

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
CURSO DE ZOOTECNIA

RAQUEL MEDEIROS HORN

MICROMINERAIS PARA MATRIZES DE FRANGO DE CORTE

Porto Alegre

2021

RAQUEL MEDEIROS HORN

MICROMINERAIS PARA MATRIZES DE FRANGO DE CORTE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharela em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Luiz Vieira

Porto Alegre

2021

RAQUEL MEDEIROS HORN

MICROMINERAIS PARA MATRIZES DE FRANGO DE CORTE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Zootecnia.

Data de aprovação: 03/12/2021

Prof. Dr. Sergio Luiz Vieira

Orientador – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof^ª. Dr^ª. Catarina Stefanello

Membro da Banca – Universidade Federal de Santa Maria

Médico Veterinário Vladimir Fay da Silva

Membro da Banca – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais Marcelo Ferreira Horn e Neide Medeiros Horn que não mediram esforços e fizeram tudo o que estava ao seu alcance para que eu completasse meu ciclo acadêmico.

Aos meus avós, João Carlos Medeiros e Mercedes Medeiros pelos puxões de orelha e incentivo ao estudo.

Aos meus tios Luiz Carlos e Maria Helena pela companhia durante as viagens para a capital.

A minha avó Neila Rêgo Ferreira Horn que mesmo não estando mais aqui, serviu de inspiração para que eu completasse essa caminhada.

Ao meu companheiro e parceiro Douglas Drebes que me apoiou em cada fase e me deu forças nos momentos mais difíceis.

A todos os meus colegas de graduação que pude construir uma amizade: Caroline Moreira, Gabriel Martins, Pablo Ibaíro, Tainá Bartmann, Walter Altevogt e Yuri Junqueira, que tornaram esta caminhada mais leve e divertida.

Ao meu amigo e colega de aviário Thiago Noetzold por todos ensinamentos e paciência.

Ao Professor Sergio Luiz Vieira pelos ensinamentos que me permitiram evoluir como aluna e como profissional.

RESUMO

Os microminerais como cobre, zinco, iodo, selênio, ferro e manganês são os considerados mais importantes para a nutrição das aves por serem essenciais no metabolismo devido as funções que desempenham. As suas principais funções destes microminerais são atuações como cofatores enzimáticos, no funcionamento de proteínas reativas e na respiração celular, participação no ciclo de Krebs, funções reprodutivas, regulação hormonal, desenvolvimento ósseo e embrionário. O excesso ou a deficiência destes microminerais podem afetar a produção das aves, em que durante o excesso, podem existir sintomas de intoxicação, aumento no custo da ração e maior excreção desses elementos no meio ambiente. Já durante a deficiência, sinais clínicos de privação podem ser observados, como queda da produtividade e animais debilitados. Manuais de empresas de genética, empresas de nutrição animal e as tabelas de composição nutricional e exigências nutricionais trazem diferentes recomendações para a suplementação destes microminerais em rações para aves. O objetivo desse trabalho foi realizar uma revisão de literatura para trazer informações necessárias para que se tenha o entendimento da importância da correta suplementação dos microminerais cobre, zinco, manganês e ferro, assim como, comparar as recomendações e exigências encontradas na literatura.

Palavras-chave: Microminerais. Exigências. Matrizes pesadas.

ABSTRACT

Trace minerals copper, zinc, iodine, selenium, iron and manganese are considered the most important for poultry nutrition as they are essential in the metabolism due to the functions they perform. Their main functions of these microminerals are acting as enzymatic cofactors, in the functioning of reactive proteins and in cell respiration, participation in the Krebs cycle, reproductive functions, hormonal regulation, bone and embryonic development. The excess or deficiency of these microminerals can affect the production of birds, in which during the excess, there may be symptoms of intoxication, an increase in the cost of the feed and greater excretion of these elements in the environment. During the deficiency, clinical signs of deprivation can be observed, such as decreased productivity and weakened animals. Manuals from genetics companies, animal nutrition companies and the nutritional composition and nutritional requirements tables provide different recommendations for the supplementation of these microminerals in poultry feed. The objective of this work was to carry out a literature review to bring the necessary information to understand the importance of correct supplementation of the microminerals copper, zinc, manganese and iron, as well as to compare the recommendations and requirements found in the literature.

Keywords: Trace minerals. Requirements. Broiler breeder hens.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparação das recomendações encontradas na literatura para a suplementação de Cu	16
Gráfico 2 – Comparação das recomendações encontradas na literatura para a suplementação de Fe	22
Gráfico 3 – Comparação das recomendações encontradas na literatura para a suplementação de Mn	27
Gráfico 4 – Comparação das recomendações encontradas na literatura para a suplementação de Zn	32

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AC	Anidrase carbônica
Ag	Prata
ALP	Fosfatase alcalina
BL	Broken line
BLQ	Broken line quadrática
Ca	Cálcio
Cd	Cádmio
Cl	Cloro
Co	Cobalto
CO₂	Dióxido de carbono
Cr	Cromo
CTR1	Proteína transportadora de cobre
Cu	Cobre
DMT1	Proteína transportadora de metal divalente
E2	Estradiol
EA	Exponencial assintótica
ECA	Enzima conversora de angiotensina
F	Flúor
Fe	Ferro
Fe²⁺	Ferro ferroso
Fe³⁺	Ferro férrico
FSH	Hormônio folículo estimulante
GnRH-I	Hormônio liberador de gonadotrofina – 1
H₂O₂	Peróxido de hidrogênio
Hb	Hemoglobina
Hg	Mercúrio
Ht	Hematócrito
I	Iodo
K	Potássio
LH	Hormônio luteinizante
Mb	Mioglobina
Mg	Magnésio

Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
Na	Sódio
O₂	Oxigênio
P	Fósforo
P4	Progesterona
PRL	Prolactina
QP	Quadrática polinomial
S	Enxofre
Se	Selênio
SOD	Superóxido dismutase
Tf	Transferrina
TGI	Trato gastrointestinal
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DA LITERATURA	12
2.1 COBRE	12
2.2 FERRO	16
2.3 MANGANÊS	22
2.4 ZINCO	27
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

Os minerais desempenham quatro grandes funções em animais: a) estrutural: componentes de órgãos e tecidos do corpo, estabilidade estrutural às moléculas e membranas; b) fisiológico: manutenção da pressão osmótica, equilíbrio ácido-base, permeabilidade da membrana e transmissão de impulsos nervosos; c) catalítico: catalisadores em sistemas enzimáticos e endócrinos; d) regulatório: regulam a replicação celular e diferenciação, transdução de sinal e transcrição do gene.

Podem ser classificados em macrominerais e microminerais (oligoelementos ou minerais traço), de acordo com sua proporção no organismo animal e as exigências nutricionais. Os macrominerais podem ser encontrados em maior quantidade no organismo animal e suas exigências são expressas em porcentagem. Geralmente, os macrominerais de maior importância para os animais e suas respectivas proporções no organismo são: cálcio (Ca - 1,33%), fósforo (P - 0,74%), potássio (K - 0,19%), sódio (Na - 0,16%), enxofre (S - 0,15%), cloro (Cl - 0,11%) e magnésio (Mg - 0,04%). O Ca e o P representam 46% e 29% de todos os minerais no organismo, respectivamente. Os outros macrominerais correspondem a cerca de 24,7% do total de minerais (GONZÁLEZ; SILVA, 2019).

Já os microminerais, apresentam concentrações bem menores (0,3% do total mineral) e suas exigências nutricionais são expressas em partes por milhão (ppm). Entre os microminerais podemos citar: cobre (Cu), zinco (Zn), iodo (I), selênio (Se), ferro (Fe), cobalto (Co), manganês (Mn), molibdênio (Mo), flúor (F) e cromo (Cr) (GONZÁLEZ; SILVA, 2019), os quais apesar de se serem encontrados nos organismos vivos em baixas concentrações, são essenciais no metabolismo devido as suas propriedades. Segundo Suttle e Underwood (2010),

Nas galinhas, a maior quantidade de microminerais é depositada na gema, e uma quantidade menor no albúmen (VIEIRA, 2007). Os microminerais são essenciais para o correto crescimento e desenvolvimento dos embriões, sendo que a concentração depositada no ovo é influenciada pela forma química e os níveis dietéticos (NABER, 1979). Por meio da vitelogenina é possível transferir os minerais para a gema do ovo, pois essa lipoglicoproteína é produzida no fígado em resposta aos estrógenos ovarianos e é transportada via corrente sanguínea ao ovário, onde é segmentada em fosvitina e lipovitelina, carreadoras de minerais (MATSUBARA; SAWANO, 1995).

Na produção de matrizes pesadas é necessária a produção de ovos qualitativamente superiores que resultaram em pintos potencialmente mais produtivos. Portanto, a nutrição e aporte de nutrientes correto para as matrizes é de suma importância para a obtenção de melhores

índices produtivos (EBBING, 2016). Entretanto, a determinação das exigências de microminerais para reprodutoras não tem sido preocupação primária em comparação com outros nutrientes na nutrição. Deste modo, existe uma dificuldade em encontrar material científico sobre a exigência destes microminerais para reprodutoras.

A suplementação de microminerais na indústria é frequentemente realizada de forma errônea, geralmente é adicionado quantidades superiores às exigidas na tentativa de obter um melhor desempenho das aves, uma vez que os microminerais apresentam baixa disponibilidade (GOMES *et al.*, 2009). Segundo Schmidt *et al.* (2005), a falta de conhecimento sobre a real exigência dos microminerais para reprodutoras está gerando o uso inadequado destes nas rações.

Tendo em vista a importância dos microminerais na produção avícola e a carência de informações concretas para as reprodutoras pesadas, o objetivo desta revisão é trazer as informações necessárias para que se tenha o entendimento do valor da correta suplementação, assim como, comparar as recomendações e exigências encontradas na literatura.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 COBRE

O Cu é um metal de transição que em condições normais de temperatura, se encontra no estado sólido e pode sofrer oxidação quando em contato com água e/ou oxigênio. Seu número atômico é 29 e sua massa 63,546 u (ARAÚJO, 2021). É um elemento do subgrupo B do grupo I da tabela periódica, sendo classificado como micromineral pois sua distribuição no tecido e órgãos das aves é na concentração de 60-80 µg (GEORGIEVSKIĬ; ANNENKOV; SAMOKHIN, 1981). Em 1928, o Cu foi exibido pela primeira vez como um elemento essencial para o crescimento e formação de hemoglobina (Hb) e prevenção de distúrbios clínicos (SUTTLE; UNDERWOOD, 2010).

O Cu é absorvido em diferentes locais do trato gastrointestinal (TGI), do estômago até o intestino grosso. Nas aves, a absorção pode ocorrer no proventrículo e/ou no duodeno podendo ser por transporte ativo (baixas concentrações de Cu) ou por difusão simples (altas concentrações de Cu) (DÍAZ *et al.*, 2015; OLIVARES; UAUY, 1996). De acordo com Prohaska (2008), esse micromineral é transportado através da superfície luminal na forma íon cuproso pelo transportador CTR1, também podendo se ligar a proteína transportadora de metal divalente (DMT1). Ainda, a excreção do Cu pode ser executada via biliar, ou eventualmente, via renal sendo ativada após o nascimento.

Outros nutrientes podem afetar a absorção do Cu, assim interferindo na sua disponibilidade e absorção. Os elementos Cu e Mo são fortemente antagonísticos enquanto o Mn, Fe e Zn competem por meios de absorção similares podendo diminuir a absorção do Cu no lúmen intestinal. Os minerais mercúrio (Hg), cádmio (Cd) e prata (Ag) também podem ser considerados antagonistas do Cu (SUTTLE; UNDERWOOD, 2010; VIEIRA, 2008).

Segundo Díaz *et al.* (2015), o Cu é um micromineral fundamental para todos os organismos vivos por estar relacionado a diversas funções biológicas, estando envolvido com o funcionamento de um grande número de enzimas (citocromo C oxidase, hefaestina, ceruloplasmina e Lisil oxidase), cofatores (superóxido dismutase) e proteínas reativas. Para Suttle e Underwood (2010), o envolvimento do Cu nas funções reprodutivas e de desenvolvimento ósseo estão interligadas com o funcionamento destas enzimas. Desta maneira o Cu tem envolvimento em metaloenzimas relacionadas a respiração celular, transporte de Fe, formação de tecido conjuntivo, formação de melanina, formação óssea e de Hb (AL-UBAIDI; SULLIVAN, 1963; WHO, 1996; NITTIS; GITLIN, 2004). A principal função do Cu no ovo está relacionada a estrutura da casca, sobretudo na síntese e manutenção do colágeno da matriz (VIEIRA, 2007).

A citocromo C oxidase é uma enzima dependente de Cu que desempenha processos biológicos no metabolismo energético. Participa da cadeia respiratória mitocondrial realizando a etapa final da transferência de elétrons e catalisa a oxidação do citocromo C (SCHEIBER; MERCER; DRINGEN, 2014). O Cu é fundamental para que a respiração celular tenha seu ciclo completo e a correta produção energética. Em animais que receberam dietas deficientes do micromineral, a enzima citocromo C oxidase pode sofrer diminuição e acarretar na redução dos níveis de respiração mitocondrial (SUTTLE; UNDERWOOD, 2010).

