

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JEAN CARLO CAMARGO NATEL

SUPLEMENTAÇÃO DE COBRE E ZINCO COM REVESTIMENTO LIPÍDICO PARA
FRANGOS DE CORTE



CURITIBA
2023

JEAN CARLO CAMARGO NATEL



SUPLEMENTAÇÃO DE COBRE E ZINCO COM REVESTIMENTO LIPÍDICO PARA
FRANGOS DE CORTE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Zootecnia, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como um dos requisitos à obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Alex Maiorka

CURITIBA
2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Natel, Jean Carlo Camargo

Suplementação de cobre e zinco com revestimento lipídico
para frangos de corte / Jean Carlo Camargo Natel. – Curitiba,
2023.

1 recurso online: PDF.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná,
Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em
Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Alex Maiorka

1. Frango de corte. 2. Cobre. 3. Zinco. 4. Desempenho.
I. Maiorka, Alex. II. Universidade Federal do Paraná. Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia. III. Título.

Bibliotecária: Telma Terezinha Stresser de Assis CRB-9/944



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ZOOTECNIA -
40001016082P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ZOOTECNIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **JEAN CARLO CAMARGO NATEL** intitulada: **Suplementação de cobre e zinco com revestimento lipídico para frangos de corte**, sob orientação do Prof. Dr. ALEX MAIORKA, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 31 de Março de 2023.

Assinatura Eletrônica

05/04/2023 11:16:22.0

ALEX MAIORKA

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

01/04/2023 12:18:26.0

FABIANO DAHLKE

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA)

Assinatura Eletrônica

31/03/2023 14:55:50.0

ANANDA PORTELLA FÉLIX

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Rua dos Funcionários, 1540 - CURITIBA - Paraná - Brasil
CEP 80035-050 - Tel: (41) 99283-3742 - E-mail: ppgz@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 271150

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.pppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp>
e insira o código 271150

Dedico este trabalho,
ao meu avô Mario Camargo Natel
pelos ensinamentos de toda uma vida.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Nair, pelo amor, apoio incondicional, por ser meu maior exemplo de resiliência, força e por toda a nossa luta até aqui.

Ao meu irmão Raphael, Emerson e Ricardo pelo apoio nos momentos difíceis e estarem juntos nesta caminhada.

À minha namorada Amanda, pelo amor, carinho e por me transmitir forças nos momentos mais difíceis e por ser minha fonte de alegria diária.

À Adriana, Ana Luiza, Carioca, Laura, Lisete, Marciel e Mariana por me acolherem e compartilharem alegria e bons momentos em família.

Ao meu avô Mario (*in memoriam*), minha avó Maria e tio Valdir por todos ensinamentos de vida, serei eternamente grato a vocês.

Aos profissionais da equipe Sanex, Carolina, Edson, Fernando, Gustavo, Jeferson, Joel, Juliano e Rita. Em especial ao Marcelo, grande incentivador e principal responsável pela realização deste trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Alex Maiorka e as Profas. Dra. Ananda e Simone pela paciência, amizade e conhecimento compartilhado.

Ao pessoal do LEPNAN, grupo de estudos da Universidade ao qual tive orgulho de fazer parte por mais uma vez.

Aos amigos Alan, Bruno, Juliano e Robson pelos longos anos de amizade.

Ao pessoal da Granja Santa Lívia, André, Alceu, Elenice, Neusa, Odair, Rafael e Valdir por todo empenho e cuidado com o experimento. Em especial ao Diogo que foi essencial para a realização deste trabalho.

Ao pessoal do Laboratório Cepetec-UFRGS Angela, Adriana, Anna Julia, Isabela e Vitória por todo auxílio durante o experimento e nas análises laboratoriais.

À professora Dra. Liris Kindlein pelo auxílio e conhecimento compartilhado.

À todos que contribuíram de alguma forma nesta importante etapa.

Muito obrigado.

RESUMO

A inclusão de microminerais em excesso é uma prática realizada pela indústria de alimentação animal nas dietas para frangos de corte. Esta situação favorece à ação de interações antagônicas entre os próprios minerais, os quais formam complexos insolúveis, tornando-os indisponíveis para absorção e devido aproveitamento realizado pelas aves. Dessa forma o objetivo do trabalho foi de avaliar diferentes concentrações de cobre e zinco inorgânico contendo revestimento lipídico sobre as variáveis de desempenho, elasticidade e força de punção de pele, resistência intestinal, grau de dermatite de pés e lesão da moela em frangos de corte de 01 a 42 dias de idade. Houve 2 experimentos onde foram utilizados 880 pintos de corte machos Cobb distribuídos em quatro tratamentos com 10 repetições de 22 aves em ambos. No experimento 1, os tratamentos continham óxido de zinco (ZnO) suplementados em concentrações de 65 e 265 ppm e contendo presença ou ausência do revestimento lipídico. Como resultado observou-se que a concentração de 265 ppm obteve maior ganho de peso (GP) e melhor conversão alimentar (CA). Além disso, a dieta com revestimento lipídico promoveu maior consumo de ração (CR), GP e menor escore de lesão de pés. No experimento 2, os tratamentos continham sulfato de cobre penta-hidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) com presença e ausência de revestimento lipídico em concentrações de 10 e 150 ppm. Os resultados indicaram que a dieta com 10 ppm de concentração obteve maior CR, indicando que há rejeição na ingestão em comparação a maior concentração. Houve maior GP na interação de 10 ppm na forma revestida e de 150 ppm na forma não-revestida. Observou-se menor CA e melhor escore de lesão de pés nas dietas contendo 150 ppm de concentração. Não foram observadas diferenças para as variáveis de qualidade de pele, resistência intestinal e de lesões de moela nos experimentos. Conclui-se que os minerais revestidos possuem potencial para melhorar o desempenho de frangos de corte nas concentrações avaliadas.

Palavras-chave: Microminerais revestidos; Dermatite plantar; Lesões de pele; Resistência intestinal; Desempenho.

ABSTRACT

The microminerals inclusion in excess is quite practiced by the animal feed industry in the broiler diets. This situation further the antagonistic interaction between the minerals themselves, which form insoluble complexes, making them unavailable for absorption and use by the chickens. Therefore, the aim of the research it was to evaluate different concentrations of inorganic copper and zinc containing lipid coating on performance, strength and skin puncture, intestinal resistance, foot dermatitis and gizzard injury in broiler chickens of 01 to 42 days old. There were 2 experiments where 880 Cobb male broiler chickens were distributed in four treatments with 10 repetitions of 22 broilers in both. In experiment 1, the treatments contained zinc oxide (ZnO) supplemented at concentrations of 65 and 265 ppm and containing the presence or default of a lipid coating. As a result, it was observed that the concentration of 265 ppm obtained higher weight gain (WG) and better feed conversion rate (FCR). In addition, the lipid-coated diet promotes higher feed intake (FI), WG and improve better foot injury scores. In experiment 2, the treatments contained copper sulphate pentahydrate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) with and without a lipid coating and in concentrations of 10 and 150 ppm. The results indicated that diet with 10 ppm concentration obtained a better FI compared to the another concentration. There was a higher WG in the interaction of 10 ppm in the coated form and for the diet with 150 ppm in the uncoated form. The use of 150 ppm concentration improve better pododermatitis score and FCR. Diferences were not observed for the variables of skin quality, intestinal resistance and gizzard lesions in the experiments. It is concluded that the coated minerals have the potential to improve the performance of broilers at the evaluated concentrations.

Keywords: Coated microminerals; Footpad dermatitis; Intestinal resistance; Performance; Skin lesions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Equipamento analisador de textura	40
Figura 2. Escore de lesões de pés	40
Figura 3. Escore graus de lesão de moela	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição química calculada	37
Tabela 2. Tratamentos experimentais de óxido de zinco (ZnO) em diferentes concentrações e nas formas revestida e não-revestida	38
Tabela 3. Composição química calculada	45
Tabela 4. Tratamentos experimentais de sulfato de cobre penta-hidratado (Cu.SO ₄ .5H ₂ O) em diferentes concentrações e nas formas revestida e não-revestida.....	46
Tabela 5. Efeito da suplementação de ZnO sobre consumo de ração (CR), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA) de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade.....	47
Tabela 6. Efeito da suplementação de ZnO sobre consumo de ração (CR), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA) de frangos de corte de 1 a 42 dias de idade.....	48
Tabela 7. Efeito da suplementação de ZnO sobre o escore de dermatite nos pés aos 28 e 40 dias e do grau de lesão de moela aos 42 dias de idade de frangos de corte	49
Tabela 8. Efeito da suplementação de ZnO sobre a elasticidade e força de punção da pele e resistência intestinal de frangos de corte aos 42 dias de idade	50
Tabela 9. Efeito da suplementação de Cu.SO ₄ .5H ₂ O sobre consumo de ração (CR), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA) de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade.....	51
Tabela 10. Efeito da suplementação de Cu.SO ₄ .5H ₂ O sobre consumo de ração (CR), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA) de frangos de corte de 1 a 42 dias de idade.....	52
Tabela 11. Efeito da suplementação de Cu.SO ₄ .5H ₂ O sobre o escore de dermatite nos pés aos 28 e 40 dias e do grau de lesão de moela aos 42 dias de idade de frangos de corte.....	53
Tabela 12. Efeito da suplementação de Cu.SO ₄ .5H ₂ O sobre a elasticidade e força de punção da pele e resistência intestinal de frangos de corte aos 42 dias de idade	54

LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E UNIDADES

ANOVA	análise de variância
BHT	butil-hidroxitolueno
CA	conversão alimentar
CR	consumo de ração
Cu	cobre
CuSO₄.5H₂O	sulfato de cobre penta-hidratado
CV	coeficiente de variação
EE	extrato etéreo
F	força
GSH	glutathiona
GP	ganho de peso
LOX	lisil oxidase
Kg	quilograma
m	metro
m²	metro quadrado
mg	miligrama
MS	matéria seca
MT	metalotioneina
P	probabilidade
PB	proteína bruta
ppm	parte por milhão
ROS	espécies reativas ao oxigênio
SOD	superóxido dismutase
TGI	trato gastrintestinal
Ton	tonelada
ZnT	transportadores de zinco
Zn	zinco
ZnO	óxido de zinco
%	porcentagem
°C	graus celsius

SUMÁRIO

	CAPÍTULO I – SUPLEMENTAÇÃO DE COBRE E ZINCO COM REVESTIMENTO LIPÍDICO PARA FRANGOS DE CORTE	12
1.	INTRODUÇÃO	12
2.	REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1	ZINCO	13
2.1.1	Níveis de zinco na dieta	14
2.1.2	Metabolismo do zinco	16
2.2	COBRE	17
2.2.1	Níveis de cobre na dieta	19
2.2.2	Metabolismo do cobre	20
2.3	PROCESSOS DE REVESTIMENTO	21
2.4	LESÕES DE PELE E PÉS	23
2.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
3.	REFERÊNCIAS	26
	CAPÍTULO II– SUPLEMENTAÇÃO DE COBRE E ZINCO COM REVESTIMENTO LIPÍDICO PARA FRANGOS DE CORTE.....	33
	RESUMO	33
	ABSTRACT	34
1.	INTRODUÇÃO	35
2.	MATERIAL E MÉTODOS	36
2.1	EXPERIMENTO 1	36
2.1.1	Animais e instalações	36
2.1.2	Dietas experimentais e desempenho zootécnico	36
2.1.3	Delineamento experimental e análise estatística	38
2.1.4	Elasticidade e força de punção da pele	39
2.1.5	Dermatite nos pés	40
2.1.6	Avaliação de cutícula de moela	41
2.1.7	Teste de resistência intestinal	42
2.1.8	Análise de matéria seca de excretas	42
2.2	EXPERIMENTO 2	43
2.2.1	Animais e instalações	43
2.2.2	Dietas experimentais e desempenho zootécnico	44
2.2.3	Delineamento experimental e análise estatística	46
3.	RESULTADOS	46
3.1	EXPERIMENTO 1	46
3.1.1	Desempenho	46
3.1.2	Dermatite nos pés e lesão de moela	48
3.1.3	Qualidade de pele e resistência intestinal	49
3.2	EXPERIMENTO 2	50
3.2.1	Desempenho	50
3.2.2	Dermatite nos pés e lesão de moela	52
3.2.3	Qualidade de pele e resistência intestinal	53
4.	DISCUSSÃO	54
5.	CONCLUSÃO	57
6.	REFERÊNCIAS	57
	REFERÊNCIAS	60

CAPÍTULO I – SUPLEMENTAÇÃO DE COBRE E ZINCO COM REVESTIMENTO LIPÍDICO PARA FRANGOS DE CORTE

1. INTRODUÇÃO

A inclusão do cobre (Cu) e do zinco (Zn) na dieta para frangos de corte é essencial para seu desenvolvimento, contribuindo para um melhor desempenho e saúde do animal. Possuem papel fundamental nas rotas metabólicas para o crescimento do animal, atuam como componentes estruturais de órgãos e tecidos do corpo e como catalizadores e reguladores de processos enzimáticos. Contudo, é necessário estabelecer adequadamente os níveis nutricionais destes microminerais, pois caso seja fornecido em deficiência na dieta, isso pode afetar a manutenção das funções fisiológicas e metabólicas, sendo associados a casos de perda de apetite, má formação esquelética, redução do ganho de peso, anormalidades da pele, deficiência do sistema imunológico e reprodutivo (Henriques et al., 2003; Sahraei et al., 2012). Em pintinhos podem causar redução nas taxas de crescimento, encurtamento e espessamento de ossos longos, alargamento do coxim plantar e desenvolvimento deficiente das penas (Naz et al., 2016). Por outro lado, a inclusão em excesso com níveis bastante acima dos indicados pode gerar casos de toxicidade, diarreias e de desequilíbrio dos níveis séricos dos animais. Além disso, favorece a ocorrência de interações antagônicas entre os próprios minerais ou entre outros nutrientes da dieta e gerar a formação de complexos insolúveis, tornando-se indisponível sua absorção e baixo aproveitamento pelo animal. Com isso, a inclusão de microminerais em excesso na dieta, não são devidamente aproveitados e colaboram com a contaminação do meio ambiente através do aumento de excreção gerada pelo animal.

A eficácia do aproveitamento dos microminerais na dieta está ligada ao tipo de fonte, a solubilidade e a quantidade disponibilizada ao animal, sendo estes fatores que interferem diretamente no processo de absorção e de sua biodisponibilidade na corrente sanguínea. Desta forma, é importante oferecer fontes microminerais que utilizem as vias metabólicas para melhorar os níveis efetivamente absorvidos e aproveitados pelo animal.

O uso de fontes minerais na forma revestida aparece como uma alternativa para a utilização dos microminerais na dieta para atender aos níveis exigidos pelas atuais linhagens de frangos de corte. A inclusão do Cu e Zn revestidos por

triglicerídeos de cadeia média através de uma tecnologia industrial exclusiva, auxiliam na proteção e transporte até a chegada ao lúmen intestinal para o correto aproveitamento dos nutrientes. Com isto, o trabalho sugere que a suplementação do Cu e Zn revestido pode ter ação na prevenção contra má formação óssea, diminuição da lesão de pele e pés e melhora no desempenho. Considerando a demanda por maiores informações quanto a inclusão destes microminerais na dieta de frangos de corte, temos poucos estudos conduzidos sobre a concentração de oligoelementos na forma revestida para aves.

Portanto, o objetivo deste estudo foi de avaliar a suplementação do Cu e Zn inorgânico com revestimento lipídico e sua influência sobre o desempenho, resistência de pele e intestinal, lesões de pés e da moela para frangos de corte.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. ZINCO

Considerado um micromineral essencial aos organismos vivos e que participa de atividades biológicas nos animais desempenhando papel fundamental no funcionamento de diversos processos bioquímicos, estruturais e de importância particular para o desenvolvimento e crescimento das aves (Brito et al., 2006; Liu et al., 2011). Os principais processos mediados pelo Zn afetam diretamente a síntese de DNA e proteínas, imunidade, reprodução, divisão celular, melhorando os índices produtivos, crescimento, manutenção de penas e mineralização óssea (Cheng et al., 1998). É uma parte de mais de 300 enzimas que estão envolvidas no metabolismo de proteínas, energia, carboidratos e ácidos nucleicos. Possui atividade antioxidante em tecidos animais através da síntese de metalotioneína (MT), a qual é uma proteína que transporta metal no organismo, encontrado no citosol de células eucarióticas, especialmente no fígado, rins, intestino e cérebro (Naz et al., 2016) e potencializa a atividade de alguns hormônios, incluindo glucagon e insulina. Tem participação importante na enzima antioxidante superóxido dismutase (SOD), que ajuda a defender o corpo contra espécies reativas de oxigênio (ROS) que induzem um alto risco de desenvolvimento de doenças crônicas, danos na membrana e no DNA e inibição do sistema imunológico (Rahman et al., 2014).

Ao realizar a inclusão de Zn na dieta para frangos de corte observa-se a manutenção do crescimento normal, sendo importante destacar o desenvolvimento do esqueleto e penas e preservação da saúde da pele e pés. Favorece a melhora do sistema imunológico através de resistência a doenças infecciosas e aumento de imunoglobulinas. A utilização da suplementação na dieta colabora para o bom desenvolvimento dos órgãos imunes e aumento da presença de anticorpos e melhor imunidade dos animais. Possui um amplo impacto nos principais mediadores de imunidade, como enzimas, peptídeos e citocinas, levando a melhora da resposta do sistema imunológico através da ativação da imunidade celular e humoral (Dardenne, 2002). A suplementação de Zn em dietas de galinhas reforçou o status imune da progênie, inclusive quando desafiadas com *Escherichia coli* (Virden et al., 2003). Em aves poedeiras e reprodutoras tem apresentado efeitos positivos na produção de ovos por regular a secreção de hormônios reprodutivos e a síntese de proteínas durante a formação de ovos (Tabatabaie et al., 2007). Em reprodutoras, aumentou o desenvolvimento do músculo esquelético, devido ao aumento na síntese de proteínas e inibição da degradação de proteínas da prole (Gao et al., 2014). Portanto a deficiência de Zn para pode afetar o estado fisiológico e influenciar no seu desempenho, na qualidade da carne, status antioxidante e imunidade.

