	111,34
	Quelato	1,10	2,51	4,99	6,53	6,95	7,60	7,45	53,39	76,56	107,67	111,04	110,79	111,36
<i>P</i>		0,6801	0,9480	0,0847	0,6796	0,3272	0,6903	0,3272	0,1394	0,3049	0,8710	0,5015	0,9282	0,5457
<i>CV (%)</i>		8,27	6,38	5,40	5,65	7,98	8,24	5,71	2,11	1,87	1,92	17,58	1,73	1,74
<b>Níveis</b>	32/8/32	1,10	2,61	4,99	6,45	7,20	7,88	7,58	53,68	76,84	109,00	110,67	111,07	111,73
	Zn/Cu/Mn 64/16/64	1,10	2,45	4,89	6,36	6,79	7,30	7,62	53,65	75,99	107,09	104,02	110,61	110,96
<i>P</i>		1,0000	0,5475	0,2690	0,2499	0,6208	0,6410	0,7109	0,3037	0,7323	0,5075	0,2045	0,8093	0,3518
<i>CV (%)</i>		8,29	5,57	5,42	5,93	7,42	7,26	6,05	2,21	1,79	1,73	17,65	1,72	1,71
<b>Fontes x Níveis</b>														
<i>P</i>		0,1273	0,7571	0,1397	0,3167	0,2358	0,7049	0,6389	0,2883	0,3756	0,8602	0,2977	0,9594	0,5195

Valores médios obtidos a partir de 7 amostras/tratamento

Tabela 8 – Características de tíbias...continuação

Efeitos	Variáveis	Resistência (kgf)						
		Idade (sem.)	3	6	12	15	17	23
<b>Fontes</b>	Sulfato	8581,7	14344,7	22024,1	25594	31452	28945	26467
	Quelato	8374,5	13842,7	21371,7	27066	28004	30323	25397
<i>P</i>		0,4296	0,4227	0,2424	0,3614	0,4942	0,4929	0,6584
<i>CV (%)</i>		18,28	9,58	11,95	12,15	16,23	15,52	22,58
<b>Níveis</b>	32/8/32	8277,2	14087,2	22144,9	26432	30540	29551	26045
	Zn/Cu/Mn 64/16/64	8645,5	14100,2	21250,9	26229	28917	29718	25819
<i>P</i>		0,9805	0,6166	0,2743	0,6173	0,3203	0,6330	0,7431
<i>CV (%)</i>		16,70	9,76	11,86	12,48	17,08	15,70	22,67
<b>Fontes x Níveis</b>								
<i>P</i>		0,4777	0,5922	0,1493	0,5621	0,1833	0,6363	0,7543

Valores médios obtidos a partir de 7 amostras/tratamento.;

Na Tabela 9 estão descritos os dados das análises de morfometria do intestino delgado de poedeiras leves na 54ª semana de idade. Não houve efeito das fontes ( $P>0,05$ ), dos níveis ( $P>0,05$ ) e suas interações ( $P>0,05$ ) sobre a altura de vilo, largura de vilo e profundidade de cripta do duodeno, jejuno e íleo de poedeiras com 54 semanas de idade, exceto para a altura de vilo do íleo ( $P=0,0151$ ) que apresentou efeito quanto ao uso da fonte e de sua interação com os níveis nas variáveis largura de vilo ( $P=0,0306$ ) e profundidade de cripta ( $P=0,0019$ ), ambas, na região duodenal. Os valores das interações estão apresentados nas Tabelas 10 e 11.

A altura de vilo no segmento do íleo foi maior nas aves fizeram uso da dieta com a FQ em até 28,8% em relação as poedeiras suplementadas com a FS. Ainda foi possível verificar uma tendência dos vilos serem mais altos à medida que os níveis de suplementação do Zn, Cu e Mn aumentaram. Provavelmente o uso da metionina hidroxí-análoga como quelante dos microminerais na fonte quelatada, pode ter favorecido as aves dos tratamentos com a presença de minerais quelatados, pois a formação de tecidos do organismo de aves depende de proteína (RUTZ, 2002) e quando os níveis de suplementação do Zn, Cu e Mn passaram para 64/16/64 ppm, a altura dos vilos do íleo aumentaram em até 16,5% em relação ao NR, esse crescimento se deu também no duodeno e jejuno, logo tais alterações são consideradas positivas tendo em vista a sua relação direta com a capacidade absorptiva do animal, proporcionando aumento da área luminal, pois segundo NEWSHOLME *et al.* (2003) o aumento da altura dos vilos relaciona-se com o células epiteliais (enterócitos, células caliciformes e enteroendócrinas), consequentemente, ocorre o desenvolvimento da capacidade digestiva e absorptiva. O íleo é descrito como o segmento cujo bolo alimentar passa mais tempo (BERTECHINI, 2014), assim, tais características morfofisiológicas observadas, podem vir a contribuir para melhorar o desempenho produtivo das poedeiras, principalmente pela idade que as aves estavam. Sabe-se que à medida que a ave envelhece sua capacidade digestiva é diminuída (TAVERNARI *et al.*, 2019).