A hefaestina é uma ferroxidase dependente de Cu essencial para o transporte basolateral de Fe dos enterócitos (KUO *et al.*, 2004). Essa enzima retrata ligações essenciais entre a homeostase do Fe e Cu e atua na absorção de Fe da dieta (CHEN *et al.*, 2006). Segundo Grotto (2008), a hefaestina realiza a oxidação do Fe na forma ferrosa (Fe^{2+}) para o Fe na forma férrica (Fe^{3+}). Em animais submetidos a dietas deficientes de Cu, as concentrações de hefaestina em enterócitos diminuem e aumentam as concentrações de Fe (SUTTLE; UNDERWOOD, 2010).

A enzima ceruloplasmina também é uma ferroxidase cobre-dependente, sendo sintetizada no fígado e secretada para o plasma, representando 95% do Cu encontrado no plasma de vertebrados (HARRIS *et al.*, 1995). Desempenha um papel na homeostase do Fe no fígado e vários outros tecidos e participa da redistribuição de Fe do fígado e de outros órgãos internos

(CHEN *et al.*, 2006). Na deficiência de ceruloplasmina, os animais podem desenvolver sobrecarga de Fe no cérebro, fígado, pâncreas e outros tecidos (HARRIS *et al.*, 1995).

De acordo com Koh, Peng e Klasing (1996), existem três tipos de superóxido dismutase (SOD) nos tecidos de mamíferos; Cu/Zn SOD e extracelular SOD são encontradas no citosol e fluido extracelular enquanto a Mn SOD está localizada na matriz mitocondrial. Essa enzima protege as células contra os radicais livres reativos e catalisa a desproporção do radical superóxido em O₂ e H₂O₂. O Cu é um dos cofatores desta enzima antioxidante (BARBOSA *et al.*, 2010). Segundo Medeiros (2016), o decréscimo de Cu/Zn-SOD pode comprometer a integridade óssea, aumentando a fraqueza e diminuindo a densidade mineral óssea, ademais, os osteoblastos e osteoclastos podem diminuir na área de superfície das vértebras lombares de ratos.

Lisil oxidase é uma amina oxidase cobre-dependente que participa da biogênese de matrizes de tecido conjuntivo por reticulação das proteínas da matriz extracelular, colágeno e elastina (LUCERO; KAGAN, 2006; SMITH-MUNGO; KAGAN, 1998). Quando há uma deficiência de Cu, pode ocorrer a diminuição da atividade da lisil oxidase gerando uma falha na produção dos tecidos contendo colágeno e elastina e conseqüentemente resultando na menor resistência à torção do osso da tíbia em pintos (MEDEIROS, 2016). Segundo Berwanger (2018b), a lisil oxidase possui alta atividade no istmo das galinhas e contribui na formação da membrana da casca do ovo, sendo assim, o micromineral Cu possui importância na formação das membranas da casca do ovo, já que a mesma é constituída de colágeno e proteínas.

A distribuição de Cu e sua concentração podem variar entre as espécies, idade e dieta dos animais. Segundo Georgievskii, Annenkov e Samokhin (1981), a maior concentração de Cu das aves está nos músculos, ossos, fígado, pele e penas e, sangue. De acordo com Vieira (2007), o Cu está presente na gema, casca do ovo e membranas correspondentes. Em um estudo, Skřivan, Skřivanová e Marounek (2005), utilizando uma dieta basal com a concentração de 9 ppm de Cu, encontraram 12,9 ppm deste elemento no fígado, 3,32 ppm na gema, 1,33 ppm no albúmen e 2,05 ppm na casca. Entretanto, segundo Kirkpatrick e Coffin (1975), a concentração deste micromineral presente no ovo permanece no intervalo de 0,53 a 4,10 ppm. Yair e Uni (2011) ao estudarem a utilização de diversos minerais pelo embrião até o dia da eclosão, verificaram que a gema foi a responsável pelo maior uso de minerais até os 17 dias de incubação.

Na deficiência do Cu, alguns sinais podem ser observados como o crescimento defeituoso dos ossos, anemia, despigmentação da pele e ruptura da aorta por apresentar a elasticidade das paredes das artérias lesadas. Nas poedeiras reprodutoras deficientes deste

mineral (0,7 - 0,9 ppm), a produção de ovos e a sua eclodibilidade são reduzidas. Além disso, o embrião pode apresentar hemorragias após 72 a 96 horas de incubação e crescimento retardado. Os ovos também podem apresentar deformidades na casca devido à má formação das membranas da casca (BERTECHINI, 2007; SUTTLE; UNDERWOOD, 2010).

No entanto, em relação à intoxicação, não são verificados efeitos tóxicos nas aves. Porém, o NRC (1980) não sugere utilização acima de 500 ppm de Cu na dieta de frangos de corte podendo causar redução do ganho de peso e consumo de ração, além da presença de lesões na mucosa interna da moela (NRC, 1980; SCHMIDT *et al.*, 2005).

A obtenção de Cu na dieta dos animais pode ter diversas fontes. Geralmente, estas fontes apresentam concentrações diferentes entre si e essa variação pode ser em decorrência das concentrações de Cu presente no solo, condições físico-químicas do solo, fertilização da planta e diferenças genéticas nas espécies vegetais utilizadas (AQUILINA, 2016). Segundo Suttle e Underwood (2010), as concentrações de Cu nas fontes vegetais estão entre 1 a 75 mg/ kg, visto que nos cereais, legumes e sementes de oleaginosas o conteúdo é de 5-35 mg/ kg. Na matéria seca, os alimentos de origem animal contêm tipicamente de 5 a 15 mg de Cu/kg. O Cu também pode ser encontrado em fontes mais concentradas na forma inorgânica, como no sulfato de cobre (BAKER; AMMERMAN, 1995), óxido de cobre (75% de Cu) e carbonato de cobre (53% de Cu) (ROSTAGNO *et al.*, 2011) ou na forma de mineral quelatado que condiz a sais minerais ligados a aminoácidos, proteínas ou carboidratos (SAKOMURA *et al.*, 2014).

Ainda não se tem muitos estudos sobre a exigência do micromineral Cu para as reprodutoras pesadas e nem a disponibilidade deste elemento. Em alguns manuais de linhagens podemos encontrar recomendações de suplementação do Cu, porém nenhum se caracteriza como a real exigência do animal (FAVERO *et al.*, 2013; SUTTLE; UNDERWOOD, 2010). Dentre os manuais que podemos citar, estão os das linhagens Cobb 500 SF e Ross 308 AP, as duas linhagens apresentam valores um pouco diferentes entre elas, sendo recomendado de 10 a 15 ppm e 16 ppm de Cu na dieta das matrizes, respectivamente (COBB-VANTRESS, 2018; AVIAGEN, 2021). Na Tabela Brasileira para Aves e Suínos (2017) a recomendação de Cu é aproximadamente de 10 ppm de fonte inorgânica para as matrizes pesadas. O NRC (1994) não fornece valores para suplementação de Cu para reprodutoras.

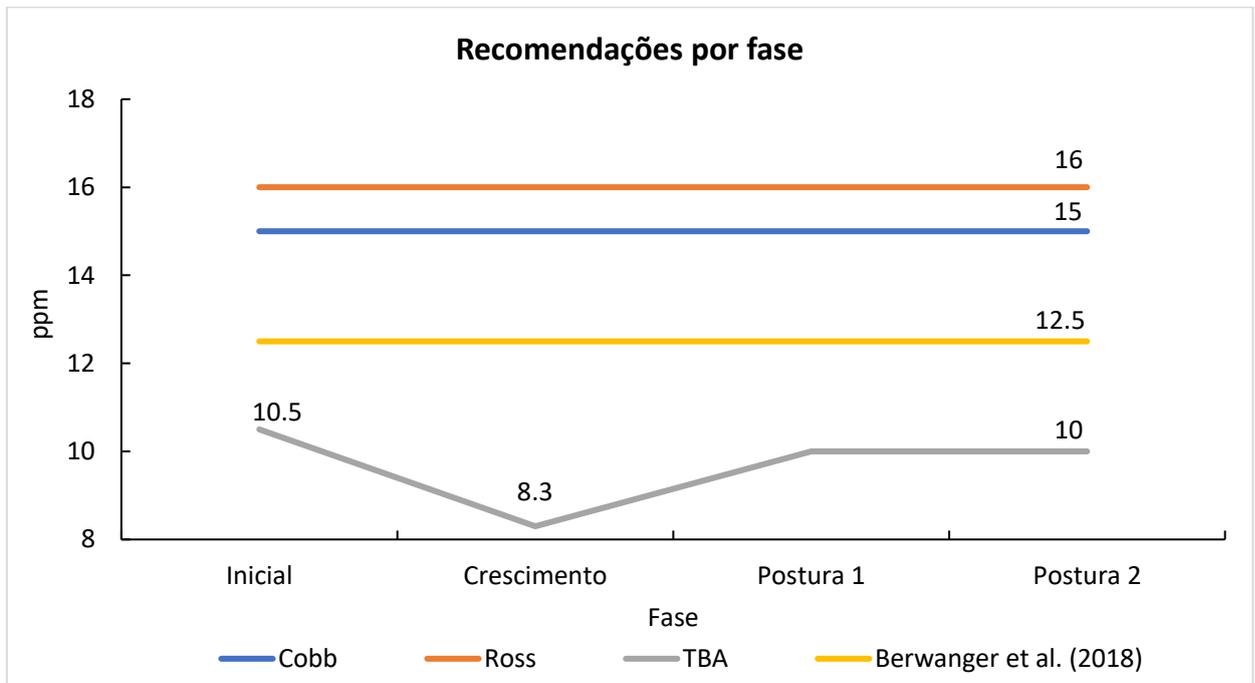
No estudo realizado por Berwanger *et al.* (2018a), as aves foram submetidas a diferentes níveis de suplementação de Cu (0,0; 3,5; 7,0; 10,5; 14; e 17,5 ppm) a partir da fonte sulfato de Cu ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) para estimar a exigência deste micromineral na dieta de matrizes pesadas. Diversas variáveis foram analisadas neste período, dentre elas: produção e peso de ovos, peso e comprimento do pinto ao nascer, porcentagem de gema e albúmen, teor de Cu

presente na gema, Hb e hematócrito (Ht). As estimativas para a exigência de Cu destas variáveis foram realizadas através dos modelos exponencial assintótica (EA), broken line quadrática (BLQ) e quadrática polinomial (QP) e as equações de regressão foram obtidas pelo valor de Cu analisado nas dietas (5,82; 9,38; 12,92; 16,83 e 20,19 ppm). De acordo com a Tabela 1, é possível observar os valores encontrados neste estudo.

Ao final deste estudo, Berwanger *et al.* (2018a) encontraram que os valores considerados como exigência variam entre 6,2 e 16,3 ppm de Cu na dieta dependendo dos objetivos desejados para a produção. Ademais, a média de todas as estimativas para exigências de Cu foi de 12,5 ppm.

No gráfico abaixo é possível verificar as diferenças entre as recomendações presentes nos manuais das linhagens e da exigência encontrada no estudo de Berwanger *et al.* (2018a).

Gráfico 1 – Comparação das recomendações encontradas na literatura para a suplementação de Cu



Fonte: elaborado pela autora (2021).

2.2 FERRO

O Fe é um metal de transição, de número atômico 26 e massa 55,845 u, pertencente ao grupo 8 da tabela periódica (RSC, 2021). O Fe é um elemento essencial para os organismos vivos e necessário para diversos processos metabólicos. O seu teor no organismo representa 0,005% do peso total do animal, sendo assim é classificado como micromineral. Este elemento é amplamente distribuído na natureza e está presente na maioria dos ingredientes utilizados em dietas comerciais de aves (TASCHETTO, 2015). É o oligoelemento mais abundante no corpo

e a sua importância na dieta vem sendo observada a mais de 2 mil anos (SUTTLE; UNDERWOOD, 2010).

A absorção do Fe é regulada através da necessidade do organismo por este micromineral, o mesmo pode ser encontrado nas formas *heme* e *não-heme*, podendo variar a sua absorção conforme o seu estado de oxidação, Fe^{2+} ou Fe^{3+} . Geralmente, em uma dieta normal contendo 15,5 mg em média de Fe, apenas 1 a 2 mg serão absorvidos na forma inorgânica ou na forma *heme* (GROTTO, 2008). Segundo Suttle e Underwood (2010), o Fe é absorvido primeiramente no duodeno através de duas fases, a captação pela mucosa e a transferência para a serosa. Na mucosa, o Fe *heme* e *não-heme* são processados e regulados de formas diferentes. A forma *heme* é absorvida por uma proteína transportadora *heme* (HCP1) e o Fe é liberado no interior celular pela *heme* oxigenase (WEST; OATES, 2008).