2.1.1 Níveis de Zinco na dieta

As fontes de origem inorgânicas mais encontradas e utilizadas pelas indústrias de ração para aves são: Óxido de Zn (ZnO) e Sulfato de Zn monohidratado (ZnSO₄-H₂O), sendo o ZnO uma fonte menos biodisponível que ZnSO₄-H₂O para aves (Sandoval et al., 1997). Estes minerais geralmente são suplementados em aves acima do requisito recomendado pelo NRC (1994), em busca de um maior aproveitamento e maximizar os desempenhos de produção (Leeson; Caston, 2008). No entanto, o sulfato (sal ácido) é mais solúvel em água, permitindo que íons metálicos reativos promovam a formação de radicais livres em reações químicas responsáveis pela quebra de vitaminas e, eventualmente, proporcionam a destruição de gorduras e óleos essenciais, diminuindo o valor nutritivo das dietas. Os óxidos são menos reativos, porém menos biodisponíveis (Batal et al., 2001).

A deficiência ou o excesso na dieta pode afetar o desempenho por diminuir o consumo de ração e a taxa de crescimento em animais (Gupta et al., 1997; Ruz et al., 1999). O NRC (1994) recomenda o uso de 40 mg Zn/kg em ração para frangos de corte, já a Tabela Brasileira para Aves e Suínos recomenda a suplementação de 65 mg Zn/kg (Rostagno et al., 2017). No entanto, as indústrias utilizam níveis acima das concentrações recomendadas e esta prática realizada de uma forma descontrolada pode ser considerada como fator de perigo pela contaminação do solo e a água, passando a ser um fator de preocupação ambiental nas últimas décadas (Batal et al., 2001). A suplementação em nível dietético de Zn na alimentação de frangos de corte (40 a 80 ppm) resultou em um aumento constante de cálcio (Ca) e porcentagem de fósforo (P), sem variação no teor de cinzas na tibia, enquanto que sua porcentagem diminuiu depois, devido ao aumento dos níveis de Zn acima de 80 mg/kg na alimentação. A deficiência de Zn na dieta de pintos pode causar uma série de problemas como por exemplo, retardo ou menor crescimento, encurtamento e espessamento dos ossos longos, aumento da articulação do coxim plantar, pobre desenvolvimento das penas, indevida mineralização óssea (Naz et al., 2016). Os casos de deficiência na dieta têm sido associados a diversas manifestações clínicas e bioquímicas e em frangos de corte resulta em menor crescimento, desgaste das penas, perda de apetite e aumento da mortalidade no lote (Ensminger et al., 1990). Qualquer deficiência na dieta leva à diminuição da queratina e formação de colágeno levando a alguns sinais de deficiência, como penas fracas em aves, anormalidade óssea, diminuição da resistência do tecido e casos de dermatite (Lesson; Summers, 2001), sendo que a queratina e colágeno são duas proteínas de estrutura chave que requerem a presença do Zn (Suttle, 2010).

Por outro lado, a suplementação em excesso na dieta de aves resulta em níveis elevados de Zn no fígado, rim, pâncreas, baço e moela. Neste caso pode interagir com o selênio, causando deficiência em pintos (Jensen, 1975). Na suplementação de Zn de até 1000 mg/kg a dieta parece não ter efeitos adversos sobre o peso corporal de galinhas, no entanto, em doses com níveis excessivas (3000 mg/kg) diminui seu peso corporal (Domingues et al., 2014). Dietas com alto teor até 20.000 mg/kg em pintos e 25.000 mg/kg de ZnO em galinhas poedeiras, foi relatado casos de lesões no pâncreas e moela (Dewar et al., 1983). De acordo com Gibson et al., (1986) a concentração de Fe e Zn no rim, pâncreas, fígado e moela de

galinhas aumentou com alto teor de Zn na dieta, enquanto o teor de cobre do fígado, pâncreas e moela diminuiu com o aumento da suplementação de Zn na ração. Isso indicou efeitos negativos com níveis mais altos de Zn na mineralização óssea em aves, pois o excesso de Zn pareceu interferir na utilização e absorção de cálcio e fósforo a nível intestinal.

2.1.2 Metabolismo do Zinco

O Zn exerce papel na síntese de proteínas, divisão celular e essencial como íon catalítico, estrutural e regulador. Está envolvido em respostas imunes, redução do estresse oxidativo e em diversas funções enzimáticas, sendo constituinte catalítico da anidrase carbônica, carboxipeptidase, lactato desidrogenase, fosfatase alcalina (Zastrow; Pecoraro, 2014). A presença do Zn aumenta a ativação de proteínas e enzimas antioxidantes como a glutatona (GSH) e reduz enzimas oxidantes (Prasad, 2014).

A Absorção ocorre via enterócito da mucosa intestinal, principalmente no duodeno e jejuno. Posteriormente é transportado pelo sangue através da albumina tendo como destino o fígado (Yu et al., 2018). Depois de absorvido pelas células ele é distribuído no interior do citoplasma, núcleo e membrana celular. Também pode ser encontrado em organelas ou permanecer livre no citosol, sendo controlada pela presença da proteína metalotioneína (MT) e transportadores (Kimura; Kambe, 2016).

A homeostase do Zn é controlada pela presença da MT, que é uma proteína de baixo peso molecular e rica em cisteína. Desempenha papel fundamental na regulação dos níveis e na distribuição no espaço intracelular (Bizon et al., 2017).

A síntese de MT hepática e intestinal é estimulada pela suplementação de Zn na dieta, sendo que em casos de restrição implica em uma menor síntese de MT (Choi et al., 2018). Por outro lado, o uso de concentração do Zn em excesso aumenta a síntese de MT, que por sua vez, limita a absorção e aumenta a excreção (Coyle et al., 2002; Mammadova-Bach; Braun, 2019).

As maiores concentrações de MT são encontradas em órgãos como fígado, rim, intestino e pâncreas. Os dois últimos respondem prontamente às mudanças de concentração na dieta. Com isso, sugere-se que a MT auxilia na homeostase deste elemento nos tecidos (Coyle et al., 2002; Jeong; Eide, 2013).

Os transportadores pertencem a duas classes principais de proteínas chamados ZIP e ZnT. Os transportadores ZIP movem o Zn do espaço extracelular

para o citoplasma ou organelas, sendo identificados 14 transportadores. A classe ZnT move o Zn do citoplasma para a parte externa da célula, agindo de maneira oposta ao ZIP, sendo conhecidos 10 transportadores (Jeong; Eide, 2013; Kessels et al., 2016).

Nas duas situações são encontradas mudanças na estabilidade da proteína e localização celular em resposta a vários estímulos como de deficiência ou excesso de Zn (Kambe et al., 2015).

2.2 COBRE

Mineral traço considerado como nutriente essencial para o metabolismo animal, principalmente na fase inicial de frangos de corte. Apresenta diferentes funções no organismo como a ativação de vários processos oxidativos e efeitos bactericidas e bacteriostáticos na microbiota intestinal, além de estar envolvido no funcionamento do sistema nervoso central, no metabolismo dos ossos e no funcionamento do músculo cardíaco. Possui atuação diretamente relacionada a outros componentes da dieta incluindo molibdênio, manganês, zinco, ferro, proteínas e outros microelementos (Reeves, 2004). Importante durante a etapa de crescimento do animal, para o desenvolvimento dos ossos, do tecido conjuntivo, coração, cérebro e tem participação ativa na estimulação do sistema imune para combater infecções e reparar tecidos lesionados (Failla, 2003).

Os mecanismos pelos quais o cobre (Cu) melhora o desempenho de aves não são totalmente conhecidos, mas geralmente são atribuídos ao efeito antibacteriano das altas concentrações, para diversos microrganismos, no ambiente gastrointestinal (Lesson, 2009). No efeito antimicrobiano do Cu, foi proposto que os íons liberados pelo mineral induzem danos às membranas bacterianas gerando a perda de potencial de membrana e do conteúdo plasmático, de modo a ocorrer o influxo de íons de Cu no interior da célula com posterior dano oxidativo aos constituintes celulares e degradação do DNA. Já o efeito bacteriostático do Cu está ligado ao aumento de atividade enzimática e liberação de neuropeptídeos, sendo importante durante a etapa de crescimento do animal, para o desenvolvimento dos ossos, do tecido conjuntivo, coração, cérebro, possui participação ativa na estimulação do sistema imune para combater infecções e reparar tecidos lesionados. Possui efeito como modulador de mecanismo endógeno de defesa contra infecções

e inflamações. O efeito antimicrobiano do Cu contra *Escherichia coli* e outros patógenos no intestino de frangos de corte já foi demonstrado (Pang; Applegate, 2009). No entanto, há uma clara evidência de que as bactérias também desenvolvem resistência contra minerais (Argudín et al.; 2017).