Tarachai e Yamauchi (2000), observaram que a mucosa intestinal tem como estímulo primário para seu desenvolvimento os componentes químicos (nutrientes) da dieta porque na presença do nutriente no lúmen intestinal os vilos têm maior altura e número de células em mitose e extrusão, causando maior desenvolvimento da mucosa, além da contribuição do estímulo físico do alimento. A altura das vilosidades é influenciada pela disponibilidade de nutrientes, sendo maiores quando a disponibilidade de nutrientes é maior (GUERRA, 2018).

Tabela 9 – Morfometria do intestino delgado de poedeiras leves com 54 semanas suplementadas com diferentes fontes e níveis de Zn, Cu e Mn

Efeitos	Variáveis	Altura de vilos (µm)			Largura de vilos (µm)			Profundidade de cripta (µm)		
		Duo	Jej	Íle	Duo	Jej	Íle	Duo	Jej	Íle
<b>Fontes</b>	Sulfato	1079,15	607,39	428,55b	106,47	104,13	78,15	91,368	77,31	54,39
	Quelato	1154,34	525,29	551,78a	119,11	91,20	85,20	76,15	75,27	51,38
<i>P</i>		0,1182	0,2359	0,0151	0,1475	0,0802	0,0741	0,0642	0,3671	0,2246
<i>CV (%)</i>		10,83	26,43	20,92	16,76	25,58	11,02	20,60	17,91	9,99
<b>Níveis Zn/Cu/Mn</b>	32/8/32	1057,11	506,60	452,77	119,74	98,60	83,10	87,11	75,85	55,44
	64/16/64	1176,90	626,08	527,56	105,84	96,80	80,26	80,40	76,73	50,33
<i>P</i>		0,0682	0,2578	0,0740	0,1132	0,1406	0,2780	0,4328	0,4454	0,1339
<i>CV (%)</i>		9,89	25,18	23,42	16,55	26,48	11,78	22,32	17,96	9,10
<b>Fontes x Níveis</b>										
<i>P</i>		0,2441	0,0725	0,1731	0,0306	0,1337	0,1743	0,0019	0,3965	0,4044

<sup>a,b</sup>Médias seguidas por letras distintas (nas linhas) diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%).

Duo: duodeno; Jej: jejuno; Íle: íleo.

Os resultados das interações mostram que as aves que utilizaram a FS+NR tiveram as maiores larguras de vilo e que o aumento da suplementação do Zn, Cu e Mn com a FS reduziu significativamente a largura dos vilos, chegando a marca de até 24,5% mais finas quando comparada com a largura de vilo das aves com uso do NR. Não houve diferença ( $P>0,05$ ) entre as fontes testadas.

Tabela 10 – Efeito da interação das fontes e níveis de zinco, cobre e manganês sobre a largura de vilo duodenal de poedeiras leves com 54 semanas de idade

<b>Fontes x Níveis</b>	32/8/32 Zn/Cu/Mn	64/16/64 Zn/Cu/Mn
Sulfato	121,34A	91,59B
Quelato	118,13	120,09

<sup>a,b</sup>Médias dos tratamentos seguidas por letras maiúsculas distintas (nas colunas) diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%).

Os valores das interações entre as fontes e níveis de Zn, Cu e Mn sobre a profundidade de cripta no duodeno (PC-DUO), mostram que houve efeito entre as fontes e entre os níveis testados. As aves suplementadas com a FS+NR apresentaram valores médios de PC-DUO muito superior as aves dos demais tratamentos. A FS teve uma PC-DUO de 55,1% a mais que a FQ. Em relação aos níveis, a FS+NS apresentou redução na PC-DUO em até 27,3% quando comparadas aos valores das aves suplementadas com a FS+NR. Já as aves que foram suplementadas com a FQ não tiveram diferença estatística entre os níveis de Zn, Cu e Mn para essa variável.