De acordo com Grotto (2008), o *heme* liga-se à membrana da borda em escova dos enterócitos duodenais e a proteína transportadora atravessa a membrana plasmática, importando o *heme* extracelular, o Fe é liberado da protoporfirina pela *heme* oxigenase no interior celular e, então, podendo ser armazenado na forma de ferritina ou liberado do enterócito para o sangue. O Fe *não-heme* no estado Fe^{3+} é reduzido na membrana apical e captado pelo transportador de metal divalente (DMT1). A transferência para a serosa é realizada pela hefaestina e pela ferroportina na membrana basolateral (GARRICK *et al.*, 2003; SUTTLE; UNDERWOOD, 2010). Para que a homeostase do Fe seja mantida, a sua excreção pode ser realizada de via urinária ou fecal (SUTTLE; UNDERWOOD, 2010). Além do mais, o Fe pode ser reutilizado através da fagocitose das hemácias senescentes, em que o Fe^{2+} estocado no macrófago na forma de ferritina é oxidado pela ceruloplasmina para a forma Fe^{3+} . Em seguida, o mineral é transportado pela transferrina (Tf) até os locais de reutilização (medula óssea) (GROTTO, 2008).

Segundo Ebbing (2016), é necessária a compreensão da interação entre os minerais, uma vez que os metais possuem semelhanças iônicas, as suas reações podem ser afetadas e a sua absorção no organismo pode sofrer alterações. O Fe possui algumas interações com os minerais Cu, Mn e Zn. Existe uma competição por pelo menos duas proteínas de membrana entre o Fe e o Cu, a Tf e a metalotioneína, e quando se tem o excesso de Cu ligado a essas proteínas, pode-se apresentar deficiência de Fe (EL-SHOBAKI; RUMMEL, 1979). Já a relação entre o Mn e o Fe é de competição por mecanismos de absorção similares, em que, quando se há a suplementação de Mn contendo teores de Fe, a ingestão de Fe é diminuída (SANDSTRÖM, 1992). De acordo com Stahl, Greger e Cook (1989), frangos de corte alimentados com excesso

de Zn inorgânico podem apresentar redução da rotatividade do Fe, assim como concentrações menores de Fe e Cu no fígado e pâncreas.

O Fe está relacionado a processos metabólicos e sua função mais importante é o transporte de oxigênio através da Hb e mioglobina (Mb) (LEESON; SUMMERS, 2001). A Hb é uma proteína formada por uma fração proteica (globina) e um grupo prostético (*heme*). Sendo que a molécula *heme* contém quatro átomos de Fe, um no centro de cada um de seus quatro anéis de porfirina. A Hb é encontrada internamente nos eritrócitos carregando oxigênio (O₂) (oxihemoglobina) via sangue arterial e retornando com dióxido de carbono (CO₂) (carboxihemoglobina) via circulação venosa. A Mb é uma porfirina de Fe mais simples e menos abundante encontrada no músculo, sendo capaz de concluir a transferência de O₂ que será utilizado na contração muscular. Este micromineral por possuir a capacidade de mudar o seu estado (Fe²⁺ e Fe³⁺), permite outras hemoproteínas, enzimas *heme* (citocromos a, b e c, catalase e peroxidase) e compostos não-*heme* (flavoenzimas, transferrina, ferritina) (EBBING, 2016; GONZÁLEZ; SILVA, 2019; GROTO, 2008; SUTTLE; UNDERWOOD, 2010).

As porfirinas podem ser identificadas em hemoproteínas como citocromos, catalases, peroxidases e na Mb. Atuam na realização de ligações moleculares entre o O₂ e o grupamento *heme*, auxiliam na transferência de elétrons nos citocromos e na clivagem de peróxidos estruturais das reações de catalases e peroxidases (EBBING, 2016). Segundo Taschetto (2015), o citocromo c é uma proteína presente em uma cadeia de globulina isolada com um grupo *heme* e um átomo de Fe, sendo encontrada em alta quantidade no músculo cardíaco. Ainda, as catalases estão relacionadas na quebra do peróxido de hidrogênio e as peroxidases utilizam os peróxidos orgânicos como substrato.

O Fe desempenha outras funções sem estar ligado as porfirinas. A aconitase é uma enzima que contém um centro ferro-enxofre e age na conversão do ácido cítrico em ácido aconítico no ciclo de Krebs. O Fe presente serve para manter a relação espacial apropriada entre o grupo hidroxila e os íons carbono. As enzimas gliceraldeído-3-fosfato desidrogenases utilizam o NADH como coenzima e reduzem a dihidróxiacetona fosfato em L- α -glicerolfosfato. A *heme* oxigenase é uma enzima microsossomal que catalisa a oxidação de função mista da *heme* usando citocromo P-450, NADPH e oxigênio molecular, produzindo monóxido de carbono, Fe e biliverdina IX- α . A enzima presente no ciclo de Krebs, desidrogenase succínica, possui 4 átomos de Fe não-*heme* e uma riboflavina e detém a capacidade de converter o succinato em fumarato. As enzimas NADH desidrogenase, xantina oxidase e ribonucleotídeo redutase são ferro-dependentes. O Fe também pode atuar como cofator de algumas enzimas, tais como:

triptofano pirrolase e fosfoenol-piruvato carboxiquinase (GROTTO, 2008; WEST; OATES, 2008).

A Tf é uma glicoproteína produzida e secretada pelo fígado responsável por realizar o transporte do Fe no plasma, possui dois sítios homólogos com alta afinidade pelo Fe^{3+} . A Tf, além de solubilizar o Fe, ela facilita a liberação do mineral para as células diminuindo a sua reatividade. Em caso de presença de altos teores de Fe, a Tf tem sua capacidade de ligação saturada, assim o Fe pode circular livremente pelo soro sendo facilmente inserido na célula e causando possível dano celular (GROTTO, 2008). Segundo Klein (2014), a ferroportina é um canal exportador de Fe das células e um receptor da hepcidina, essa relação entre a hepcidina e a ferroportina nivela o teor de Fe nos enterócitos, hepatócitos e macrófagos. A ceruloplasmina é uma enzima que pode funcionar como uma ferroxidase facilitando a transferência de ferro, embora a sua contribuição não seja tão expressiva (SUTTLE; UNDERWOOD, 2010).

Existem duas proteínas carreadoras de Fe de importância nas aves, a fosvitina e a Tf. A fosvitina é responsável de carrear o Fe para o ovário que logo após fará a deposição desse mineral na gema dos ovos. A Tf, já mencionada anteriormente, consegue carrear 65%, podendo chegar a 80%, do Fe sérico quando aves estão no pico de produção. A fosvitina é responsável pelos outros 35% (LOPEZ-BERJES; RECIO; PLANAS, 1981). O Fe também pode influenciar na coloração das cascas dos ovos; a linhagem é um dos fatores que determinam a cor da casca, entretanto os pigmentos estão relacionados à protoporfirina-IX, componente da hemoglobina. As porfirinas geram tons marrons mais intensos e maior resistência à casca, podendo acarretar na melhor qualidade da casca e melhorar a eclodibilidade (EBBING, 2016; GODFREY; JAAP, 1949). No estudo realizado por Ebbing *et al.* (2019), foi observado que os pintos nascidos de ovos marrom-escuros e suplementados com uma fonte de Fe orgânico obtiveram maior ganho de peso corporal.

O micromineral Fe fica armazenado no fígado, baço e medula óssea nas células reticuloendoteliais na forma de ferritina e hemossiderina. A forma solúvel de armazenamento é através da ferritina que é constituída do núcleo férrico da apoferritina, a proteína livre do Fe é capaz de abrigar até 4.500 átomos deste elemento na forma de hidroxifosfato férrico sendo encontrada principalmente no intestino e fígado. Deste modo, a ferritina engloba os átomos de ferro que poderiam se tornar precipitados tóxicos. A hemossiderina corresponde à forma degradada da ferritina, em que a concha proteica foi desintegrada em parte, permitindo que o Fe forme aglomerados. Possui 35% de Fe, principalmente na forma coloidal de hidróxido férrico (GROTTO, 2008; SUTTLE; UNDERWOOD, 2010).

Aproximadamente 60% a 70% do Fe corporal está presente como Hb e Mb na corrente sanguínea (SILVA; MARTINS; BORGES, 2017; SUTTLE; UNDERWOOD, 2010). Ainda, segundo Silva, Martins e Borges (2017), o maior estoque do Fe no corpo seria o fígado (20%), mas também pode ser encontrado no baço, medula óssea e outros tecidos moles. Além do mais, 10% de Fe podem estar fixados na miosina e actinmiosina no músculo. De acordo com Grotto (2008), 3 mg de Fe circulam ligado à Tf, cerca de 30% desta proteína está saturada com este micromineral. Skřivan, Skřivanová e Marounek (2005), ao estudarem a utilização de uma dieta basal com a concentração de 92,8 ppm de Fe, encontraram 145,4 ppm deste mineral no fígado, 116,5 ppm na gema, 3,15 ppm no albúmen e 14,2 ppm na casca. A deposição de Fe no ovo pode se tornar um ponto crítico na produção, sendo este o estoque deste micromineral para o embrião durante seu desenvolvimento, podendo afetar até o desempenho desses animais (TAKO; GLAHN, 2011; TASCHETTO, 2015).

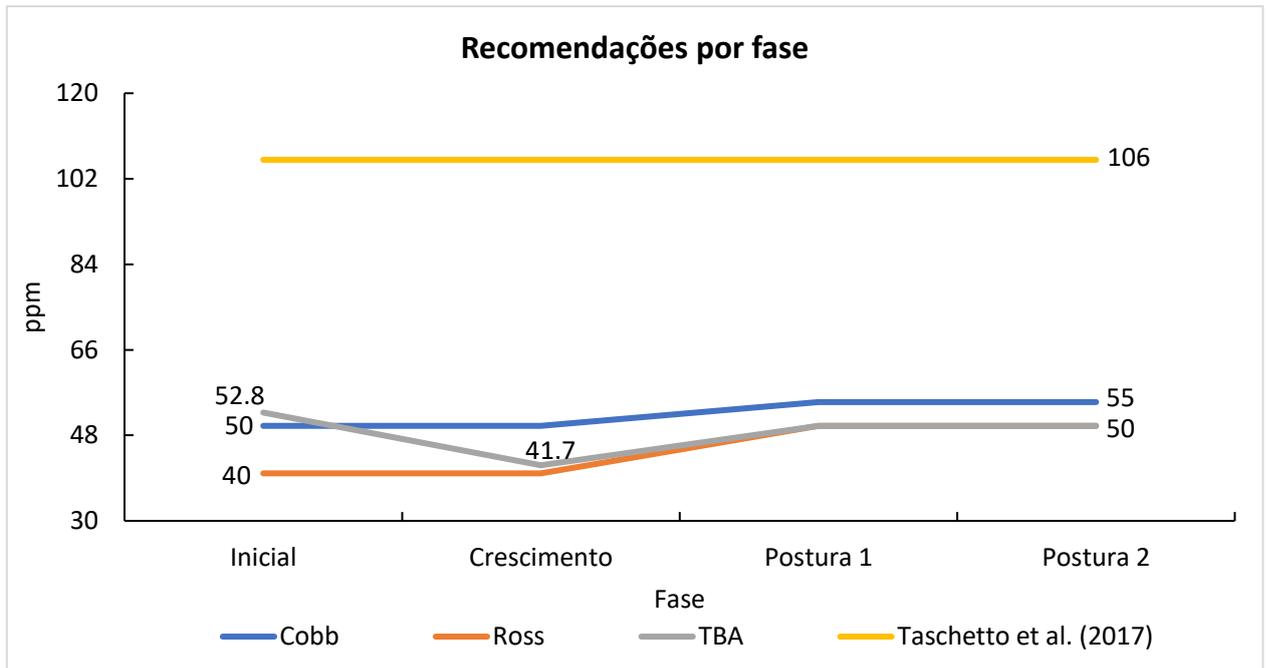
Em animais adultos, não é comum encontrar deficiência de Fe por estes animais apresentarem necessidades reduzidas. Quando se tem uma diminuição prejudicial de Fe no organismo, pode-se verificar severa anemia microcítica hipocrômica, queda no transporte de oxigênio para músculos e cérebro. Há a diminuição na ingestão alimentar e redução no ganho de peso. Além disso, tem-se uma menor resposta do sistema imune ocorrendo maior morbidade e mortalidade (MIRANDA, 2013). No estudo realizado por Morck e Austic (1981), foi verificado diminuição do Ht, Hb, concentração de Fe no ovo e na eclodibilidade de ovos férteis. O excesso de Fe pode acarretar a condição hemocromatose (MIRANDA, 2013). De acordo com Suttle e Underwood (2010), o Fe livre é citotóxico devido ao seu alto potencial de redução-oxidação e capacidade de gerar radicais livres de oxigênio, causando danos peroxidativos quando encontrado em quantidades exacerbadas.