Outra importante atuação é como formador de várias enzimas e proteínas de transporte, que acarreta em baixa mobilização e transporte de ferro (Fe) além de afetar negativamente os processos de síntese de colágeno e queratina. O Cu aliado ao Fe é importante na formação da hemoglobina e de numerosas metaloenzimas. Enquanto o Cu estimula a produção de hemácias nos animais e participa mais especificamente na formação do grupo heme, o Fe atua diretamente na formação da eritropoiese. Favorece o transporte de Fe para os tecidos via ceruloplasmina, uma globulina que contém Cu e é indispensável para a oxidação do Fe à forma férrica, permitindo que este se ligue a transferina e seja transportado e armazenado na forma de ferritina (Mcdowel, 1992). Participa da síntese de hemoglobina, e, apesar de não fazer parte dela, estimula a eritropoiese na formação do grupo heme (Mcnaughton; Day, 1979).

O metabolismo afeta o desenvolvimento das células T, que são importantes para a maturação do sistema imune dos animais (Mcdowel, 1992). Animais com sistema imune ativado apresentam concentrações de Cu e de ceruloplasmina no sangue consideravelmente maiores em relação a animais sadios (Koh et al., 1996). A nutrição pode ser usada como ferramenta para modular o sistema imune, a fim de produzir um estado ideal, pois as reações do sistema imunológico necessitam de energia e de vários nutrientes para a formação de células e de outras substâncias envolvidas no sistema de defesa do organismo (Klasing, 1998).

A resistência de pele é altamente correlacionada com a presença de colágeno, sendo o Cu responsável por influenciar a suscetibilidade de lesões, pois em níveis de déficit, apresentam menores concentrações de colágeno. O Cu é um cofator necessário para a enzima lisil-oxidase, que participa da ligação entre proteínas de colágeno e elastina, sendo fundamental para a integridade estrutural dos tecidos, através da formação de matrizes do tecido conjuntivo.

2.2.1 Níveis de Cobre na dieta

As fontes de Cu utilizadas pela indústria apresentam diferentes biodisponibilidades, dentre elas encontram-se o sulfato de cobre penta-hidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), o óxido de cobre (CuO) o carbonato de cobre (CuCO_3) e o sulfato de cobre monohidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) sendo o primeiro, normalmente considerado como 100% disponível em relação as outras fontes e por esse motivo, aliado ao seu custo, é o sal mais utilizado (Suttle, 2010).

O requerimento nutricional indicado para frangos de corte é de 6 a 8 mg/kg conforme NRC (1994) e pela Tabela brasileira para aves e suínos a recomendação é cerca de 10 mg/kg para fontes de origem inorgânica (Rostagno et al., 2017). A utilização de níveis de cobre acima dos requisitos apontados, em torno de 125 ppm, demonstraram melhorar o desempenho de aves de corte provavelmente relacionado a ação antibacteriana. Em experimentos com frangos de corte que utilizaram níveis mais elevados de 125 a 250 ppm constataram efeito de promotor de crescimento, devido à ação bactericida deste mineral sobre a microbiota intestinal (Pesti; Bakalli, 1996). Além da atuação como promotor de crescimento, os autores observaram que a inclusão de 125 ou 250 ppm de Cu na dieta é capaz de aumentar o ganho de peso e reduzir o colesterol do plasma e do músculo de frangos, por diminuir o nível de triglicerídeos no sangue (Pesti; Bakalli, 1996). A utilização do Cu em níveis supranutricionais pode ser responsável pela alteração no perfil de microrganismos presentes no trato gastrintestinal, provocando aumento do pH ileal e pode inibir seletivamente algumas bactérias patogênicas como a *Escherichia coli*, além de estimular bactérias benéficas como os lactobacilos (Pang; Applegate, 2009).

A suplementação extrapolada pode causar efeitos indesejáveis como casos de diarreias e de desequilíbrio de níveis séricos que podem afetar a disponibilidade de outros minerais com conseqüente aumento de excreção de resíduos poluentes ao meio ambiente. Dietas acima de 500 ppm reduzem significativamente o ganho de peso, o consumo de ração, a eficiência alimentar e causam sérios danos na mucosa interna de moelas de frangos e na mucosa estomacal de leitões conforme observado em outros estudos (Fisher et al., 1973; Poupoulis; Jensen, 1976). Já no caso de ausência na dieta, alguns dos sinais da sua deficiência são anemia, redução da pigmentação dos pelos, lã e plumas, restrição da atividade enzimática, fragilidade

óssea e menor espessura da cartilagem (Carlton; Henderson, 1962; Hill; Matrone, 1961).

2.2.2 Metabolismo do Cobre

O Cu é componente essencial de várias metaloenzimas que desempenham papel chave no metabolismo animal. As enzimas como citocromo c oxidase, superóxido dismutase (SOD) e a ceruloplasmina são Cu dependentes e algumas podem ser diretamente associadas a patologias específicas, por exemplo, a tirosinase relacionada a falta de pigmentação e a lisil oxidase a defeitos cardiovasculares.

A citocromo C oxidase é responsável pela catalisação da oxidação do citocromo C reduzido no final da transferência de elétrons da cadeia respiratória mitocondrial, sendo a presença do Cu essencial para completar o ciclo da respiração celular, com a consequente produção de energia (Scheiber et al., 2014). A enzima pode ser reduzida e ocorrer decréscimo nos níveis de respiração das mitocôndrias de determinados tecidos, quando os animais são alimentados com dietas deficientes em Cu (Suttle, 2010).

A ceruloplasmina é constituída de aproximadamente 90% do Cu sérico total, indispensável para a oxidação do Fe, convertendo íon ferroso (Fe^{2+}) em férrico (Fe^{3+}), permitindo a sua ligação à transferrina e o transporte e armazenamento na forma de ferritina (Mcdowel, 1992). Possui atuação no transporte e armazenamento do Fe e está presente nas reações de resposta inflamatória de fase aguda e na remoção de radicais livres, protegendo as células contra o dano oxidativo (Baierle et al., 2010).

Em casos de suplementação de Cu na dieta, será absorvido e armazenado no fígado de três diferentes formas: a primeira e a segunda de estocagem temporária destinada a trocas com o sangue e excreção pela bile e a terceira de armazenagem por longo tempo e secreção contínua para a corrente sanguínea (McDonald et al., 2002). Após ser movido da bile para o intestino, existe uma pequena reabsorção do Cu, fazendo com que continue atuando no organismo por um longo período. No caso de deficiência na dieta, ocorre excesso de Fe no fígado e insuficiência na medula, impossibilitando uma eficaz eritropoiese (Baierle et al., 2010).

A superóxido dismutase (SOD) catalisa a dismutação de O_2 para $2H_2O$, o que a torna fundamental para a ação de defesa antioxidante (Barbosa et al., 2010). Três tipos de SOD foram encontrados em tecidos, designados de Cu-Zn-SOD, Mn-SOD e SOD extracelular. O Cu-Zn-SOD e o SOD extracelular estão localizados no citosol e no fluído extracelular, respectivamente, enquanto o Mn-SOD está localizado na matriz mitocondrial (Koh et al., 1996). A enzima Cu-Zn-SOD tem presença abundante no fígado, rim, glóbulos vermelhos e tem ação iniciada em uma variedade de tecidos após a indução de uma resposta inflamatória proporcionando defesa contra os efeitos nocivos dos radicais livres do oxigênio. A diminuição de Cu-Zn-SOD pode levar a maior fraqueza, rigidez óssea e menor densidade mineral óssea (Barreiros et al., 2006; Disilvestro et al., 1991).

A lisil oxidase (LOX) está envolvida na formação e maturação normal das ligações cruzadas do colágeno e da elastina nos ossos e aortas. Sua função é adicionar um grupo hidroxil aos resíduos de lisina no colágeno, possibilitando as ligações cruzadas entre as fibras que dão rigidez e elasticidade à proteína estrutural. Nos casos de deficiência de Cu, ocorre uma falha na formação de colágeno, devido à diminuição da atividade da enzima LOX (McDowel, 1992; Starcher et al., 1964).

2.3 PROCESSOS DE REVESTIMENTO

A indústria utiliza diferentes estratégias para ampliar a vida útil de prateleira de alimentos perecíveis. Incorporar compostos nutracêuticos surgem com o intuito de oferecer um produto diferenciado no mercado e que proporcione ações benéficas à saúde humana (Barros et al., 2018). Neste cenário a encapsulação tem aplicabilidade em diversas áreas como: farmacêutica, cosmética, agropecuária e alimentícia (Rebello, 2009; Phisut, 2012).