Diante dos valores encontrados, acredita-se que o efeito na largura do vilo duodenal pode ter ocorrido em função de dois fatores, o primeiro foi a presença da MHA-Ca com a FS+NR pode ter beneficiado os resultados dessa fonte de suplementação devido as características químicas da metionina, resultando em largura superior à das aves com suplementação com fonte quelatada, mas sem diferença estatística; o segundo fator foi o aumento dos níveis de suplementação do microminerais que devido a sua dissociação no lúmen intestinal podem ter reduzido a absorção dos nutrientes como um todo e assim ter causado uma atrofia sobre a morfologia típica da estrutura, reduzindo a função das células presentes no vilo e por consequência, pode influenciar de maneira negativa o desempenho das aves durante a produção. Pois, uma vez dissociado, o metal ionizado se une a outros nutrientes da dieta, reduzindo a absorção tanto do nutriente como do próprio mineral (RIJSSELAERE e BRUNEEL, 2018).

Tabela 11- Efeito da interação das fontes e níveis de zinco, cobre e manganês sobre a profundidade de cripta do duodeno de poedeiras leves com 54 semanas de idade

Fontes x Níveis	32/8/32 Zn/Cu/Mn	64/16/64 Zn/Cu/Mn
Sulfato	106,00aA	76,83B
Quelato	68,32b	83,98

<sup>a,b</sup>Médias dos tratamentos seguidas por letras maiúsculas distintas (nas colunas) e por letras minúsculas (nas linhas) diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%).

Em relação a profundidade de cripta no duodeno foi considerado dois possíveis fatores para o efeito encontrado, o primeiro é a presença de agentes tróficos e o segundo, a possibilidade de ter ocorrido uma taxa de renovação celular epitelial maior nas aves suplementadas com FS+NR, tendo em vista que as aves nesse tratamento tiveram as maiores larguras de vilo também. De acordo com Guerra (2018), é na cripta que se encontram as células regenerativas, responsáveis pela proliferação celular. O mesmo autor diz que a metionina aumenta a quantidade de células caliciformes, que por sua vez, produzem mucina, o que viabiliza a absorção facilitada.

Conforme Boleli; Maiorka; Macari (2002) um aumento de cripta é indicativo de maior proliferação celular intestinal, pois 55% da capacidade de proliferação celular intestinal é de responsabilidade das criptas de Lieberhiihn.

Pang e Applegate (2007) utilizando fontes inorgânica e orgânica de cobre na suplementação nas aves não encontraram efeito das fontes, mas sim do próprio mineral. São poucos os trabalhos que enfocam a morfologia intestinal com a suplementação dos microminerais, mas o que se tem de certo até o momento é que o zinco é absorvido em toda a extensão do intestino delgado e em pequenas porções no estômago, sendo o micromineral mais abundante no meio intracelular (CONSOLO, 2008); já absorção do cobre, a maior parte ocorre na mucosa do duodeno, região do intestino que apresenta menor pH, proporcionando ao mineral maior grau de solubilidade (MAIORKA e MACARI, 2002); a absorção do manganês ocorre em toda a extensão do intestino delgado. Em todas as espécies ela é relativamente baixa, aproximadamente 4%, e é influenciada pela presença de outros minerais especialmente, cálcio, fósforo e ferro (SCOTTÁ *et al.*, 2014).

Os dados referentes a quantificação dos minerais (Ca, P, Zn, Cu e Mn) na casca do ovo, gema, fígado e excretas estão na Tabela 12.

Houve efeito significativo da fonte sobre o conteúdo do fósforo e cobre na casca do ovo ( $P < 0,0249$ ), e os níveis de suplementação tiveram efeito sobre o conteúdo do fósforo na casca

( $P < 0,0234$ ) e a quantidade de Zn ( $P < 0,0381$ ), Cu ( $P < 0,0536$ ) e Mn ( $P < 0,0086$ ) na excreta das aves com 54 semanas de idade.

Não houve efeito das fontes ( $P > 0,05$ ) sobre a quantidade de nenhum dos minerais avaliados na gema, fígado e excretas. Não ocorreu significância dos níveis de suplementação ( $P > 0,05$ ) sobre os minerais avaliados na casca (Ca, Zn, Cu e Mn), na gema, no fígado e nas excretas (Ca e P). Não houve efeito de interação das fontes e níveis para a concentração de Ca, P, Zn, Cu e Mn na casca, gema, fígado e excretas, exceto para a quantidade de fósforo na casca (Tabela 13) e de cobre na casca do ovo (Tabela 14).

As aves que fizeram uso da FS apresentaram maior concentração de fósforo na casca dos ovos quando comparadas as aves suplementadas com a FQ. Acredita-se que a presença da fitase nas rações possa ter proporcionado a FS tais resultados, e também a relação Ca:P, pois a FS teve menor quantidade de Ca e maior quantidade de P na casca, enquanto a FQ foi o inverso. É importante ressaltar que a adição de fitase nas dietas avaliadas foi calculada para que não interferisse nos resultados, assim evitaria que a molécula do ácido fítico não se ligasse ao cálcio, zinco e/ou cobre, formando precipitados insolúveis.