A maioria dos ingredientes utilizados na formulação da dieta dos animais possui grandes concentrações de Fe, podendo variar conforme a espécie de planta, crescimento, região, tipo de solo e outros fatores exógenos (SUTTLE; UNDERWOOD, 2010). Os ingredientes utilizados na dieta das aves possuem uma quantidade significativa de Fe o que contribui com as exigências desses animais. Os ingredientes de origem vegetal possuem uma concentração de Fe entre 60 e 80 mg/kg, sendo que as aves adultas retêm apenas 5% deste valor, já para as poedeiras, a necessidade de Fe pode ser um pouco maior, pois, eliminam de 1 a 1,5 mg em cada ovo produzido (BERTECHINI, 2007). O micromineral Fe também pode ser encontrado em formas mais concentradas, como o nitrato de ferro (34%), óxido de ferro (46-60%), carbonato de ferro (36-42%) e sulfato de ferro (20-30%) (ARAÚJO *et al.*, 2008).

Os estudos sobre a exigência do micromineral Fe para as matrizes de frango de corte ainda são escassos. Os manuais mais comumente utilizados são os das linhagens Cobb 500 SF e Ross 308 AP, sendo recomendado de 40 a 55 ppm e 50 ppm de Fe na dieta das reprodutoras, respectivamente (COBB-VANTRESS, 2018; AVIAGEN, 2021). Na Tabela Brasileira para Aves e Suínos (2017) a sugestão de Fe é aproximadamente de 48 ppm de fonte inorgânica para as matrizes pesadas. O NRC (1994) sugere os valores de 56 e 38 mg para dietas ricas e pobres de energias, respectivamente, para aves em postura.

No estudo realizado por Taschetto *et al.* (2017), as aves receberam uma dieta com diferentes níveis de suplementação de Fe (0, 25, 50, 75, 100 e 125 ppm) a partir da fonte sulfato ferroso (20% de Fe) para estimar a exigência deste micromineral na dieta de matrizes pesadas. Diversas variáveis foram analisadas neste período, dentre elas: qualidade e produção de ovos, ovos incubáveis, Hb e Ht das galinhas e dos pintos e conteúdo de Fe na gema. As variáveis de qualidade e produção de ovos não apresentaram diferenças estatística, portanto, a sua exigência não foi estimada. As estimativas para os requerimentos de Fe das variáveis, que apresentaram diferença estatística, foram realizadas através dos modelos EA, BL e QP e as equações de regressão foram obtidas pelo valor de Fe analisado nas rações (48,6; 74,3; 99,6; 125,6 e 148,2 ppm). Ao final deste experimento, Taschetto *et al.* (2017) encontraram que o valor considerado como exigência de Fe para matrizes pesadas é na média de 106 ppm. A a média dos modelos estatísticos para as variáveis analisadas foi de 107, 113, e 97 ppm para BL, QP e EA, respectivamente. No gráfico 2 é possível observar as diferenças entre as sugestões presentes nos manuais das linhagens e da exigência encontrada no estudo de Taschetto *et al.* (2017).

Gráfico 2 – Comparação das recomendações encontradas na literatura para a suplementação de Fe



Fonte: elaborado pela autora (2021).

2.3 MANGANÊS

O Mn é um metal de transição, de número atômico 25 e massa 54,938 u pertencente ao grupo 7 da tabela periódica (RSC, 2021). É o quinto metal mais abundante na Terra, sendo considerado um elemento importante em relação ao crescimento e fertilidade dos animais de laboratório a partir de 1930. A importância deste micromineral começou a ser observada com o surgimento de duas doenças presentes em aves domésticas e na presença de embriões com esqueletos malformados em aves privadas de Mn na dieta (SUTTLE; UNDERWOOD, 2010).

Existem poucos estudos sobre o modo de absorção do Mn. Acredita-se que sua absorção no TGI seja pobre (LEESON; SUMMERS, 2001). Os dois microminerais, Fe e Mn, possuem processos de transporte semelhantes por apresentarem propriedades físico-químicas similares. Assim, esses elementos competem entre si na absorção intestinal e na absorção pelas células eritróides. A maior parte do Mn presente no plasma sanguíneo está ligado a proteína Tf (CHUA; MORGAN, 1997; DAVIDSSON *et al.*, 1991). O Mn é absorvido ao longo de todo o intestino delgado por um mecanismo de duas etapas envolvendo a absorção inicial do lúmen com subsequente transferência através das células da mucosa para o corpo (OBERLEAS; HARLAND; BOBILYA, 1999).

Este mineral também pode ser transportado do lúmen intestinal para dentro dos enterócitos pela DMT1, localizado nos enterócitos, responsável por transportar o Mn^{2+} . A

expressão da DMT1 em locais como rim e pulmão proporciona para interações entre Mn e Fe (CHUA; MORGAN, 1997; SUTTLE; UNDERWOOD, 2010). Os níveis de expressão gênica da DMT1 são maiores no duodeno, quando comparado ao jejuno e íleo, podendo ser um indicativo de envolvimento desse transportador na regulação da absorção do Mn no intestino delgado proximal (BAI *et al.*, 2012; LIAO *et al.* 2019). Entretanto, alguns estudos encontraram que o Mn pode estar relacionado a uma possível absorção na porção distal do intestino delgado, visto que o íleo foi o principal sítio de absorção do Mn em frangos de corte (JI *et al.*, 2006). De acordo com Oberleas, Harland e Bobilya (1999), o Mn absorvido na forma de Mn^{2+} é oxidado para a forma Mn^{3+} e ligado por uma α -2-macroglobulina, transmanganina, podendo se ligar à transferrina ou permanecer livre. Os tecidos ricos em mitocôndrias absorvem e concentram esse metal. O excesso de Mn pode ser excretado parcialmente via bile (SUTTLE; UNDERWOOD, 2010). Mais de 50% do Mn injetado pode ser removido através das fezes em 24 horas. Quando a via biliar se encontra sobrecarregada, este micromineral pode ser excretado por meio do fluido pancreático, podendo ocorrer em alguns casos uma pequena excreção via urinária (OBERLEAS; HARLAND; BOBILYA, 1999).

Durante a absorção do Mn, este mineral pode reagir com outros elementos e apresentar taxas de absorção reduzidas. Os minerais cálcio (Ca) e fósforo (P), quando suplementados em excesso na dieta, podem estar relacionados com a redução do Mn (VIEIRA, 2008; WEDEKIND; BAKER, 1990). O fitato é um fator antinutricional limitante para a absorção do Mn, o mesmo possui a formação de quelatos altamente insolúveis, assim diminuindo a sua disponibilidade para absorção no TGI (HUMER; SCHWARZ; SCHEDULE, 2014). Como mencionado anteriormente, existe uma relação entre o Fe e o Mn, ambos os microminerais competem pelo mesmo sítio de absorção, sendo que o excesso de Mn afeta a utilização do Fe em pintos, enquanto o efeito contrário não foi observado (BAKER; HALPIN, 1991; CHUA; MORGAN, 1997).

Segundo González e Silva (2019), o Mn participa de diversas funções essenciais para os organismos, atuando como cofator enzimático nas vias relacionadas com síntese de ATP, no ciclo de Krebs, na fosforilação oxidativa e nas reações da fosfatase alcalina e a piruvato oxidase. É ligado a metalo-enzimas que são ativadas por este elemento, como glicosiltransferases, arginase, tiaminase, piruvato carboxilase, enolase, Mn-superóxido dismutase e dipeptidases intestinais (SUTTLE; UNDERWOOD, 2010). Este micromineral é essencial para o desenvolvimento da matriz orgânica óssea, além disso, possui importância para a reprodução e funcionamento normal do sistema nervoso central (BERTECHINI, 2007).

O Mn é um elemento essencial para o desenvolvimento embrionário, crescimento normal do corpo e metabolismo de carboidratos e lipídios. Também exerce a importante função na prevenção de perose e na manutenção da qualidade da casca do ovo (OLGUN, 2016). De acordo com Xie *et al.* (2014), o Mn dietético pode afetar a expressão gênica do hormônio liberador de gonadotrofina – 1 (GnRH-I) no cérebro e do hormônio folículo estimulante (FSH) na hipófise e também apresenta influência na qualidade da casca do ovo.

A enzima piruvato carboxilase é uma metaloproteína de Mn e apresenta 4 mols de Mn^{2+} por cada mol de enzima (OBERLEAS; HARLAND; BOBILYA, 1999). Através desta enzima, o Mn participa no metabolismo de lipídios e carboidratos normais. Durante a privação deste micromineral, ocorre um acúmulo de gordura, porém, esse acúmulo pode ser um sinal de deficiência de biotina, já que possui a piruvato carboxilase também pode ser ativada por esta vitamina. Em ratos alimentados com dietas pobres em Mn, foi observado falhas no metabolismo de lipídios e carboidratos; em porcos-da-índia notou-se a redução de deposição de gordura (SUTTLE; UNDERWOOD, 2010).

Como mencionado anteriormente, a enzima SOD possui o Cu, Mn (Mn^{3+}) e Zn como cofatores. A MnSOD foi primeiramente isolada na matriz mitocondrial do fígado de galinhas. O gene humano para a MnSOD sugere que este seja um gene de "resposta ao estresse", sendo necessário para uma proteção adicional contra o estresse oxidativo associado com respostas inflamatórias a algumas infecções. A privação de Mn pode reduzir a atividade da MnSOD no coração aumentando, assim, o dano peroxidativo causado por altos níveis dietéticos de gorduras poli-insaturadas. Todavia, verificou-se que aumentos compensatórios na CuZnSOD sugerem papéis sobrepostos e possíveis interações entre o Cu dietético e o Mn (DAVIS; WOLF; GREGER, 1992; MALECKI; GREGER, 1996; OBERLEAS; HARLAND; BOBILYA, 1999; CLAIR, 2004; SUTTLE; UNDERWOOD, 2010).

O Mn é um micromineral que se faz necessário para a síntese dos mucopolissacarídeos na cartilagem por meio da ativação da glicosiltransferase (SUTTLE; UNDERWOOD, 2010). Em animais que apresentam deficiência de Mn, a atividade dessa enzima é reduzida e, desse modo, a síntese de glicosaminoglicano e de oligossacarídeo é prejudicada (LEACH JUNIOR; HARRIS, 1997). Em pintos que receberam dietas deficientes de Mn, foi encontrado menor presença de proteoglicanos na cartilagem da placa de crescimento tibial (LIU; HEINRICHS; LEACH JUNIOR, 1994). Nas galinhas poedeiras, a deficiência na síntese de mucopolissacarídeo pode acarretar na produção subnormal de ovos e má formação da casca, além do mais, pode ocorrer redução na hexosamina. Por meio da ativação da enzima

glicosiltransferase, o Mn está envolvido com a formação da glicoproteína, protrombina (HILL; MATHERS, 1968; LONGSTAFF; HILL, 1972).

Este micromineral pode estar associado a ações importantes para a reprodução dos animais (SUTTLE; UNDERWOOD, 2010). Em um estudo realizado por Hidiroglou (1975), foi observado em ovelhas em anestro um possível papel do Mn no corpo lúteo. Segundo Suttle e Underwood (2010) a privação de Mn pode inibir a produção de colesterol e de certos hormônios sexuais, assim, causando infertilidade. Nas aves poedeiras comerciais a deficiência de Mn pode resultar em menor produção de ovos (LEACH; GROSS, 1983). De acordo com Zhang *et al.* (2020), ao observarem os efeitos de diferentes níveis de Mn na dieta sobre as concentrações séricas de alguns hormônios, foi verificado que a suplementação dietética de Mn tem influência no conteúdo de FSH, estradiol (E2), hormônio luteinizante (LH), prolactina (PRL) e progesterona (P4).

Segundo Leeson e Summers (2001), a maior parte do Mn presente no corpo do animal está nos ossos seguido do fígado. Em aves jovens, as maiores concentrações de Mn podem ser encontradas no fígado, rim e ossos (SUTTLE; UNDERWOOD, 2010). No estudo realizado por Yair e Uni (2011), o Mn foi o 5º micromineral com maior concentração na casca (86,7%), ficando atrás do Cu, Fe, Zn e P (95,5, 94,9, 94,2, 93,3%, respectivamente). Este micromineral também está presente na gema, albúmen e casca dos ovos, sendo que neste último a suplementação em poedeiras pode aumentar a resistência da casca e espessura (VIEIRA, 2007; XIAO *et al.*, 2014; ZHANG *et al.*, 2017a).

A deficiência de Mn pode gerar algumas mal formações do esqueleto, crescimento retardado, ataxia em recém-nascidos, infertilidade na fêmea, impotência masculina e anormalidades no metabolismo de lipídeos e carboidratos (OBERLEAS; HARLAND; BOBILYA, 1999). A síndrome de maior importância que acomete aves jovens é a “perose” que se caracteriza pelo alargamento e má formação da articulação tibiometatarsica, com torção e flexão da tíbia, espessamento e encurtamento dos ossos longos acompanhado do escorregamento do tendão gastrocnêmico de seus cêndilos (LEESON; SUMMERS, 2001). Uma dieta deficiente de Mn pode resultar nos embriões de aves uma condição chamada condrodistrofia caracterizada pelo encurtamento e engrossamento das pernas e asas encurtadas (LEESON; SUMMERS, 2001). Segundo Leeson e Summers (2009), a deficiência de Mn pode levar a morte embrionária tardia (18 a 21 dias). O sistema reprodutivo de machos e fêmeas também pode ser afetado na privação deste micromineral (OBERLEAS; HARLAND; BOBILYA, 1999). O Mn tem uma baixa toxicidade quando tomado via oral, porém, quando

ocorre a inalação de poeira com presença deste elemento, existe o aparecimento de uma doença debilitante que se espalha pelo sistema nervoso (OBERLEAS; HARLAND; BOBILYA, 1999).