O encapsulamento tem sido usado como uma forma de permitir que ingredientes líquidos e sólidos atuem como uma barreira contra interações ambientais ou químicas, até obter a liberação desejada (Carmo et al., 2015). Esta tecnologia de acondicionamento de partículas líquidas, gasosas ou sólidas, permite o formato em cápsulas comestíveis, sendo o material que forma a cápsula conhecido como encapsulante, material de parede ou cobertura e o material encapsulado chamado de agente encapsulado ou ativo, núcleo ou preenchimento (Azeredo, 2005; Suave et al., 2006). A distinção entre as formas de encapsulamento, micro

encapsulamento e nano encapsulamento é basicamente o tamanho da cápsula. Segundo Rebello (2009), as cápsulas podem ser classificadas quanto ao diâmetro em três categorias: macrocápsulas ($>5000 \mu\text{m}$), microcápsulas ($0,2-5000 \mu\text{m}$) e nanocápsulas ($<0,2 \mu\text{m}$).

A escolha de um agente encapsulante específico depende de vários fatores, dentre eles: não reatividade com o material a ser encapsulado, o método usado para formar a microcápsula, o mecanismo de liberação ideal, as propriedades químicas do núcleo e da parede, além de fatores econômicos (Azeredo, 2005; Favaro Trindade; Pinho; Rocha, 2008). Cada tipo de encapsulante tem vantagens e desvantagens para o encapsulamento e estão relacionados à proteção, correta liberação de ingredientes funcionais, o custo, a facilidade de uso, a biodegradabilidade e a biocompatibilidade (Weiss; Takhistov; Mcclements, 2006).

Os agentes encapsulantes comumente utilizados como ingredientes alimentícios são: polissacarídeos, celulose, lipídios, proteínas e compostos inorgânicos. Entre os polímeros de origem natural, polissacarídeos como alginato de sódio, carragenina e quitosana têm sua aplicação em sistemas de encapsulamento. Estes compostos podem aproveitar determinadas regiões do alimento, como por exemplo, um local mais ácido na superfície do produto que favorece o efeito dos ácidos orgânicos usados como conservantes (Maia, 2013).

Entre os materiais que podem ser encapsulados para uso são utilizados: óleos, vitaminas, proteínas hidrolisadas, ácidos, aminoácidos, aromatizantes, minerais, corantes, enzimas e microrganismos (Favaro Trindade; Pinho; Rocha, 2008).

Em estudo realizado por Yin et al., (2022), os autores relataram os efeitos da inclusão de microminerais inorgânicos revestidos e não-revestidos em dietas com fontes de gordura animal e vegetal, sobre o desempenho, características de abate e status antioxidante de frangos de corte. Os minerais foram revestidos por um material denominado carboximetilcelulose, que é uma celulose solúvel em água, com propriedades não tóxicas e biodegradáveis. Em conclusão, a suplementação de microminerais revestidos melhorou o desempenho de crescimento, status antioxidante, retenção de microminerais no soro e metabolismo lipídico das aves.

Em outra pesquisa com o uso de minerais revestidos Lu et al., (2020), avaliaram a eficácia entre fontes de Cu e Zn inorgânicos, orgânicos e protegidos sobre o desempenho, economia e retenção. Os minerais foram revestidos através de

uma matriz de carboidrato em micropelotas. Os autores observaram que os minerais revestidos demonstraram em termos de prevenção e de interações com outros nutrientes sensíveis em pré-misturas e dietas, resultados vantajosos em comparação as outras fontes quanto ao desempenho, economia e retenção dos minerais para frangos de corte.

Na presente pesquisa o revestimento lipídico dos minerais foi desenvolvido através de um processo industrial exclusivo, no qual incorpora-se uma diferenciada fonte de triglicerídeos de cadeia média que possuem o papel de isolar a substância interna. Desta forma evita-se o contato direto com o suco gástrico, à ação de enzimas e com isso favorece a utilização de menores dosagens devido a liberação de forma lenta e gradual no trato gastrointestinal (TGI). Esta forma de liberação torna o produto mais estável e promove no intestino um ambiente desfavorável ao desenvolvimento de bactérias patogênicas.

2.4 LESÕES DE PELE E PÉS

O aparecimento das lesões de pés tem sido associado à dieta, à alta densidade de alojamento e à problemas de manejo, principalmente relacionados à qualidade da cama do aviário e a umidade (Bilgili et al., 2009). Já as lesões de carcaça ocorrem principalmente durante as fases finais de criação e o problema se acentua durante o abate. O teor de umidade da cama também tem grande influência sobre a incidência das lesões na carcaça de frango, além de propiciar ambiente favorável ao desenvolvimento de bactérias que podem contaminar a pele dos frangos (Angelo et al., 1997; Oliveira et al., 2002).

A pododermatite é caracterizada por um processo de inflamação e lesões necróticas na superfície plantar dos coxins plantares e dedos de frangos de corte, as quais variam de lesões superficiais à profundas ou até úlceras profundas (Sheperd; Fairchild, 2010). As lesões graves podem interferir no desempenho como ao diminuir o consumo de ração, devido a dor ocasionada ao procurar alimento e diminuir o ganho de peso (Martland, 1985). Estas lesões são uma preocupação para a indústria como causa de problemas de bem-estar das aves, e serve como um indicador das condições durante período de alojamento nas granjas (Haslam et al., 2007). As avaliações referentes a qualidade das patas, são realizadas com diferentes sistemas de pontuação para determinar a gravidade da lesão encontrada,

na qual considera-se em ordem crescente desde a ausência de lesões até grau de lesões severas nos pés. Bilgili et al., (2006) utiliza um sistema de 0 a 2 pontos, a pontuação de Ekstrand et al., (1998) usa uma escala de 1 a 3 e Pagazaurtundua; Warriss, (2006) definiram valores de 0 a 3 como forma de pontuação.

Existem diversos fatores que interferem na preservação das patas como exemplo a presença de umidade elevada e de forma contínua que faz com que a almofada da pata amoleça e facilite a presença de lesões (Mayne, 2005). Estas se tornam mais graves na mesma proporção da presença de excretas com aspecto líquido e cama com alta umidade. Outro ponto é a alta densidade do lote, na qual há um maior número de aves bebendo água, e com o aumento do consumo, as excretas podem ficar mais aquosas e contribuir com uma maior umidade da cama Feddes et al., (2002). Além disso, a nutrição das aves e os componentes utilizados nas dietas também interferem diretamente com um maior consumo de água, que aumenta a umidade das excretas e da cama e conseqüente piora das lesões nas patas (Francesch; Brufau, 2004). De acordo com Harms e Simpson (1982), dietas das aves com alto teor de sal apresentaram excretas mais úmidas que resultaram em piores condições da cama e tiveram influência direta em lesões graves nas patas. Nos casos de altos níveis de eletrólitos como cloro, sódio e potássio, também foram relatados aumento do consumo de água, que podem gerar o mesmo problema com a umidade e piora da qualidade da cama. Fuhrmann e Kamphues (2016), observaram aumento da umidade da cama e severidade das lesões em frangos de corte alimentados com uma dieta com alto nível de potássio.

O aparecimento de lesões principalmente na região do dorso e das coxas em frangos de corte criados sob alta densidade está relacionado ao empenamento, pois as penas das aves funcionam como proteção da pele (Garcia et al., 2002). Assim, é possível que os teores de umidade e nitrogênio aumentados com a excreção fecal das aves no aviário propiciem o desenvolvimento bacteriano e a severidade de lesões de carcaça. Os fatores de problemas relacionados ao manejo são representados principalmente pela alta densidade encontrada, pois favorece maior contato entre os animais. O programa de iluminação escolhido aumenta o período de atividade da ave, podendo haver maior ocorrência de lesões. Fatores imunossupressores conferem à ave uma debilidade na resposta imunológica contra agentes infecciosos (Berchieri Jr; Macari, 2000).

A pele é o maior órgão do corpo formada pela derme e epiderme. Sua resistência está totalmente relacionada à quantidade de colágeno e a qualquer fator nutricional (Rossi et al., 2007). Aliado ao mau empenamento, a baixa resistência da pele contribui para reduzir o desempenho e a qualidade de carcaça de frangos de corte (Fallavena, 2001). Portanto, a presença de colágeno garante a manutenção da qualidade da pele, visto que cerca de 5% das condenações de carcaça no processamento ocorrem devido a lesões de pele (Leeson; Summers, 2005). O colágeno é o principal componente dos ligamentos, tendões, constituindo ainda a rede protéica (endomísio, perimísio e epimísio) responsável pela estruturação e suporte muscular, além de fornecer a matriz sobre a qual ocorre a calcificação nas cartilagens e ossos (Ramos; Gomide, 2009). O colágeno forma o principal tipo de fibra extracelular, sendo a proteína mais abundante no organismo do animal, representando cerca de 20 a 25% do total de proteínas em mamíferos (Sarcinelli et al., 2007). Atribui-se ao Zn a manutenção e melhoria na resistência da pele por sua ligação com a síntese de ácido nucléico e colágeno, impactando positivamente no número de camadas de células epiteliais e aumento da flexibilidade e resiliência da pele, refletindo em melhoria das carcaças de frango ao abate (Rossi et al., 2007).