Clunies, Parks e Leeson (1992) estudaram o metabolismo do cálcio e fósforo e o seu comportamento na casca do ovo em dois momentos – no dia em que ocorre a formação da casca do ovo e no dia em que não ocorre a formação da casca do ovo. Os autores constataram que o Ca e P presentes no animal são utilizados em momentos diferentes pelas poedeiras – nos dias de formação da casca ocorreu uma redução significativa na retenção do P, enquanto nos dias em que não ocorre a formação da casca gera-se retenção do Ca, sugerindo que as aves estariam fazendo a renovação da reserva mineral do osso nesse momento. Neste estudo a FS obteve maior produção de ovo e maior concentração de P na casca, levando-se a admitir concordância com os autores supracitados, pois parte do P metabólico estaria sendo utilizado durante a formação da casca, melhorando sua qualidade mineral.

Em relação aos efeitos da suplementação dos minerais através dos níveis do Zn, Cu e Mn sobre a casca e as excretas, têm-se que o NR resultou em maior concentração de fósforo na casca e à medida que os níveis de Zn, Cu e Mn a concentração de fósforo na casca reduziu 23%, possivelmente em decorrência de alguma ação antagônica entre os minerais. Já nas excretas as aves que fizeram uso do NR de suplementação apresentaram melhores resultados de concentração mineral que o NS, pois Zn, Cu e Mn aumentaram suas concentrações nas excretas em 19,4%; 38,0%; 32,6%, respectivamente, tornando-os potenciais poluentes ao meio ambiente.

Tabela 12 - Efeito das fontes e níveis de minerais sob a deposição da casca, gema, fígado e excreta d de poedeiras leves com 54ª semana de idade das aves (continua...)

Efeitos	Variáveis	Casca					Gema				
	Minerais	Ca	P	Zn	Cu	Mn	Ca	P	Zn	Cu	Mn
<b>Fontes</b>	Sulfato	215,97	2,22a	20,81	5,47	3,50	4,09	1,94	86,60	5,67	2,58
	Quelato	229,19	1,71b	18,14	4,50	4,73	4,49	1,92	95,26	6,71	3,01
<i>P</i>		0,4201	0,0249	0,0672	0,3032	0,4271	0,1241	0,4765	0,8937	0,8585	0,8651
<i>CV (%)</i>		7,50	20,73	35,66	36,48	22,45	10,39	8,03	7,35	46,83	15,53
<b>Níveis</b>	32/8/32	214,67	2,22a	18,34	5,70	3,63	4,38	1,91	91,90	5,99	2,68
	Zn/Cu/Mn 64/16/64	230,48	1,71b	20,61	4,28	4,61	4,20	1,94	91,95	6,36	2,91
<i>P</i>		0,3655	0,0234	0,5269	0,1251	0,3177	0,4154	0,3548	0,6661	0,9667	0,9220
<i>CV (%)</i>		7,20	20,64	35,87	34,78	24,42	11,29	7,98	8,31	47,61	16,96
<b>Fontes x Níveis</b>											
<i>P</i>		0,7615	<,0001	0,1198	0,0040	0,0662	0,2718	0,4079	0,6463	0,9727	0,6578

g/kg: Ca e P; mg/kg: Zn, Cu e Mn.

<sup>a,b</sup>Médias seguidas por letras distintas (nas linhas) diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%).

Tabela 12 - Efeito das fontes e níveis de minerais...continuação

Efeitos	Variáveis	Fígado					Excretas				
	Minerais	Ca	P	Zn	Cu	Mn	Ca	P	Zn	Cu	Mn
<b>Fontes</b>	Sulfato	0,39	2,92	45,94	8,24	4,26	119,79	5,55	314,67	38,49	173,99
	Quelato	0,25	2,69	44,87	5,35	4,39	140,04	5,18	351,31	66,33	217,80
<i>P</i>		0,2147	0,7291	0,7412	0,4634	0,7327	0,2504	0,3127	0,8965	0,4116	0,5430
<i>CV (%)</i>		85,24	14,31	18,33	37,83	17,98	19,82	19,26	21,15	42,47	30,66
<b>Níveis</b>	32/8/32	0,39	2,86	46,19	6,83	4,41	127,12	5,52	297,30b	40,12	157,79b
	Zn/Cu/Mn 64/16/64	0,25	2,76	44,62	6,75	4,24	132,71	5,21	368,68a	64,70	234,00a
<i>P</i>		0,2120	0,5979	0,7674	0,9099	0,6781	0,4046	0,2973	0,6417 (0,0381)	0,3496	0,3117 (0,0086)
<i>CV (%)</i>		85,082	14,81	18,28	44,15	17,95	21,38	19,36	18,73	44,51	25,50
<b>Fontes x Níveis</b>											
<i>P</i>		0,3165	0,4796	0,6701	0,9196	0,0865	0,4548	0,2007	0,8122	0,0685	0,9631

g/kg: Ca e P; mg/kg: Zn, Cu e Mn.