As dietas a base milho e farelo de soja podem conter em torno 25 ppm de Mn (BERTECHINI, 2007). Entretanto, milho pode conter de 5 a 15 ppm de Mn, enquanto que o farelo de soja pode apresentar 36 a 48 ppm de Mn (SUTTLE; UNDERWOOD, 2010; FAVERO *et al.*, 2013; NOETZOLD, 2020b). Pode-se encontrar 190 e 110 ppm de Mn no farelo de arroz e de trigo respectivamente (SUTTLE; UNDERWOOD, 2010; ROSTAGNO *et al.*, 2017). Outra fonte usual deste micromineral é a inorgânica, podendo ser encontrado na forma de sulfato de manganês (27%) e óxido de manganês (52-62%) (ARAUJO *et al.*, 2008). Ainda, a utilização de minerais complexados com aminoácidos, proteínas ou carboidratos estão tendo maior visibilidade para a dieta de reprodutoras pesadas (FAVERO *et al.*, 2013; SAKOMURA *et al.*, 2014; EBBING *et al.*, 2019).

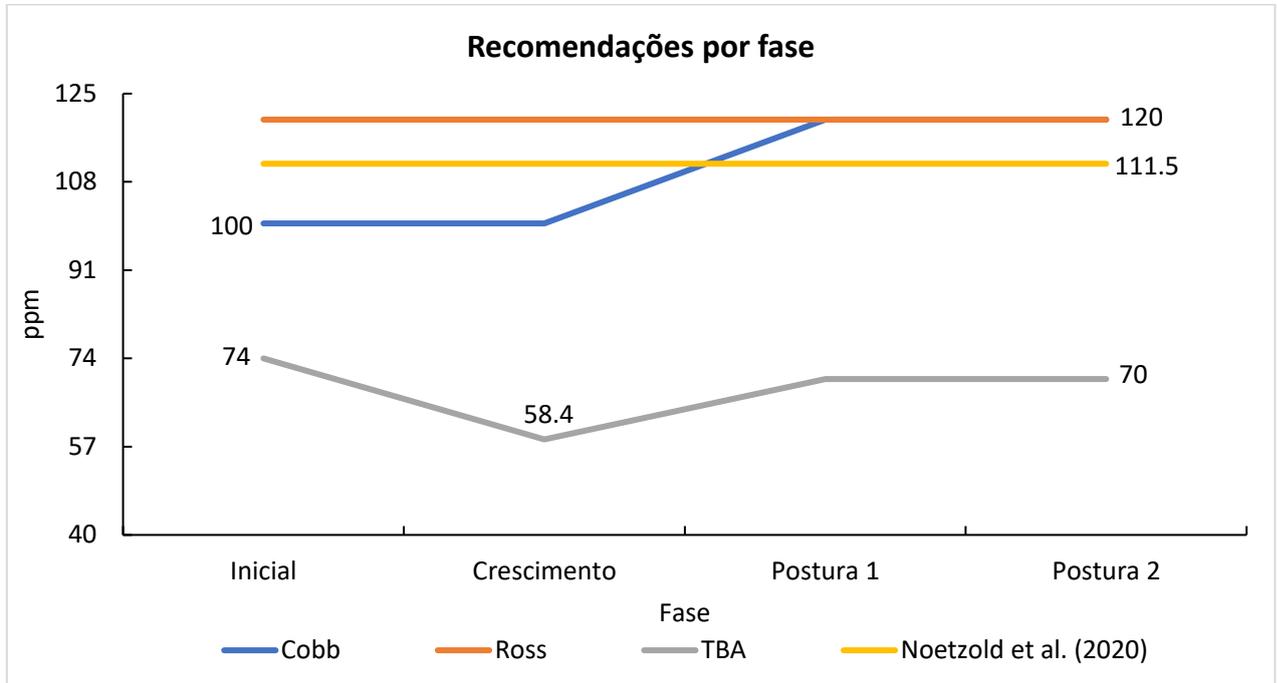
Existem poucos estudos sobre a exigência e disponibilidade do micromineral Mn para as reprodutoras pesadas. Os manuais mais comumente utilizados para determinar o nível utilizado são os das linhagens Cobb 500 SF e Ross 308 AP, sendo recomendado de 100 a 120 ppm e 120 ppm de Mn na dieta das reprodutoras, respectivamente (COBB-VANTRESS, 2018; AVIAGEN, 2021). Na Tabela Brasileira para Aves e Suínos (2017) a sugestão de Mn é aproximadamente de 70 ppm de fonte inorgânica para as matrizes pesadas. O NRC (1994) sugere os valores de 17-25 kg⁻¹ para aves de postura de ovo claro e 33 mg kg⁻¹ para galinhas reprodutoras.

No experimento realizado por Noetzold *et al.* (2020a), as aves foram suplementadas com uma dieta de diferentes níveis de Mn (0, 30, 60, 90, 120 e 150 ppm) a partir da fonte sulfato de Mn (MnSO₄ H₂O) para estimar a exigência deste micromineral na dieta de matrizes pesadas. Diversas variáveis foram analisadas neste período, dentre elas: produção de ovos incubáveis e totais, eclodibilidade, ovos quebrados, defeituosos e contaminados, qualidade de ovos, camadas da casca do ovo etc. As estimativas para os requerimentos de Mn dessas variáveis, que apresentaram diferença estatística, foram realizadas através dos modelos BLQ e QP e as equações de regressão foram obtidas pelo valor de Mn analisado nas rações (22,2; 48,5; 77,9; 103,1; 140,0 e 168,2 ppm).

Ao final deste experimento, Noetzold *et al.* (2020a) encontraram que o valor considerado como exigência de Mn para reprodutoras pesadas é na média de 111,5 ppm. Ademais, a média dos modelos estatísticos para as variáveis analisadas é de 92,4 e 128,4 ppm para BLQ e QP, respectivamente. No gráfico 3 é possível observar as diferenças entre as

sugestões presentes nos manuais das linhagens e da exigência encontrada no estudo de Noetzold *et al.* (2020a) para a suplementação de Mn.

Gráfico 3 – Comparação das recomendações encontradas na literatura para a suplementação de Mn



Fonte: elaborado pela autora (2021).

2.4 ZINCO

O Zn é um micromineral essencial ao organismo, e está incluído na tabela periódica no grupo 2B, com o número atômico 30, massa atômica 65,4 (RSC, 2021). É conhecido como o segundo elemento traço de maior abundância para todos os organismos vivos (KAMBE *et al.*, 2015). Suas principais funções consistem em estruturas que regulam o organismo dos animais, além disso, esse elemento participa diretamente da formação de diversas enzimas que estão distribuídas nos tecidos, agindo principalmente na resposta imune, espermatogênese, ações antioxidativas, síntese proteica, regulação da transcrição do DNA e divisão celular (HENRIQUES; HIRATA; COZZOLINO, 2003; BIOCH *et al.*, 2000).

A absorção desse elemento se dá ao longo de todo intestino delgado, tendo maior absorção no duodeno, onde é absorvido pela membrana celular dos enterócitos por meio de carreadores (UNDERWOOD; SUTTLE; UNDERWOOD, 1999). Ademais, o Zn pode ser absorvido no proventrículo de aves jovens, ocorrendo no lúmen intestinal através das células da mucosa por transporte ativo. Aparentemente, a absorção de Zn se dá por uma proteína de ligação de metal produzida pelo fígado conhecida como metalotioneína, essa enzima pode ser influenciada pelo teor de Zn na dieta ou pela concentração plasmática do mineral, podendo

regular a quantidade de Zn absorvida pelo animal (McDOWELL, 1992). Esta enzima é a principal forma de reserva desse elemento no fígado, sendo capaz de mobilizar imediatamente o Zn durante a necessidade metabólica do animal, ainda, este micromineral é conduzido no plasma e ligado à albumina (COZZOLINO, 2007). Sua excreção é feita principalmente pelas fezes (secreção pancreática, biliar e gastrointestinal) ovo (nas galinhas), podendo ser eliminado em quantidades menores pela urina e pelo leite (GONZÁLEZ; SILVA, 2019). Os microminerais que são secretados no intestino via bile, antes dos seus sítios de absorção, podem sofrer reabsorção, assim a reciclagem resulta no atraso da deficiência desse mineral (SUTTLE; UNDERWOOD, 2010).

O Zn apresenta grandes variações entre os ingredientes utilizados nas dietas de aves e suínos. Diversos componentes das dietas podem reduzir a absorção de Zn para monogástricos, tais como fitatos, oxalato, gorduras saturadas, fibras, Ca e P, tipo de proteínas das dietas, K e Cu (CRUZ; SOARES, 2011; REZENDE, 2016). Os microminerais Fe e Mn são transportados pela mesma proteína que o Zn, a transferrina, desta forma esses minerais podem afetar a absorção um do outro (GARRICK *et al.*, 2003). Normalmente dietas a base de milho e farelo de soja são ricas em fitato, que quelatam esse micromineral e pode torná-lo indisponível para a ave. Segundo Bertechini (2007) quando há altos níveis de Ca e P no TGI, a absorção do Zn pode ser prejudicada, pois há formação de compostos insolúveis. Stahl, Greger e Cook (1989) relatam, em sua pesquisa, que, ao fornecer dietas com excesso de Zn inorgânico (2,000 mg Zn/kg), houve um aumento da proporção desse micromineral nos tecidos. Em consequência disso, houve uma redução da rotatividade de Fe, diminuindo as concentrações de Fe e Cu no fígado e pâncreas e tibia dessas aves.

De acordo com Bertechini (2007) este micromineral atua como cofator e ativador de diversas enzimas, principalmente DNA e RNA polimerases, ou seja, participa diretamente de processos de proliferação celular e síntese de proteínas, apresentando efeitos notórios sobre funções reprodutivas. Esse elemento participa de mais de 300 enzimas com diversas estruturas e funções, além de milhares de proteínas funcionais (COLEMAN, 1992; VALLEE; FALCHUK, 1993). Segundo Zago e Oteiza (2001), o Zn possui um papel antioxidante muito importante no organismo dos animais, protegendo as membranas celulares das oxidações lipídicas. Além disso, o Zn no organismo também desempenha a função de regulação hormonal, pois regula genes envolvidos na transdução de sinais de resposta ao estresse, crescimento e utilização de energia pelos animais (COUSINS *et al.*, 2003). Este micromineral participa de algumas metaloenzimas, tais como: enzima conversora de angiotensina (ECA), fosfolipase A2,

fosfatase alcalina (ALP), anidrase carbônica (AC), carboxipeptidase A, álcool desidrogenase, entre outras enzimas (AULD, 2021).

É considerado fundamental no metabolismo lipídico, pois faz parte do centro catalítico da enzima fosfolipase A2 que é secretada pelo pâncreas. Essa enzima é responsável pela catálise e hidrólise de fosfolipídios da membrana, assim, ocorrendo a liberação de ácidos graxos livres (CHANG; MUSSER; MCGREGOR, 1987). A ALP é uma enzima proteica e a sua composição consiste em cinco resíduos de cisteína, dois átomos de zinco e um átomo de magnésio que são fundamentais para sua função catalítica. Essa enzima participa da clivagem do pirofosfato removendo sua instabilidade na matriz óssea. Ademais, aumenta o fosfato local para que haja a cristalização, sendo fundamental para que aconteça a mineralização óssea (MOSS, 1984).

O Zn também participa na constituição da carboxipeptidase A, uma enzima responsável pela digestão de algumas proteínas e em consequência disso, na deposição proteica para o crescimento do animal (UNDERWOOD; SUTTLE; UNDERWOOD, 1999). Esse micromineral também atua como fator estrutural da Cu-Zn SOD, segundo Alberts, Nadassy e Wodak (1998) os íons de Zn não têm participação direta na reação catalizadora da enzima, mas é muito importante para que ocorra a estabilidade da enzima, sendo categorizado como estrutural. Este elemento também é constituinte da AC, enzima responsável pelo equilíbrio acidobásico, calcificação de ossos e formação da casca do ovo; atuando principalmente na glândula da casca do ovo (KEILIN, D.; MANN, T., 1940; ZHANG *et al.*, 2017b). Em galinhas, o Zn torna-se necessário devido à sua grande importância na deposição da casca do ovo, tendo em vista que é um componente estrutural da enzima AC (GUIMARÃES *et al.*, 2013). A formação adequada da casca do ovo é fundamental para manter uma produção estável de ovos incubáveis, pois a casca fornecerá estrutura e proteção mecânica enquanto serve como fonte de carbonato de cálcio e outros minerais para o embrião (ROBERTS, 2004; VIEIRA, 2007).