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A inclusão do Cu e do Zn possui papel essencial para a saúde e desenvolvimento dos frangos de corte. Contudo, é necessário estabelecer devidamente os níveis nutricionais utilizados para que não ocorram situações de déficit ou excesso de inclusão na dieta.

As fontes utilizadas e as quantidades fornecidas interferem diretamente na biodisponibilidade do mineral e na absorção realizada pelo animal. Devido à complexidade deste processo, desde a ingestão até a chegada ao lúmen intestinal, podem ocorrer uma série de interações e antagonismos, os quais prejudicam a retenção e o aproveitamento feito pelo animal.

As concentrações adequadas do Cu e Zn na dieta para frangos de corte não estão completamente elucidadas. Pesquisas com diferentes concentrações e fontes de minerais são necessárias para contribuir para o uso de maneira eficiente aos animais proporcionando melhor desempenho e menores perdas.

3. REFERÊNCIAS

- ANGELO, J.C.; GONZALES, E.; KONDO, N., ANZAI, N.H.; CABRAL, M.M. Material de cama: qualidade, quantidade e efeito sobre o desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, n.1, p.121-130, 1997.
- ARGUDÍN, M., DEPLANO, A.; MEGHRAOUI, A.; DODÉMONT, M.; HEINRICH, A.; DENIS, O. et al.; Bacteria from animals as a pool of antimicrobial resistance genes. **Antibiotics**, 2017. 6:12. Doi: 10.3390/antibiotics6020012.
- AZEREDO, H. M. C. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. **Alimentos e nutrição**, v. 16, n. 1, p. 89- 97, 2005.
- BAIERLE, M. et al.; Possíveis efeitos do cobre sanguíneo sobre parâmetros hematológicos em idosas. **Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial**, Rio de Janeiro, v.46, n.6, p.463-470, 2010.
- BARBOSA, K. B. F. et al. Oxidative stress: concept, implications and modulating factors. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 23, n. 4, p.629-643, 2010.
- BARREIROS, A. L. B. S.; DAVID, J. M.; DAVID, J. P. Estresse oxidativo: relação entre geração de espécies reativas e defesa do organismo. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, p.113-123, 2006.
- BARROS, D.; CASTRO E.; MOURA, D.; OLIVEIRA, M.; ROCHA T.; FERREIRA S., FONTE R.; BEZERRA R.; Potential Application of Microencapsulation in the Food Industry. **International Journal of Advanced Research**, [S. l.], v. 6, n. 12, p. 956–976, 2018. DOI: 10.21474/ijar01/8222
- BATAL, A.B., PARR, T.M. and BAKER, D.H. Zinc bioavailability in tetrabasic zinc chloride and the dietary zinc requirement of chicks fed a soy concentrate diet. **Poultry Science** 80: 87-90, 2001.
- BERCHIERI, A.; MACARI, M. Doença das Aves. **FACTA – Fundação APINCO de Ciência e Tecnologia Avícolas**, Campinas, SP, p. 31–36, 2000.
- BILGILI, S. F., M. A. ALLEY, J. B. HESS, AND M. NAGARAJ. Influence of age and sex on footpad quality and yield in broiler chickens reared on low and high density diets. **Journal Applied Poultry Research**. 15:433–441, 2006.
- BILGILI, S.F.; HESS, J.B.; BLAKE, J.P.; MACKLIN, K.S.; SAEMAHAYAK, B. SIBLEY, J.L. Influence of bedding material on footpad in broiler chickens. **Journal of Applied Poultry Research**, v.18, p.583-589, 2009.
- BIZON, A.; JEDRYCZKO K.; MILNEROWICZ, H. The role of metallothionein in oncogenesis and cancer treatment. **Postepy Hig Med Dosw**, v.7, p.98-109, 2017. DOI 10.5604/01.3001.0010.3794.

BRITO, J.A.G. et al. Uso de microminerais sob a forma de complexo orgânico para frangas de reposição no período de 7 a 12 semanas de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.35, n.4, p.1342-1348, 2006.

CARLTON, W.W.; HENDERSON, W. Histopathological lesions observed in the long of chickens fed a copper-deficient diet. **Poultry Science**, v.41, p.1634, 1962.

CARMO, E. L. D.; FERNANDES, R. V. D. B.; BARROS, R. V.; BORGES, S. V. Encapsulação por spray drying, novos biopolímeros e aplicações na tecnologia de alimentos. **Journal of Engineering and Chemistry**, v. 1, n. 2, p. 30-44, 2015.

CHENG, J.; KORNEGAY, E.T.; SCHELL, T. Influence of lysine on the utilisation of zinc from zinc sulfate and a zinc-lysine complex by pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.76, p.1064-1074, 1998.

CHOI S.; LIU X.; PAN Z. Zinc deficiency and cellular oxidative stress: prognostic implications in cardiovascular diseases. **Acta Pharmacol. Sin.** 39, 1120-1132. 2018. <https://doi.org/10.1038/aps.2018.25>.

COYLE, P. et al. Metallothionein: the multipurpose protein. **Cell Mol Life Sci**, vol. 59, n.4, p.627-647, 2002.

DARDENNE, M. Zinco e função imunológica. **European Journal Clinical Nutrition** 56 (Supl. 3), S20–S23, 2002. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601479>.

DEWAR, W.A., WIGHT, P.A.L., PEARSON, R.A. and GENTLE, M.J. Toxic effects of high concentrations of zinc oxide in the diet of the chick and laying hen. **British Poultry Science** 24: 397-404, 1983.

DISILVESTRO, R. A.; DAVID, E. A.; COLLIGNON, C. Interleukin 1 slowly increases lung fibroblast Cu-Zn superoxide dismutase activity levels. **Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine**, New York, v. 197, p.197-200, 1991.

DOMINGUES, C.H.F., SGAVIOLI, S., PRAES, M.F.F.M., CASTIBLANCO, D.M.C., MARCHIZELI, P.C.A., PEREIRA, A.A., DUARTE, K.F. and JUNQUEIRA, O.M. Use of nicarbazin, salinomycin and zinc oxide as alternative molting methods for laying hens. **Brazilian Journal of Poultry Science** 16 (2): 25-30, 2014.

EKSTRAND, C., T. E. CARPENTER, I. ANDERSSON, AND B. ALGERS. Prevalence and footpad in broilers in Sweden. **British Poultry Science** 39:318–32, 1998.

ENSMINGER, M.E., OLDFIELD, J.E. and HEINEMANN, W.W. In: **Feeds and Nutrition**. The Ensminger Publishing Company Clovis CA. Pp: 8-120, 1990.

FAILLA, M. L. Trace elements and host defense: advances and continuing challenges. **Journal of Nutrition**, [s.l.], v. 133, Suppl. 5, p.1443S-1447S, 2003.

FALLAVENA, L. C. B. et al. Presence of avipoxvirus DNA in avian dermal squamous cell carcinoma. **Avian Pathology**, USA, v. 31, n. 3, p. 241-246, 2001.

FAVARO-TRINDADE, C. S.; PINHO, S. C.; ROCHA, G. A. Revisão: microencapsulação de ingredientes alimentícios. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.11, p.103-112, 2008.

FEDDES, J. J., E. J. EMMANUEL, AND M. J. ZUIDHOFT. Broiler performance, body weight variance, feed and water intake, and carcass quality at stocking densities. **Poultry Science** 81:774–779, 2002.

FISHER, G. LAURSEN-JONES, HILL KJ, HARDY WS. The effect of copper sulfate on performance and the structure of the gizzard in broilers. **British Poultry Science**. 14:55–68, 1973. Doi: 10.1080/00071667308415998.

FRANCESCH, M.; BRUFAU, J. Nutritional factors affecting excreta/litter moisture and quality. World's **Poultry Science Journal** 60, 64–75., 2004.

FUHRMANN, R.; KAMPHUES, J. Effects of fat and source as well as of calcium and potassium in the diet on fat excretion and saponification, litter quality and foot pad health in broilers. **European Poultry Science** 80, 1–12, 2016.

GAO, J., LV, Z., LI, C. et al. Maternal zinc supplementation enhanced skeletal muscle development through increasing protein synthesis and inhibiting protein degradation of their offspring. **Biological Trace Elements Research** 162 ,309–316 2014. <https://doi.org/10.1007/s12011-014-0122-5>.

GARCIA, R.G.; MENDES, A.A.; GARCIA, E.A. NÄÄS, I.A.; MOREIRA, J.; ALMEIDA, I.C.L.; TAKITA T.S. Efeito da densidade de criação e do sexo sobre o empenamento, incidência de lesões na carcaça e qualidade da carne de peito de frangos de corte. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 4, n. 1, 2002.