<sup>a,b</sup>Médias seguidas por letras distintas (nas linhas) diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%).

Pekel e Alp (2011) relataram uma concentração de Cu quatro vezes maior nas excretas das aves alimentadas com o sulfato de Cu e Cu-lisina quando comparadas à dieta controle, que continha 11 mg/kg de ração advindos do milho da dieta. Miranda (2013) também constatou menor excreção de Cu pelas poedeiras alimentadas com dieta sem suplementação de minerais, quando comparada às alimentadas com Inorgânico, Org-100% e Org-75%.

Tais resultados são indicação clara do aumento da biodisponibilidade do Zn, Cu e Mn na FS, os quais provavelmente promoveram maior atividade enzimática, bem como, maior retenção do Ca, P, Zn, Cu e Mn e menor excreção dos microminerais.

A interação entre as fontes e os níveis de suplementação quanto a quantidade de fósforo presente na casca do ovo resultou diferença entre as fontes e entre os níveis testados, sendo a FQ+NS o tratamento com menor concentração de fósforo na casca quando comparado aos demais.

Tabela 13 – Efeito da interação entre as fontes e os níveis de zinco, cobre e manganês sobre a quantidade de fósforo presente na casca do ovo de poedeiras leves com 54 semanas de idade

Fontes x Níveis	32/8/32	64/16/64
	Zn/Cu/Mn	Zn/Cu/Mn
Sulfato	2,22	2,22a
Quelato	2,23A	1,19bB

<sup>a,b</sup>Médias dos tratamentos seguidas por letras maiúsculas distintas (nas colunas) e por letras minúsculas distintas (nas linhas) diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%).

Estudos diversos apontam que a disponibilidade mineral está relacionada a fatores relacionados ao animal (espécie, sexo, idade, estado fisiológico, saúde e resposta individual), à composição da dieta (consumo de minerais, relação entre os minerais, níveis de vitamina, proteínas, fibra, gordura e níveis de fitato), à fonte mineral (granulometria, concentração de outros minerais, cristalinidade, processos de produção, técnicas físico-químicas aplicadas, fonte da matéria prima, presença de ânions e cátions) e ao tratamento da ração (peletização ou extrusão) (NYS, 1999; KLEYN, 2013; STEFANELLO *et al.*, 2014; SILVA e PASCOAL, 2014). Diante de tantas possibilidades de interferência na disponibilidade do mineral, não é possível definir qual foi o fator determinante para o efeito de interação na concentração de fósforo na casca do ovo.

Com relação a interação entre as fontes e os níveis de suplementação sobre a quantidade de cobre presente na casca do ovo, também resultou diferença entre as fontes e entre os níveis testados, sendo a FQ+NS o tratamento com menor concentração de cobre na casca e a FQ+NR o de maior concentração quando comparado entre os tratamentos testados.

Tabela 14 – Efeito da interação entre as fontes e nos níveis de zinco, cobre e manganês sobre o a quantidade de cobre presente na casca do ovo de poedeiras leves com 54 semanas de idade

<b>Fontes x Níveis</b>	32/8/32 Zn/Cu/Mn	64/16/64 Zn/Cu/Mn
Sulfato	5,03	5,92a
Quelato	6,36A	2,64bB

<sup>a,b</sup>Médias dos tratamentos seguidas por letras maiúsculas distintas (nas colunas) e por letras minúsculas distintas (nas linhas) diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%).

De acordo com os dados de interação, as aves que fizeram uso da FS tiveram uma concentração de cobre na casca sem grandes oscilações quando os níveis de suplementação aumentaram, acredita-se que a atividade enzimática nos animais com o uso dessa fonte foi mais dinâmica permitindo que as aves fizessem uso biológico melhor dos minerais fornecidos na dieta, possibilitando a maior deposição do cobre na casca dos ovos de poedeiras leves na 54<sup>a</sup> semana de idade. É importante ressaltar que as aves faziam uso dessa dieta desde o primeiro dia e isso pode ter contribuído para alguma mudança na morfologia do sistema digestório e/ou reprodutivo.