O micromineral Zn está presente em todos os tecidos do corpo, porém, o local que apresenta a melhor resposta à suplementação de Zn são os ossos, entretanto, pode-se encontrar maiores concentrações na mucosa, fígado e em outros tecidos moles. Porém, pode haver variação na sua concentração devido ao estado nutricional ou fisiológico dos animais, sejam eles por toxidez ou deficiência do micromineral (WEDEKIND; HORTIN; BAKER, 1992). Aves que receberam dietas com variação entre 50-70 ppm de Zn apresentam concentrações entre 0,8 a 1,4 mg Zn/l no soro, no pâncreas pode haver variações entre 30-20 ppm de Zn e nas tíbias podem ocorrer uma variação de 100-160 ppm de Zn na sua composição (MOHANNA; NYS, 1999). Em um experimento, Skřivan, Skřivanová e Marounek (2005), utilizando uma

dieta basal com a concentração de 63,4 ppm de Zn, verificaram 97,6 ppm deste mineral no fígado, 70,4 ppm na gema, 11,5 ppm no albúmen e 8,6 ppm na casca.

A deficiência desse micromineral está relacionada diretamente com o crescimento retardado, cicatrização, atraso da puberdade, fertilidade e na competência imunológica. Normalmente a toxicidade por Zn é rara, aves e suínos são espécies mais tolerantes a esse micromineral, porém, em dietas que apresentem níveis acima de 1.000 ppm pode ocorrer a toxidez. O Nível de Ca, Cu, Cd, Se, Mn e Fe nos ingredientes podem causar efeito tóxico do Zn pois interferem na sua absorção intestinal (GONZÁLEZ; SILVA, 2019). Em animais que são privados do micromineral, é possível detectar declínio na concentração de eritrócitos e valores baixos podem indicar o início de uma deficiência do micromineral. A concentração de Zn no plasma sanguíneo é considerada um bom parâmetro do que a concentração dele no fígado, pois há uma baixa reserva e mobilização desse mineral no tecido. Além disso, para se determinar parâmetros de deficiência de Zn nos animais pode-se avaliar: Zn na membrana plasmática durante a depleção, deficiência de ALP e alteração no conteúdo de proteínas e lipídios quando o animal está deficiente (SUTTLE; UNDERWOOD, 2010).

As concentrações de Zn nos ingredientes utilizados para formulações de rações são muito variadas, fontes proteicas de origem animal como farinha de carne variam de 100-150 ppm de Zn disponível, farinha de penas 152 ppm em sua composição, já os ingredientes vegetais, tais como, trigo pode haver concentração de 20 ppm de Zn, o sorgo não mais que 14 ppm, o milho e farelo de soja podem variar de 5-50 ppm, entretanto, grande parte do Zn está na forma de quelato insolúvel (BERTECHINI, 2007; ROSTAGNO *et al.*, 2017). Mesmo que haja a presença do micromineral Zn nos ingredientes utilizado para as dietas das aves, isso não é uma garantia que o animal esteja sendo suprido, o que torna necessário uma suplementação via premix mineral para completar essa exigência (MAFRA; COZZOLINO, 2004).

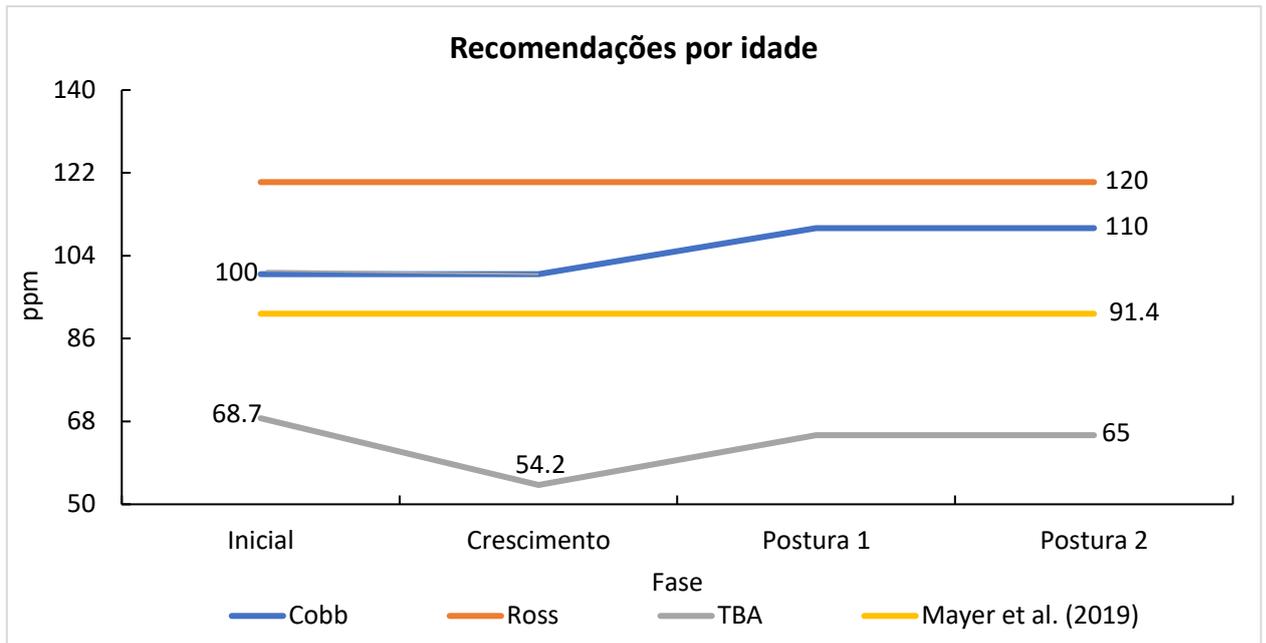
Existem diversas fontes de microminerais que podem ser utilizadas para a suplementação de rações sejam elas na forma de sais, minerais quelatados ou compostos orgânicos (BRITO *et al.*, 2006). Fontes com Carbonato de Zn possuem concentração de 52% de Zn considerado uma biodisponibilidade alta, já o cloreto de Zn possui concentração de 48% do elemento o que seria considerado uma biodisponibilidade intermediária, fontes como sulfato de Zn apresentam variação de concentração entre 22 e 36% de Zn, considerado uma biodisponibilidade alta, já os óxidos de Zn apresentam concentração de Zn entre 43 e 73% do elemento com uma biodisponibilidade alta (BERTECHINI, 2012). As rações formuladas para aves normalmente utilizam 90% ou mais da suplementação de microminerais na forma de

óxidos (ZnO) ou sulfatos (ZnSO₄.7H₂O) (BERTECHINI, 2012), aliás, a biodisponibilidade do ZnO em relação ao Sulfato varia entre 44 a 61% (WEDEKIND; HORTIN; BAKER, 1992).

Poucos estudos foram realizados sobre a exigência e disponibilidade do Zn para as matrizes de frango de corte. Pode-se encontrar em alguns manuais de linhagens as recomendações para a suplementação de Zn, porém a real exigência dessas aves somente se encontra em estudos (FAVERO *et al.*, 2013; SUTTLE; UNDERWOOD, 2010). Normalmente os manuais mais utilizados para determinar o nível a ser utilizado são os das linhagens Cobb 500 SF e Ross 308 AP, as duas linhagens apresentam pequenas diferenças de valores entre elas, sendo recomendado de 100 a 110 ppm e 120 ppm de Zn na dieta das reprodutoras, respectivamente (COBB-VANTRESS, 2018; AVIAGEN, 2021). Na Tabela Brasileira para Aves e Suínos (2017) a sugestão de Zn é aproximadamente de 65 ppm de fonte inorgânica para as matrizes pesadas. Segundo o NRC (1994), a exigência de Zn é de 4,5 mg por galinha diariamente.

No estudo realizado por Mayer *et al.* (2019), foi realizada a suplementação de diferentes níveis de Zn na dieta de matrizes de frango de corte (0, 30, 60, 90, 120 e 150 ppm) a partir da fonte sulfato de Zn (ZnSO₄ 7H₂O) com o objetivo de estimar os requerimentos de Zn para estes animais. Foram avaliadas diversas variáveis neste estudo, dentre elas: produção de ovos incubáveis e totais, camadas, espessura e resistência da casca do ovo, etc. Quando houve diferença estatística entre essas variáveis, as mesmas foram submetidas aos modelos de regressão EA, BLQ e QP e as equações foram obtidas pelo valor de Zn analisado nas rações (18,7; 50,3; 77,3; 110,2; 140,0 e 170,6 ppm). Ao final deste experimento, Mayer *et al.* (2019) encontraram que o valor considerado como exigência de Zn para matrizes pesadas é na média de 91,4 ppm. Ademais, a média dos modelos estatísticos para as variáveis analisadas é de 69,9, 76,3 e 124,3 ppm para EA, BLQ e QP, respectivamente. No gráfico 4 é possível observar as diferenças entre as sugestões presentes nos manuais das linhagens e da exigência encontrada no estudo de Mayer *et al.* (2019) para a suplementação de Zn.

Gráfico 4 – Comparação das recomendações encontradas na literatura para a suplementação de Zn



Fonte: elaborado pela autora (2021).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os microminerais são fundamentais na produção e na manutenção da homeostasia em aves. A adição desses microminerais nas dietas de matrizes reprodutoras de corte é fundamental para se obter melhores resultados de desempenho, condições fisiológicas, melhor qualidade de ovo e conseqüentemente, melhor progênie. É notória a essencialidade da suplementação correta de microminerais. Um fator que pode ser observado, é a possível redução da quantidade de minerais adicionados nas dietas via premix mineral, assim, a matriz nutricional dos ingredientes é levada em conta e o mesmo será fornecido apenas para completar a sua exigência e não como uma suplementação.

Com base nos dados apresentados aqui, nota-se uma variação entre as recomendações e as exigências encontradas em diferentes publicações científicas. No caso do micromineral Cu, o valor encontrado no estudo (12,5 ppm) se permanece abaixo do recomendado pelas linhagens e acima do valor sugerido pela TBA. Observando o Fe, a exigência (106 ppm) determinada pelo autor se encontra acima das recomendações, porém, esse valor foi encontrado utilizando outras medidas dos demais estudos, então esta média poderia ser alterada caso outras medidas fossem avaliadas. No caso do Mn, a exigência (111,5 ppm) demonstrada se encontra bem próxima dos valores recomendados nos manuais. O micromineral Zn apresentou uma exigência (91,4 ppm) inferior aos manuais.

Mediante o exposto, tem-se a necessidade de mais estudos sobre o assunto, assim como um maior entendimento da disponibilidade desses elementos. Além da adesão dos valores encontrados em estudos para atualizações das recomendações, torna-se necessário levar em consideração os estudos aqui mostrados para futuras formulações, a fim de diminuir o custo das rações e diminuir a influência no meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- AL-UBAIDI, Y. Y.; SULLIVAN, T. W. Studies on the requirements and interaction of copper and iron in broad breasted bronze turkeys to 4 weeks of age. **Poultry Science**, [s. l.], v. 42, n. 3, p. 718-725, maio 1963. Disponível em: <<https://doi.org/10.3382/ps.0420718>>. Acesso em: 22 nov. 2021.
- ALBERTS, I. L.; NADASSY, K.; WODAK, S. J. Analysis of zinc binding sites in protein crystal structures. **Protein Science**, [s. l.], v. 7, n. 8, p. 1700-1716, dez. 1998. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/pro.5560070805>>. Acesso em: 22 nov. 2021.
- AQUILINA, G. *et al.* Revision of the currently authorised maximum copper content in complete feed. **European Food Safety Authority**, [s. l.], v. 14, n. 8, ago. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4563>>. Acesso em: 22 nov. 2021.
- ARAÚJO, J. A. *et al.* Fontes de minerais para poedeiras. **Acta Veterinaria Brasílica**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 53-60, out. 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.21708/avb.2008.2.3.676>>. Acesso em: 22 nov. 2021.
- ARAÚJO, L. B. M. Cobre (Cu). *In: Manual da Química*. Goiânia, [2021]. Disponível em: <<https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/cobre-cu.htm>>. Acesso em: 24 out. 2021.
- AULD, B. L. V. and D. S. Cocatalytic Zinc Motifs in Enzyme Catalysis. **National Academy of Sciences Stable**, [s. l.], vol. 90, no. 7, p. 2715–2718, 2021. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8464881/>> Acesso em: 22 nov. 2021.
- AVIAGEN. **Ross 308 AP parent stock**: nutrition specifications. Huntsville: Aviagen, 2021.
- BAI, S. *et al.* Manganese source affects manganese transport and gene expression of divalent metal transporter 1 in the small intestine of broilers. **British Journal of Nutrition**, [s. l.], v. 108, n. 2, p. 267-276, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1017/S0007114511005629>>. Acesso em: 22 nov. 2021.
- BAKER, D. H. *et al.* Ideal ratio (relative to lysine) of tryptophan, threonine, isoleucine, and valine for chicks during the second and third weeks posthatch. **Poultry Science**, [s. l.], v. 81, n. 4, p.485-494, abr. 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1093/ps/81.4.485>>. Acesso em: 22 nov. 2021.
- BAKER, D. H.; AMMERMAN, C. B. Copper bioavailability. *In: AMMERMAN, C. B.; BAKER, D. H.; LEWIS, A. J. Bioavailability of nutrientes for animals: amino acids, minerals, and vitamins*. San Diego: Academic Press, 1995, p. 127-156.
- BAKER, D. H.; HALPIN, K. M. Manganese and iron interrelationship in the chick. **Poultry Science**, [s. l.], v. 70, n. 1, p. 146-152, jan 1991. Disponível em: <<https://doi.org/10.3382/ps.0700146>>. Acesso em: 22 nov. 2021.
- BARBOSA, K. B. F. *et al.* Estresse oxidativo: conceito, implicações e fatores modulatórios **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 23, n. 4, p. 629-643, jul./ago. 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-52732010000400013>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

BERTECHINI, A. G. **Nutrição de monogástricos**. Lavras: UFLA, 2007.