GIBSON, S.W., STEVENSON, M.H. and JACKSON, N. Comparison of the effects of feeding diets supplemented with zinc oxide or zinc acetate on the performance and tissue mineral of mature female fowls. **British Poultry Science** 27: 391-402, 1986.

GUPTA, R.P., VERMA, P.C. and GARG, S.L. Effect of experimental zinc deficiency on thyroid gland in guinea-pigs. **Annals Nutrition Metabolism** 41: 376-381, 1997.

HARMS, R. H., AND C. F. SIMPSON. 1982. Relationship of growth depression from salt deficiency and biotin intake to foot pad of turkey poults. **Poultry Science** 61:2133–2135.

HASLAM, S. M., T. G. KNOWLES, S. N. BROWN, L. J. WILKINS, S. C. KESTIN, P. D. WARRISS, AND C. J. NICOL. Factors affecting the prevalence of foot pad, hock burn and breast burn in broiler. **British Poultry Science**. 48:264–275, 2007.

HENRIQUES, G. S.; HIRATA, M. H.; COZZOLINO, S. M. F. Aspectos recentes da absorção e biodisponibilidade do zinco e suas correlações com a fisiologia da

isoforma testicular da enzima conversora de angiotensina. **Revista de Nutrição**, Campinas, v.16, p.333-345, 2003.

HILL, C.H. & MATRONE, G. Studies on copper and iron deficiency in growing chickens. **Journal of Nutrition**, 73: 425-431, 1961.

JENSEN, L.S. Precipitation of a selenium deficiency by high dietary levels of copper and zinc. **Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine** 149: 113-116, 1975.

JEONG, J.; EIDE, D.J.; The SLC39 family of zinc transporters. 2013. **Mol Asp Med**, v.34, n.2-3, p.612–619, 2013.

KAMBE, T. The Physiological, Biochemical, and Molecular Roles of Zinc Transporters in Zinc Homeostasis and Metabolism. **Physiol Rev**, v. 95, n.3, p.749-784, 2015.

KESSELS, J. E. Influence of DNA-methylation on zinc homeostasis in myeloid cells: Regulation of zinc transporters and zinc binding proteins. **J Trace Elem Med Biol**, v.37, p.125-133, 2016.

KIMURA, T.; KAMBE, T. The Functions of Metallothionein and ZIP and ZnT Transporters: An Overview and Perspective. **Int J Mol Sci**, v.17, n.3, p.336-358, mar. 2016.

KLASING, K.C. Nutritional modulation of resistance to infectious diseases. **Poultry Science**, v. 77, p. 1119–1125, 1998.

KOH, T. S., PENG, R. K., KLASING, K. C. Dietary copper level affects copper metabolism during lipopolysaccharide-induced immunological stress in chicks. **Poultry Science**, Champaign, v. 75, p.867-872, 1996.

LEESON, S. Copper metabolism and dietary needs. **World's Poultry Science Journal**, [S. l.], v. 65, n. 3, p. 353–366, 2009. DOI: 10.1017/S0043933909000269.

LEESON, S. and CASTON, L. Using minimal supplements of trace minerals as a method of reducing trace mineral of poultry manure. **Animal Feed Science and Technology** 142: 339-347, 2008.

LESSON, S. and SUMMERS, J.D. **Nutrition of the Chicken**. 4th Edn., University Books, Ontario, 2001.

LEESON, S.; SUMMERS, J.D. **Commercial poultry nutrition**. 4.ed. Guelph: University Books, 2005. 398p.

LIU, Z.H., LU, L., LI, S.F., ZHANG, L.Y., XY, L., ZHANG, K.Y. and LUO, X.G. Effects of supplemental zinc source and level on growth performance, carcass traits and meat quality of broilers. **Poultry Science** 90: 1782-1790, 2011.

LU, W. B.; KUANG, Y. G.; MA, Z. X.; LIU, Y. G. The effect of feeding broiler with inorganic, organic, and coated trace minerals on performance, economics, and retention of copper and zinc. **Journal of Applied Poultry Research**, [S. l.], v. 29, n. 4, p. 1084–1090, 2020. DOI: 10.1016/j.japr.2020.10.002.

MAIA, J. L. Desenvolvimento de microcápsulas contendo as antocianinas presentes no corante do extrato do jambo por polimerização interfacial. 2013. 83f. **Dissertação (mestrado em engenharia química)** – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

MAMMADOVA-BACH E., BRAUN, A. Zinc homeostasis in platelet-related diseases. **Int J Mol Sci**, v.20, n.2, 5258-5274, 2019.

MARTLAND, M. F. Ulcerative in broiler chickens: The effects of wet litter. **Avian Pathology**. 14:353–364. 1985.

MAYNE, R. K. A review of the aetiology and possible causative factors of foot pad in growing turkeys and broilers. **World's Poultry Science Journal** 61:256–267, 2005.

MCDONALD, P.; EDWARDS R. A. & GREENHALGH, J.F.D. ET AL. **Animal Nutrition**, 6th ed. Pearson: Edinburgh, 693p, 2002.

MCDOWEL, L. R. Copper and molybdenum – minerals in animal and human nutrition. **Academy Press Inc**. San Diego – Califórnia, p. 178-204, 1992.

MCNAUGHTON, J.L. & DAY, E. Effect of dietary Fe to Cu ratios on hematological and growth responses of broiler chickens. **Journal of Nutrition**, 109 (4). 559-564, 1979.

NAZ, S., IDRIS, M., KHALIQUE, M., ALHIDARY, I., ABDELRAHMAN, M., KHAN, R., CHAND, N., FAROOQ, U. and AHMAD, S. The activity and use of zinc in poultry diets. **World's Poultry Science Journal** 72: 159-167, 2016.

NRC, Nutrient Requirements of Poultry. 9th as. Ed. **National Academy Press**, Washington, DC. USA. 1994.

OLIVEIRA, M. C.; GOULART, R. B.; SILVA, J. C. N. Efeito de duas densidades e dois tipos de cama sobre a umidade da cama e a incidência de lesões na carcaça de frango de corte. **Ciência Animal Brasileira**, v. 3, n. 2, p. 7-12, 2002.

PANG, Y.; PATTERSON, J.A.; APPLGATE, T. J.; The influence of copper concentration and source on ileal microbial. **Poultry Science** 88: 586-592, 2009.

PAGAZAURTUNDU, A., AND P. D. WARRISS. Levels of foot pad in broiler chickens reared in 5 different systems. **British Poultry Science** 47:529–532, 2006.

PESTI, G.M. and BAKALLI, R.I. Studies on the feeding of cupric sulfate pentahydrate and cupric citrate to broiler chickens. **Poultry Science** 75: 1086-1091, 1996.

PHISUT, N. Spray drying technique of fruit juice: some factors influencing the properties of product. **International Food Research**, v. 19, p. 1297-1306, 2012.

POUPOULIS, C. JENSEN, L. S. Effect of high dietary copper on gizzard integrity. **Poultry Science**. 55:113–21, 1976. Doi: 10.3382/as.0550113.

PRASAD, A.S. Zinc is an antioxidant and anti-inflammatory agent: its role in human health. **Front. Nutr.** 1,1-14, 2014. <https://doi.org/10.3389/fnut.2014.00014>.

RAHMAN, H., QURESHI, M.S. and KHAN, R.U. Influence of dietary traits and seminal plasma enzymes and trace minerals of Beetal bucks. **Reproduction in Domestic Animals** 48: 1004-1007, 2014.

RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. M. Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias. Viçosa: UFV, 599 p, 2009.

REBELLO, F. F. P. Microencapsulação de ingredientes alimentícios. **Revista Agro Geoambiental**, v. 1, n. 3, p. 134- 144, 2009.

REEVES, P. G.; DEMARS, L. C. Copper deficiency reduces iron absorption and biological life in male rats. **Journal of Nutrition** 134: 1953-1957, 2004.

ROSSI, P.; RUTZ, F.; ANCIUTI, M. A.; RECH, J. L.; ZAUK, N. H. F. Influence of Graded Levels of Organic Growth Performance and Carcass Traits of Broilers. **Journal of Applied Poultry Research**, v.16, p. 219–225, 2007.

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

RUZ, M., CODOCEO, J., GALGANI, J., MUNOZ, L., GRAS, N., MUZZO, S., LEIVA, L. and BOSCO, C. Single and multiple selenium-zinc iodine deficiencies affect rat thyroid and ultra structure. **Journal of Nutrition** 129: 174-180, 1999.

SAHRAEI, M. Effect of diferente zinc sources on tibia bone morphology and ash content of broiler chickens. **Adv Biom Res**, v.6, n.13, p.128-132. 2012.

SANDOVAL, M., HENRY, P.R., AMMERMAN, C.B., MILES, R.D. and LITTELL, R.C. Relative bioavailability of supplemental inorganic zinc sources for chicks. **Journal of Animal Science** 75: 3195-3205, 1997.

SARCINELLI, M. F.; VENTURINI, K. F.; SILVA, L. C. Estrutura da carne. **Boletim Técnico**, Espírito Santo, 14p, 2007.