O cobre é encontrado em grandes concentrações no istmo das galinhas (RUTZ *et al.*, 2005); integra enzimas como a citocromo oxidase (participa da fosforilação oxidativa) (LEESON, 2009), lisil oxidase (participa da formação do colágeno presente na membrana da casca do ovo (ŚWIĄTKIEWICZ, ARCZEWSKA-WŁOSEK e JÓZEFIAK, 2014); participa da formação de cristais calcitas, assim como o zinco e o manganês (STEFANELLO *et al.*, 2014); e tem interações antagônicas com o Ca e o Zn, e sinérgicas com as vitaminas D, B1, B12 e o selênio (SILVA e PASCOAL, 2014).

Conforme Richards (1997) existem duas maneiras do microminerais serem depositados no ovo: do ovário para a gema e do oviduto para o albúmen, casca e membranas do ovo. Pereira *et al.* (2018) inferiram que a adição de microminerais (Zn, Cu, Mn, Fe e Se) pode atuar na redução do processo oxidativo por ação antioxidante e melhorar a qualidade da casca, dependendo de sua concentração na ração. Estudos clássicos quanto à utilização de minerais para poedeiras (KIENHOLZ *et al.*, 1961; NABER, 1979) enfatizam que níveis altos de suplementação de zinco, cobre e manganês não necessariamente irão aumentar a composição mineral do ovo/constituintes.

## **CONCLUSÃO**

Com base nos resultados deste estudo, concluiu-se que a fonte e os níveis de Zn, Cu e Mn afetam o desempenho produtivo de poedeiras de 30 a 54 semanas sendo recomendado uso da fonte inorgânica com os menores níveis de inclusão em dietas preparadas com milho e farelo de soja.

## REFERÊNCIAS

- ABD EL-HACK, M.E. et al. Effect of dietary supplementation of organic zinc on laying performance, egg quality and some biochemical parameters of laying hens, **Journal Anim Physiol Anim Nutr (Berl)**, v.102, n.2, p. e542-e549, Abr. 2017.
- BERTECHINI, A.G. Exigências de minerais para aves. In: **Nutrição de não ruminantes**, Sakomura et al., Jaboticabal:Funep, 2014, 678p.
- BOLELI, I.C. MAIORKA, A. MACARI, M. **Estrutura funcional do trato digestório**. In: MACARI, M.; FURLAN, R.L.; GONZALES, E., editores. *Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte*. Jaboticabal: Funep; 2002. p.75-95.
- CARD, L.E.; NESHEIM, N.C. *Poultry Production*, 1 lth ed. Philadelphia, Lea and Febige, 1972.
- CHIOU, P.W.S.; CHEN, K.L.; YU, B. Toxicity, tissue accumulation and residue in egg and excreta of copper in laying hens. **Anim. Feed Sci. Technol.**, v.67, p.49-60, 1997.
- CLUNIES, M.; PARKS, D.; LEESON, S. Calcium and phosphorus metabolism and eggshell thickness in laying hens producing thick or thin shells. **Poultry Science**, n.71, v.3, p.490-498, 1992.
- CONSOLO, L.Z.Z. **Alterações plasmáticas do cobre e do zinco em crianças submetidas à cirurgia cardíaca com circulação extracorpórea**. 116f. Tese (Doutorado em Ciências da saúde) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2008.
- FATHI, M.M. et al. Using scanning electron microscopy to detect the ultrastructural variations in eggshell quality of Fayoumi and Dandarawi chicken breeds. **Int. J. Poult. Sci.** v.6, p.236–241, 2007.
- FAVERO, A. et al. Reproductive performance of Cobb 500 breeder hens fed diets supplemented with zinc, manganese, and copper from inorganic and amino acid-complexed sources. **Journal of Applied Poultry Research**, v.22, n.1, p.80-91, 2013.
- GOFF, J.P. Major advances in our understanding of nutritional influences on bovine health. **Journal of Dairy Science**, v.89, n.4, p.1292-1301, 2006.
- GUERRA, R.R. **Morfologia do sistema digestório de não ruminantes**. In: COSTA, F.G.P. e SILVA, J.H.V. *Produção de não ruminantes*. João Pessoa: UFPB, 2018. p.225-246.
- HAMILTON, R.M.G. Methods and factors that affect the measurement of egg shell quality. **Poultry Science**, Champaign, v.61, p.2002-2039, 1982.
- Instituto Adolfo Lutz (São Paulo). *Métodos físico-químicos para análise de alimentos /coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea - São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008, 1020p.*
- KHATUMKHATUN, A. et al. Comparative effects of inorganic and three forms of organic trace minerals on growth performance, carcass traits, immunity, and profitability of broilers. **Journal of Advanced Veterinary and Animal Research**, v.6, n.1, p.66-73, 2019.
- KIENHOLZ, E.W. et al. Effects of zinc deficiency in the diets of hens. **J. Nutr.**, n.75, p.211-221, 1961.
- KIM, W.K., et al. Effects of Different Bone Preparation Methods (Fresh, Dry, and Fat-Free Dry) on Bone Parameters and the Correlations Between Bone Breaking Strength and the Other Bone Parameters. **Poult. Sci.**, v.83, p.1663–1666, 2004.
- KLEYN, R. **Chicken Nutrition – a guide for nutritionists and poultry professionals**. England:Context, 2013.
- LI, L.L. et al. Effects of dietary Zn-methionine supplementation on the laying performance, egg quality, antioxidant capacity, and serum parameters of laying hens. **Poultry Science**, v.98, n.2, p.923-931, Feb. 2019.
- MAIORKA, A.; MACARI, M. Equilíbrio ácido-básico. In: MACARI, M.; FURLAN, R.L.; 462 GONZALES. *Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte*. 2.ed. Jaboticabal: 463 FUNEP, p.167-173, 2002.
- McCARTNEY, E. Trace mineral in poultry nutrition-1. Sourcing safe minerals organically? **World Poultry**, nv.24, vn.2, p.14-15, 2008.
- MIRANDA, C.C. **Efeito de níveis e de fontes de microminerais na dieta de poedeiras comerciais de 40 a 60 semanas de idade**. (Tese – Zootecnia). Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP, 2013, 82f.
- NABER, E.C. The effect of nutrition on the composition of the egg. **Poult. Sci.**, n.58, p.518-528, 1979.