BERTECHINI, A. G. **Nutrição de monogástricos**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2012.

BERWANGER, E. *et al.* Copper requirements of broiler breeder hens. **Poultry Science**, [s. l.], v. 97, n. 8, p. 2785-2797, ago. 2018a. Disponível em: <<https://doi.org/10.3382/ps/pex437>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

BERWANGER, E. **Exigência de cobre para matrizes de frango de corte**. 2018. 98 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018b. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/179134>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

BIOCH, M. J. S. *et al.* Zinc as an essential micronutrient: a review. **Nutrition Research**, [s. l.], v. 20, n. 5, p. 737-755, maio 2000. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0271531700001639?via%3Dihub>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

BRITO, J. Á. G. *et al.* Uso de microminerais sob a forma de complexo orgânico em rações para frangas de reposição no período de 7 a 12 semanas de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s. l.], v. 35, n. 4, p. 1342-1348, ago. 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982006000500013>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

CHANG, J.; MUSSER, J. H.; MCGREGOR, H. Phospholipase A2: function and pharmacological regulation. **Biochemical Pharmacology**, [s. l.], v. 36, n. 15, p. 2429-2436, ago. 1987. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/0006-2952\(87\)90512-0](https://doi.org/10.1016/0006-2952(87)90512-0)>. Acesso em: 22 nov. 2021.

CHEN, H. *et al.* Decreased hephaestin activity in the intestine of copper-deficient mice causes systemic iron deficiency. **The Journal of Nutrition**, [s. l.], v. 136, n. 5, p. 1236-1241, maio 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/jn/136.5.1236>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

CHUA, A. C. G.; MORGAN, E. H. Manganese metabolism is impaired in the Belgrade laboratory rat. **Journal of Comparative Physiology - B Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology**, [s. l.], v. 167, n. 5, p. 361-369, jul. 1997. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s003600050085>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

CLAIR, D. S. Manganese superoxide dismutase: genetic variation and regulation. **American Society for Nutritional Sciences**, [s. l.], v. 134, n. 11, p. 3190S- 3191S, nov. 2004. Disponível em: <<https://academic.oup.com/jn/article/134/11/3190S/4688610>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

COBB-VANTRESS. **Breeder management supplement**. [S. l.]: [S. i.], 2018.

COLEMAN, J. E. Zinc proteins: enzymes, storage proteins, transcription factors, and replication proteins. **Annual Review of Biochemistry**, [s. l.], v. 61, p. 897-946, jul. 1992. Disponível em: <<https://doi.org/10.1146/annurev.bi.61.070192.004341>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

COUSINS, R. J. *et al.* Regulation of zinc metabolism and genomic outcomes. **The Journal of Nutrition**, [s. l.], v. 133, n. 5, p. 1521-1526, maio 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/jn/133.5.1521s>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de nutrientes**. São Paulo: Manole, 2007.

CRUZ, J. B. F.; SOARES, H. F. Uma revisão sobre o zinco. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, Campo Grande, v. 15, n. 1, p. 207-222, 2011.

DAVIDSSON, L. *et al.* The effect of individual dietary components on manganese absorption in humans. **The American Journal of Clinical Nutrition**, [s. l.], v. 54, n. 6, p. 1065-1070, dez. 1991. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/ajcn/54.6.1065>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

DAVIS, C. D.; WOLF, T. L.; GREGER, J. L. Varying levels of manganese and iron affect absorption and gut endogenous losses of manganese by rats. **The Journal of Nutrition**, [s. l.], v. 122, n. 6, p. 1300-1308, jun. 1992. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/jn/122.6.1300>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

DÍAZ, T. G. *et al.* Metabolismo do cobre na nutrição animal: revisão. **PubVet**, [s. l.], v. 9, n. 6, p. 279-286, jun. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.22256/pubvet.v9n6.279-286>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

EBBING, M. A. *et al.* An investigation on iron sources fed to broiler breeder hens and the corresponding color of laid eggshells on the performance of the resulting progeny. **Journal of Applied Poultry Research**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 184-193, mar. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.3382/japr/pfy064>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

EBBING, M. A. **Suplementação com fontes de ferro em dietas para matrizes pesadas: efeitos na produção e qualidade de ovos, variáveis sanguíneas e desempenho da progênie**. 2016. 91 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/140140>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

EL-SHOBAKI, F. A.; RUMMEL, W. Binding of copper to mucosal transferrin and inhibition of intestinal iron absorption in rats. **Research in Experimental Medicine**, [s. l.], v. 174, n. 2, p. 187-195, jun. 1979. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/BF01851331>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

EUCLYDES, R. F.; ROSTAGNO, H. S. Estimativas dos níveis nutricionais via experimentos de desempenho. In: WORKSHOP LATINO-AMERICANO AJINOMOTO BIOLATINA, 1., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2001, p. 77-88.

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**, [s. l.], v. 22, n. 1, p. 80-91, mar. 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.3382/japr.2012-00607>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

GARRICK, M. D. *et al.* DMT1: a mammalian transporter for multiple metals. **Biometals**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 41-54, mar. 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.1023/A:1020702213099>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

GEORGIEVSKIĬ, V. I.; ANNENKOV, B. N.; SAMOKHIN, V. T. **Mineral nutrition of animals**. Londres: Butterworths, 1981.

GODFREY, G. F.; JAAP, R. G. The relationship of specific gravity, 14-day incubation weight-loss and egg shell color to hatchability and egg shell quality. **Poultry Science**, [s. l.], v. 28, n. 6, p. 874-889, nov. 1949. Disponível em: <<https://doi.org/10.3382/ps.0280874>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

GOMES, P. C. *et al.* Níveis nutricionais de zinco para frangos de corte machos e fêmeas nas fases de crescimento e terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s. l.], v. 38, n. 9, p. 1719-1725, set. 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000900011>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

GONZÁLEZ, F. H. D.; SILVA, S. C. **Minerais e vitaminas no metabolismo animal**. Porto Alegre: UFRGS, 2019. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/lacvet/site/wp-content/uploads/2019/06/miner_vitam2019.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2021.

GROTTO, H. Z. W. Metabolismo do ferro: uma revisão sobre os principais mecanismos envolvidos em sua homeostase. **Revista Brasileira de Hematologia e Hemoterapia**, [s. l.], v. 30, n. 5, p. 390-397, out. 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s1516-84842008000500012>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

GUIMARÃES, A. C. T. *et al.* Microminerais complexados a aminoácidos no desempenho reprodutivo de matrizes pesadas e resposta da progênie. **Ciência Rural**, [s. l.], v. 43, n. 6, p. 1044-1049, jun. 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-84782013005000067>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

HARRIS, Z. L. *et al.* Aceruloplasminemia: Molecular characterization of this disorder of iron metabolism. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [s. l.], v. 92, n. 7, p. 2539-2543, mar. 1995. Disponível em: <<https://doi.org/10.1073/pnas.92.7.2539>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

HENRIQUES, G. S.; HIRATA, M. H.; COZZOLINO, S. M. F. Recent aspects of zinc absorption and bioavailability and correlations with physiology of the testicular angiotensin-converting enzyme. **Revista de Nutrição**, [s. l.], v. 16, n. 3, p. 333-345, set. 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s1415-52732003000300011>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

HIDIROGLOU, M. 54Mn uptake by the ovaries and reproductive tract of cycling and anestrous ewes. **Canadian Journal of Physiology and Pharmacology**, [s. l.], v. 53, n. 5, p. 969-972, out. 1975. Disponível em: <<https://doi.org/10.1139/y75-134>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

HILL, R.; MATHERS, J. W. Manganese in the nutrition and metabolism of the pullet. **British Journal of Nutrition**, [s. l.], v. 22, p. 625-633, jul. 1968. Disponível em: <<https://doi.org/10.1079/bjn19680073>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

HUMER, E.; SCHWARZ, C.; SCHEDULE, K. Phytate in pig and poultry nutrition. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, [s. l.], v. 99, n. 4, p. 605-625, nov. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/jpn.12258>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

Jl, F. *et al.* Effect of manganese source on manganese absorption by the intestine of broilers. **Poultry Science**, Oxford, v. 85, n. 11, p. 1947-1952, nov. 2006. Disponível em: <<https://www.proquest.com/openview/580da9c9c49acb2d43ce0d4a17a6720d/1?cbl=48306&pq-origsite=gscholar&accountid=146814>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

KAMBE, T. *et al.* The physiological, biochemical, and molecular roles of zinc transporters in zinc homeostasis and metabolism. **Physiological Reviews**, [s. l.], v. 95, n. 3, p. 749-784, jan. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1152/physrev.00035.2014>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

KIRKPATRICK, D. C.; COFFIN, D. E. Trace metal content of chicken eggs. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 99-103, jan. 1975. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/jsfa.2740260112>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

KLEIN, A. S. **Exigências de ferro para reprodutoras pesadas**. 2014. 25 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/108156>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

KOH, T. S.; PENG, R. K.; KLASING, K. C. Dietary copper level affects copper metabolism during lipopolysaccharide-induced immunological stress in chicks. **Poultry Science**, [s. l.], v. 75, n. 7, p. 867-872, jul. 1996. Disponível em: <<https://doi.org/10.3382/ps.0750867>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

KUO, Y. M. *et al.* Mislocalisation of hephaestin, a multicopper ferroxidase involved in basolateral intestinal iron transport, in the sex linked anaemia mouse. **Gut**, [s. l.], v. 53, n. 2, p. 201-206, mar. 2004.

LEACH JUNIOR, R. M.; GROSS, J. R. The effect of manganese deficiency upon the ultrastructure of the eggshell. **Poultry Science**, [s. l.], v. 62, n. 3, p. 499-504, mar. 1983. Disponível em: <<https://doi.org/10.3382/ps.0620499>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

LEACH JUNIOR, R. M.; HARRIS, E. D. Manganese. *In*: O'DELL, B. L.; SUNDE, R. A. **Handbook of nutritionally essential mineral elements**. Nova Iorque: Marcel Dekker, 1997, p. 335-356.

LEESON, S.; SUMMERS, J. D. **Commercial poultry nutrition**. 3. ed. Nottingham: Nottingham University Press, 2009.

LEESON, S.; SUMMERS, J. D. **Scott's nutrition of the chicken**. 4. ed. Guelph: University Books, 2001.

LIAO, X. D. *et al.* Effect of manganese source on manganese absorption by the intestine of broilers. **Poultry Science**, [s. l.], v. 98, n. 10, p. 4994-5004, out. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.3382/ps/pez293>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

LIU, A. C.; HEINRICHS, B. S.; LEACH JUNIOR, R. M. Influence of manganese deficiency on the characteristics of proteoglycans of avian epiphyseal growth plate cartilage. **Poultry Science**, [s. l.], v. 73, n. 5, p. 663-669, maio 1994. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8047509/>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

LONGSTAFF, M.; HILL, R. The hexosamine and uronic acid contents of the matrix of shells of eggs from pullets fed on diets of different manganese content. **British Poultry Science**, [s. l.], v. 13, n. 4, p. 377-385, 1972. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00071667208415961>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

LOPEZ-BERJES, M. A.; RECIO, J. M.; PLANAS, J. Plasma variation of transferrin-iron and phosphatidylcholine-iron during the laying period in chicken hens. **Poultry Science**, [s. l.], v. 60, n. 8, p. 1951-1956, ago. 1981. Disponível em: <<https://doi.org/10.3382/ps.0601951>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

LUCERO, H. A.; KAGAN, H. M. Lysyl oxidase: An oxidative enzyme and effector of cell function. **Cellular and Molecular Life Sciences**, [s. l.], v. 63, p. 2304-2316, ago. 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00018-006-6149-9>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

MAFRA, D.; COZZOLINO, S. M. F. Importância do zinco na nutrição humana. **Revista de Nutrição**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 79-87, mar. 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s1415-52732004000100009>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

MALECKI, E. A.; GREGER, J. L. Manganese protects against heart mitochondrial lipid peroxidation in rats fed high levels of polyunsaturated fatty acids. **The Journal of Nutrition**, [s. l.], v. 126, n. 1, p. 27-33, jan. 1996. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/jn/126.1.27>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

MATSUBARA, T.; SAWANO, K. Proteolytic cleavage of vitellogenin and yolk proteins during vitellogenin uptake and oocyte maturation in barfin flounder (*Verasper moseri*). **Journal of Experimental Zoology**, [s. l.], v. 272, n. 1, p. 34-45, maio 1995. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/jez.1402720105>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

MAYER, A. N. *et al.* Zinc requirements of broiler breeder hens. **Poultry Science**, [s. l.], v. 98, n. 3, p. 1288-1301, mar. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.3382/ps/pey451>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

McDOWELL, L. R. **Minerals in animal and human nutrition**. [S. l.]: Academic Press, 1992.