- NEWSHOLME, P. et al. Glutamine and glutamate as vital metabolites. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v.36, n.2, p.153-163, February, 2003.
- NYS, Y. et al. Avian eggshell mineralization. **Poult. Avian Biol. Res**, v.10, p.143-166. 1999.
- PANG, Y.; APPLGATE, T. J. Effects of dietary copper supplementation and copper source on digesta pH, calcium, zinc, and copper complex size in the gastrointestinal tract of the broiler chicken. **Poultry Science**, v.86, n.3, p.531-537, 2007.
- PARK, S.Y. et al. Effect of storage condition on bone breaking strength and bone ash in laying hens at different stages in production cycles. **Poult. Sci.** v.82, p.1688-1691, 2003.
- PEKEL, A.Y.; MÜJDAT, A.L.P. Effects of different dietary copper sources on laying hen performance and egg yolk cholesterol. **Journal of Applied Poultry Research**, v.20, n.4, p.506-513, 2011.
- PEREIRA, G.C.C. et al. Different trace mineral sources and recommendations in the performance and quality of eggs from Dekalb White layers. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.47, 2018.
- PEREIRA, M.N. Minerais orgânicos em dietas para ruminantes. II Simpósio sobre ingredientes na alimentação animal, Colégio Brasileiro de Nutrição Animal (CBNA), 2002.
- RAMOS, A.H.L.M. et al. Biometria, histologia e morfometria do sistema digestório do cachorro-domato (*Cerdocyon thous*) de vida livre. **Biotemas**. v.24, p.111-119., 2011.
- RICHARDS, M.P. Trace mineral metabolism in the avian embryo. **Poult. Sci.**, v.76, p.152-164, 1997.
- RODRIGUEZ-NAVARRO, A. et al. Influence of the microstructure on the shell strength of eggs laid by hens of different ages. **British Poultry Science**, v.43, p.395-403, 2002.
- RUIZ, J.; LUNAM, C.A. Ultrastructural analysis of the eggshell: contribution of the individual calcified layers and the cuticle to hatchability and egg viability in broiler breeders. **Br. Poult. Sci.** v.41, p.584-592. 2000.
- RUTZ, F. **Proteínas: Digestão e absorção**. In: MACARI, M.; FURLAN, R.L.; GONZALES, E. Fisiologia aviária: aplicada a frangos de corte. Jaboticabal: FUNEP; 2002.p. 375.
- SCOTTÁ, B.A et al. Influência dos minerais quelatados e inorgânicos no metabolismo, desempenho, qualidade da carcaça e da carne de frangos de corte. **PUBVET**. v.8, p.258, 2014.
- Sistema de Análise Estatística [SAS]. (2011). **Guia do usuário SAS / STAT, versão 9.4**. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- STEFANELLO, C. et al. Productive performance, eggshell quality, and eggshell ultrastructure of laying hens fed diets supplemented with organic trace minerals. **World's Poultry Science Journal**, v. 93, p.104-113, 2014.
- ŚWIĄTKIEWICZ, S. et al. Dietary factors improving eggshell quality: an updated review with special emphasis on microelements and feed additives. **Worlds Poult. Sci.J.**, v.71, p.83-94, 2015.
- ŚWIĄTKIEWICZ, S.; ARCZEWSKA-WŁOSEK, A. AND JÓZEFIK, D. The efficacy of organic minerals in poultry nutrition: review and implications of recent studies. **World's Poultry Science Journal**, v.70, p.475-486, 2014.
- TARACHAI, P.; YAMAUCHI, K. Effects of luminal nutrient absorption, intraluminal physical stimulation, and intravenous parenteral alimentation on the recovery responses of duodenal villus morphology following feed withdrawal in chickens. **Poultry Science**, v.79, p.1578-1585. 2000.
- TAVERNARI, F.C. et al., Digestibilidade de cálcio e fósforo de fontes inorgânicas para galinhas poedeiras em diferentes fases de postura. **SIAVS, Anais...**p.116-118, 2019.
- XIAO J.F. et al. Manganese supplementation enhances the synthesis of glycosaminoglycan in eggshell membrane: A strategy to improve eggshell quality in laying hens. **Poult. Sci.**, v.93, p.380-388, 2014.
- ZHANG, Y.N. et al. Effect of dietary supplementation of organic or inorganic manganese on eggshell quality, ultrastructure, and components in laying hens, **Poultry Science**, v.96, n.7, p.2184-2193, Jul. 2017.
- ZHANG, Y.N. et al. Dietary manganese supplementation affects mammillary knobs of eggshell ultrastructure in laying hens, **Poultry Science**, v.97, n.4, p.1253-1262, 1 Apr. 2018.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A suplementação de microminerais desempenha um papel indispensável para as aves manterem a saúde, o desempenho, a produção e a qualidade dos ovos, logo ter o conhecimento prévio da composição do alimento e da fonte mineral a serem utilizados na dieta das aves permite reduzir as ações antagônicas dos microminerais com outros constituintes presente na ração, principalmente no lúmen intestinal. Assim espera-se que ocorra maior biodisponibilidade dos microminerais/nutrientes, resultando em melhor desempenho do animal suplementado corretamente.

Em resumo, tanto os minerais inorgânicos (fonte sulfato) quanto os minerais orgânicos (mineral metionina hidroxí análoga) apresentaram limitações nesta pesquisa, mas ambas as opções permitem que os produtores determinem estratégias de suplementação para melhorar a composição de suas dietas e aumentar o número de ovos sem defeitos de casca ou melhora sua qualidade.

Avaliar outros parâmetros além do desempenho das poedeiras e a qualidade dos ovos permitiu trazer respostas que podem direcionar novos caminhos para nutrição de aves, principalmente para as fases que antecedem a postura, como por exemplo, o desenvolvimento das estruturas morfológicas do sistema reprodutor e a não utilização de margem de segurança na suplementação, aqui bem identificados como bons resultados. Acredita-se que a importância do ambiente poderá se sobressair da produção alimentícia em dias vindouros próximos.

É importante ressaltar que os resultados aqui apresentados não têm a tentativa de induzir ou simplesmente apontar a melhor fonte de microminerais para a suplementação de poedeiras comerciais. Como foi visto, a variabilidade dos resultados quanto ao tipo de fonte para a suplementação mineral utilizada deve ser levada em consideração, ao se fazer pré-julgamentos. Acredita-se que essa variedade de resultados se dá devido às condições no intestino dos animais que são muito complexas e variáveis ao longo do tempo e localização, como também o grau de pureza mineral da fonte testada.

Como desafio futuro é pertinente integrar os conhecimentos da nutrição com os sistemas de produção, bem-estar animal e ambiental para assegurar as características ideais para animal-produtor-consumidor ao desenvolver novas ferramentas nutricionais para poedeiras e estimular o desenvolvimento e divulgação de pesquisas nas fases que antecedem a postura, tendo em vista a importância dessas fases para o sucesso da produção de ovos e a carência de literatura sobre elas.

A inserção da MHA-Ca em substituição a DL-metionina pode ter contribuído positivamente para com os resultados do sulfato de zinco, cobre e manganês, bem como a utilização da enzima fitase. Dessa forma, sugere-se que pesquisas futuras explorem esse contexto para se confirmar tais evidências.