MEDEIROS, D. M. Copper, iron, and selenium dietary deficiencies negatively impact skeletal integrity: a review. **Experimental Biology and Medicine**, [s. l.], v. 241, n. 12, p. 1316-1322, maio 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/1535370216648805>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

MIRANDA, C. C. **Efeito de níveis e de fontes de microminerais na dieta de poedeiras comerciais de 40 a 60 semanas de idade**. 2013. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade do Estado de São Paulo, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/104091/miranda_cc_dr_botfmvz.pdf?sequence=1>. Acesso em: 22 nov. 2021.

MOHANNA, G.; NYS, Y. Effect of dietary zinc content and sources on the growth, body zinc deposition and retention, zinc excretion and immune response in chickens. **British Poultry Science**, [s. l.], v. 40, n. 1, p. 108-114, 1999. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00071669987926>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

MORCK, T. A.; AUSTIC, R. E. Iron requirements of white leghorn hens. **Poultry Science**, [s. l.], v. 60, n. 7, p. 1497-1503, jul. 1981. Disponível em: <<https://doi.org/10.3382/ps.0601497>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

NABER, E. C. The effect of nutrition on the composition of eggs. **Poultry Science**, [s. l.], v. 58, n. 3, p. 518-528, maio 1979. Disponível em: <<https://doi.org/10.3382/ps.0580518>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

NITTIS, T.; GITLIN, J. D. Role of copper in the proteasome-mediated degradation of the multicopper oxidase hephaestin. **Journal of Biological Chemistry**, [s. l.], v. 279, n. 24, p. 25696-25702, jun. 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1074/jbc.M401151200>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

NOETZOLD, T. L. *et al.* Manganese requirements of broiler breeder hens. **Poultry Science**, [s. l.], v. 99, n. 11, p. 5814-5826, nov. 2020a. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.06.085>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

NOETZOLD, T. L. **Exigência de manganês para matrizes de frango de corte**. 2020. 84 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020b.

NRC – NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Mineral tolerance of domestic animals**. Washington: The National Academies Press, 1980.

NRC – NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of poultry**: ninth revised edition. Washington: The National Academies Press, 1994.

OBERLEAS, D.; HARLAND, B.; BOBILYA, D. J. Manganese (Mn). *In*: OBERLEAS, D.; HARLAND, B.; BOBILYA, D. J. **Minerals: nutrition and metabolism**. Nova Iorque: Vantage Press, 1999, p. 141-148.

OLGUN, O. Manganese in poultry nutrition and its effect on performance and eggshell quality. **World's Poultry Science Journal**, [s. l.], v. 73, n. 1, p. 45-56, set. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1017/S0043933916000891>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

OLIVARES, M.; UAUY, R. Copper as an essential nutrient. **The American Journal of Clinical Nutrition**, [s. l.], v. 63, n. 5, p. 791S-796S, maio 1996. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/ajcn/63.5.791>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

PESTI, G. M. *et al.* A comparison of methods to estimate nutritional requirements from experimental data. **British Poultry Science**, [s. l.], v. 50, n. 1, p. 16-32, fev. 2009. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00071660802530639>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

PROHASKA, J. R. Role of copper transporters in copper homeostasis. **The American Journal of Clinical Nutrition**, [s. l.], v. 88, n. 3, p. 826S-829S, set. 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/ajcn/88.3.826s>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

REZENDE, J. C. R. **Zinco na saúde de frangos de corte**. 2016. 91 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/145527>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

ROBERTS, J. R. Factors affecting egg internal quality and egg shell quality in laying hens. **The Journal of Poultry Science**, [s. l.], v. 41, n. 3, p. 161-177, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.2141/jpsa.41.161>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

ROSTAGNO, H. S. *et al.* **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2011.

ROSTAGNO, H. S. *et al.* **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2017.

RSC – ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY. **Periodic Table**. Londres, 2021. Disponível em: <<https://www.rsc.org/periodic-table>>. Acesso em: 26 out. 2021.

SAKOMURA, N. K. *et al.* **Nutrição de não ruminantes**. Jaboticabal: FUNEP, 2014.

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

SANDSTRÖM, B. Dose dependence of zinc and manganese absorption in man. **Proceedings of the Nutrition Society**, [s. l.], v. 51, n. 2, p. 211-218, ago. 1992. Disponível em: <<https://www.cambridge.org/core/journals/proceedings-of-the-nutrition-society/article/dose-dependence-of-zinc-and-manganese-absorption-in-man/130E28D4D1624D9244E6C036FC885285>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

SCHEIBER, I. F.; MERCER, J. F. B.; DRINGEN, R. Metabolism and functions of copper in brain. **Progress in Neurobiology**, [s. l.], v. 116, p. 33-57, maio 2014. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2014.01.002>>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301008214000124?via%3Dihub>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

SCHMIDT, M. *et al.* Níveis nutricionais de cobre para frangos de corte machos e fêmeas na fase inicial. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s. l.], v. 34, n. 5, p. 1599-1605, out. 2005. DOI: <<https://doi.org/10.1590/s1516-35982005000500021>>. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbz/a/4Kjs9GNthJd6dRmHf6QH8CG/?lang=pt>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

SILVA, N. C. D.; MARTINS, T. L. T.; BORGES, I. Efeito dos microminerais na alimentação de ruminantes. **Ciência Animal**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 75-98, 2017. Disponível em: <http://www.uece.br/cienciaanimal/dmdocuments/V27n1_p75a98RCA.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2021.

SKŘIVAN, M.; SKŘIVANOVÁ, V.; MAROUNEK, M. Effects of dietary zinc, iron, and copper in layer feed on distribution of these elements in eggs, liver, excreta, soil, and herbage. **Poultry Science**, [s. l.], v. 84, n. 10, p. 1570-1575, out. 2005. DOI: <<https://doi.org/10.1093/ps/84.10.1570>>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119447056?via%3Dihub>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

SMITH-MUNGO, L. I.; KAGAN, H. M. Lysyl oxidase: properties, regulation and multiple functions in biology. **Matrix Biology**, [s. l.], v. 16, n. 7, p. 387-398, fev. 1998. DOI: <[https://doi.org/10.1016/S0945-053X\(98\)90012-9](https://doi.org/10.1016/S0945-053X(98)90012-9)>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0945053X98900129?via%3Dihub>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

STAHL, J. L.; GREGER, J. L.; COOK, M. E. Zinc, copper and iron utilisation by chicks fed various concentrations of zinc. **British Poultry Science**, [s. l.], v. 30, n. 1, p. 123-134, 1989. DOI: <<https://doi.org/10.1080/00071668908417131>>. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00071668908417131>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

SUTTLE, N. F.; UNDERWOOD, E. J. **The mineral nutrition of livestock**. 3. ed. Wallingford: CABI Publishing, 1999.

SUTTLE, N. F.; UNDERWOOD, E. J. **The mineral nutrition of livestock**. 4. ed. Wallingford: CABI Publishing, 2010.

TAKO, E.; GLAHN, R. P. Iron status of the late term broiler (*Gallus gallus*) embryo and hatchling. **International Journal of Poultry Science**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 42-48, 2011. DOI: <10.3923/ijps.2011.42.48>. Disponível em: <<https://scialert.net/abstract/?doi=ijps.2011.42.48>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

TASCETTO, D. *et al.* Iron requirements of broiler breeder hens. **Poultry Science**, [s. l.], v. 96, n. 11, p. 3920-3927, nov. 2017. DOI: <<https://doi.org/10.3382/ps/pex208>>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119311812?via%3Dihub>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

TASCETTO, D. **Parâmetros hematológicos e conteúdo de ferro nos ovos de reprodutoras pesadas alimentadas com diferentes níveis e fontes de ferro**. 2015. 275 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/132385>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

VALLEE, B. L.; FALCHUK, K. H. The biochemical basis of zinc physiology. **Physiological Reviews**, [s. l.], v. 73, n. 1, p. 79-118, jan. 1993. DOI: <<https://doi.org/10.1152/physrev.1993.73.1.79>>. Disponível em: <<https://journals.physiology.org/doi/abs/10.1152/physrev.1993.73.1.79>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

VIEIRA, S. L. Chelated minerals for poultry. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 73-79, jun. 2008. DOI: <<https://doi.org/10.1590/S1516-635X2008000200001>>. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbca/a/5SrdKJDpccDzTmBzL5QShqn/?lang=en>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

VIEIRA, S. L. Chicken embryo utilization of egg micronutrients. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 1-8, mar. 2007. DOI: <<https://doi.org/10.1590/S1516-635X2007000100001>>. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbca/a/wFTcTnbqxG35vWmQbFYZTTs/?lang=en>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

WEDEKIND, K. J.; BAKER, D. H. Manganese utilization in chicks as affected by excess calcium and phosphorus ingestion. **Poultry Science**, [s. l.], v. 69, n. 6, p. 977-984, jun. 1990. DOI: <<https://doi.org/10.3382/ps.0690977>>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119328056?via%3Dihub>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

WEDEKIND, K. J.; HORTIN, A. E.; BAKER, D. H. Methodology for assessing zinc bioavailability: efficacy estimates for zinc-methionine, zinc sulfate, and zinc oxide. **Journal of Animal Science**, [s. l.], v. 70, n. 1, p. 178-187, jan. 1992. DOI: <<https://doi.org/10.2527/1992.701178x>>. Disponível em: <<https://academic.oup.com/jas/article-abstract/70/1/178/4705142?redirectedFrom=fulltext>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

WEST, A. R.; OATES, P. S. Mechanisms of heme iron absorption: current questions and controversies. **World Journal of Gastroenterology**, [s. l.], v. 14, n. 26, p. 4101-4110, jul. 2008. DOI: <<https://doi.org/10.3748/wjg.14.4101>>. Disponível em: <<https://www.wjgnet.com/1007-9327/full/v14/i26/4101.htm>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Trace elements in human nutrition and health**. Bélgica: WHO, 1996.

XIAO, J. F. *et al.* Manganese supplementation enhances the synthesis of glycosaminoglycan in eggshell membrane: a strategy to improve eggshell quality in laying hens. **Poultry Science**, [s. l.], v. 93, n. 2, p. 380-388, fev. 2014. DOI: <<https://doi.org/10.3382/ps.2013-03354>>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119360195?via%3Dihub>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

XIE, J. *et al.* Effects of inorganic and organic manganese supplementation on gonadotropin-releasing hormone-I and follicle-stimulating hormone expression and reproductive performance of broiler breeder hens. **Poultry Science**, [s. l.], v. 93, n. 4, p. 959-969, abr. 2014. DOI: <<https://doi.org/10.3382/ps.2013-03598>>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119360882?via%3Dihub>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

YAIR, R.; UNI, Z. Content and uptake of minerals in the yolk of broiler embryos during incubation and effect of nutrient enrichment. **Poultry Science**, [s. l.], v. 90, n. 7, p. 1523-1531, jul. 2011. DOI: <<https://doi.org/10.3382/ps.2010-01283>>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119420427?via%3Dihub>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

ZAGO, M. P.; OTEIZA, P. I. The antioxidant properties of zinc: interactions with iron and antioxidants. **Free Radical Biology and Medicine**, [s. l.], v. 31, n. 2, p. 266-274, jul. 2001. DOI: <[https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(01\)00583-4](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(01)00583-4)>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0891584901005834?via%3Dihub>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

ZHANG, Y. N. *et al.* Dietary manganese supplementation modulated mechanical and ultrastructural changes during eggshell formation in laying hens. **Poultry Science**, [s. l.], v. 96, n. 8, p. 2699-2707, 2017a. DOI: <<https://doi.org/10.3382/ps/pex042>>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119314671?via%3Dihub>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

ZHANG, Y. N. *et al.* Effect of dietary supplementation of organic or inorganic zinc on carbonic anhydrase activity in eggshell formation and quality of aged laying hens. **Poultry Science**, [s. l.], v. 96, n. 7, p. 2176-2183, jul. 2017b. DOI: <<https://doi.org/10.3382/ps/pew490>>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119314087?via%3Dihub>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

ZHANG, Y. N. *et al.* Estimation of dietary manganese requirement for laying duck breeders: effects on productive and reproductive performance, egg quality, tibial characteristics, and serum biochemical and antioxidant indices. **Poultry Science**, [s. l.], v. 99, n. 11, p. 5752-5762, nov. 2020. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.06.076>>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579120305058?via%3Dihub>>. Acesso em: 22 nov. 2021.