SCHEIBER, I. F., J. F. MERCER, AND R. DRINGEN. Metabolism and functions of copper in brain. **P. Neruobio**. 116:33-57, 2014.

SHEPHERD E. M., B.D. FAIRCHILD, Footpad in poultry, **Poultry Science**, 89, 2043-2051, 2010. <https://doi.org/10.3382/as.2010-00770>.

STARCHER, B., HILL, C. H., MATRONE, G. Importance of dietary copper in the formation of aortic elastin. **Journal of Nutrition**, 82: 318-322, 1964.

SUAVE, J., DALL'AGNOL, E.C., PEZZIN, A.P.T., SILVA, D.A.K., MEIER, M.M., SOLDI, V. Microencapsulação: Inovação em diferentes áreas. **Health and Environment Journal**, 7(2), pp. 12-20, 2006.

SUTTLE, N.F. Mineral Nutrition of Livestock. 4th Edition, CABI, Cambridge, UK. 2010.

TABATABAIE, M. M., H. ALIARABI, A. A. SAKI, A. AHMADI, AND S. A. HOSSEINI SIYAR. Effect of sources and levels of egg quality and laying hen performance. **Pak. Journal. Biology Science**. 10:3476-3478, 2007.

VIRDEN, W.S.; YEATMAN, J.B.; BARBER, S.J.; et al. Hen Mineral Nutrition Impacts Progeny Livability. **Journal of Applied Poultry Research**, v.12, p.411–416. 2003.

WEISS, J.; TAKHISTOV, P.; MCCLEMENTS, J. Functional materials in food nanotechnology. **Journal of Food Science**, v. 71, p. 107-116, n. 9, 2006.

YIN, DAFEI; TONG, TIEJIN; MOSS, AMY F.; ZHANG, RUIYANG; KUANG, YINGGU; ZHANG, YONG; LI, FANGFANG; ZHU, YUJING. Effects of Coated Trace Minerals and the Fat Source on Growth Performance, Antioxidant Status, and Meat Quality in Broiler Chickens. **Journal of Poultry Science**, [S. l.], v. 59, n. 1, p. 56–63, 2022. DOI: 10.2141/jpsa.0200108.

YU, X. Zinc Metallochaperones reactivate mutant p53 using an ON/OFF switch mechanism: a new paradigm in cancer therapeutics. **Clin Cancer Res**, v. 24, n. 18, p. 4505-4517, 2018.

ZASTROW, M. L.; PECORARO, V. L. Designing Hydrolytic Zinc Metalloenzymes. **Biochem**, v. 53, n.6, p. 957-978, 2014.

CAPÍTULO II – SUPLEMENTAÇÃO DE COBRE E ZINCO COM REVESTIMENTO LIPÍDICO PARA FRANGOS DE CORTE

RESUMO

A indústria no setor de alimentação animal ainda não estabeleceu a quantidade do Cu e do Zn na dieta para frangos de corte e acaba utilizando concentrações em excesso em busca do atendimento da demanda nutricional das aves. Esta situação favorece a ocorrência de interações antagônicas entre os minerais e causa um menor aproveitamento pelo organismo do animal e como consequência ocorre maior excreção e contaminação do meio ambiente. Desta forma, é necessário adequar a inclusão do Cu e do Zn de maneira eficiente e que não comprometa a saúde e o desenvolvimento do animal. Neste contexto o objetivo da pesquisa foi de avaliar o efeito da suplementação do Cu e Zn com revestimento lipídico sobre o desempenho, resistência de pele e intestinal, lesões de pés e de moela de frangos de corte de 1 a 42 dias de idade. Houve 2 experimentos, onde foram utilizados 880 pintos de corte machos Cobb distribuídos em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro tratamentos e 10 repetições com 22 aves cada. No experimento 1, os tratamentos continham óxido de zinco (ZnO) com presença e ausência de revestimento lipídico e em concentrações de 65 e 265 ppm. A dieta com 265 ppm de concentração promoveu melhor desempenho com maior ganho de peso (GP) e menor conversão alimentar (CA). A forma revestida apresentou maior consumo de ração (CR), GP e menor escore de lesões de pés. No experimento 2, os tratamentos continham sulfato de cobre penta-hidratado (CuSO₄.5H₂O) com presença e ausência de revestimento lipídico e em concentrações de 10 e 150 ppm. Frangos alimentados com dieta de 10 ppm de concentração apresentaram maior CR, indicando uma rejeição de ingestão em comparação a maior concentração. Houve maior GP na interação de 10 ppm na forma revestida e de 150 ppm na forma não-revestida. Observou-se também melhor CA e menor escore de lesões nos pés para a concentração de 150 ppm. Nestes experimentos não foram observadas diferenças para as variáveis de qualidade de pele, resistência intestinal e lesões de moela. Conclui-se que os minerais revestidos possuem potencial para melhorar o desempenho de frangos de corte nas concentrações avaliadas.

Palavras-chave: Desempenho; Lesões de pés; Minerais revestidos; Resistência de pele.

CHAPTER II – COPPER AND ZINC SUPPLEMENTATION WITH LIPID COATING FOR BROILER CHICKENS

ABSTRACT

The industry of the animal feed has not yet established the amount of Cu and Zn in the diet for broiler chickens and use excessive concentrations to find the nutritional demand of themselves. This situation further the occurrence of antagonistic interactions between minerals and causes worse use by the animal's organism and, as a consequence, increase the excretion and contamination of the environment. Therefore, it is necessary to adjust the inclusion of Cu and Zn efficiently and that does not compromise the health and development of the animal. In this context, the aim of the research was to evaluate the effect of Cu and Zn supplementation with lipid coating on performance, skin and intestinal resistance, footpad and gizzard lesions of broilers from 1 to 42 days old. There were 2 experiments, where 880 Cobb male broiler chicks were distributed in a completely randomized design (CRD) with four treatments and 10 replications with 22 birds each. In experiment 1, the treatments contained zinc oxide (ZnO) with and without a lipid coating in concentrations of 65 and 265 ppm. The diet with 265 ppm concentration promoted better performance with better weight gain (WG) and feed conversion rate (FCR). The coated form showed higher feed intake (FI), WG and lower footpad injury score. In experiment 2, the treatments contained copper sulphate pentahydrate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) with and without a lipid coating and in concentrations of 10 and 150 ppm. The broilers that were fed with a diet of 10 ppm of concentration showed better FI, indicating a rejection of ingestion with the another concentration. There were WG in the interaction of 10 ppm in the coated form and with 150 ppm in the uncoated form. A better FCR and footpad injury score were also observed for the concentration of 150 ppm. In this experiments, no differences were observed for the variables of skin quality, intestinal resistance and gizzard lesions. It is concluded that the coated minerals have the potential to improve the performance of broilers at the evaluated concentrations.

Keywords: Coated minerals; Footpad injuries; Skin resistance; Performance.

1. INTRODUÇÃO

A inclusão do Cobre (Cu) e do Zinco (Zn) na dieta de frangos de corte é essencial para seu desenvolvimento, podendo melhorar o desempenho e a saúde. Possuem papel fundamental nas rotas metabólicas para o crescimento do animal, atuam como componentes estruturais de órgãos e tecidos do corpo e como catalizadores e reguladores de processos enzimáticos. No entanto, a indústria ainda não estabeleceu a inclusão destes microminerais nas dietas e os profissionais responsáveis acabam utilizando dosagens acima das recomendações técnicas, em busca do melhor desempenho e por receio de não atender a demanda nutricional das aves.

Desta forma a inclusão em excesso está ligada à uma série de problemas como casos de toxicidade, diarreias e o desequilíbrio dos níveis séricos dos animais. Além disso, este cenário proporciona a ocorrência de interações antagônicas entre os próprios minerais ou com outros nutrientes da dieta e podem formar complexos insolúveis. Neste caso, os microminerais tornam-se indisponíveis à absorção e não ocorre a retenção e o devido aproveitamento pelo organismo do animal e proporciona maior nível de excreção, o qual contamina o meio ambiente (Batal, 2001). Outra consequência é o aumento do custo financeiro da formulação da ração (Sakomura et al., 2014).

Sendo assim, a indústria deve procurar maneiras de adequar e reduzir a concentração dos minerais nas dietas, de forma que não venha a comprometer a saúde e o desenvolvimento das aves. A tecnologia de suplementação do Cu e Zn revestidos por triglicerídeos de cadeia média, auxilia na sua proteção desde a ingestão até a chegada ao lúmen intestinal, local de maior aproveitamento dos nutrientes. Poucos estudos foram conduzidos com o uso de fontes minerais revestidos, em busca de diminuir os possíveis efeitos adversos e para determinar a devida inclusão na dieta das aves. Portanto, o objetivo deste trabalho foi de avaliar a suplementação do Cu e Zn inorgânico com revestimento lipídico e sua influência sobre o desempenho, resistência da pele e intestino, lesão de pés e moela em frangos de corte.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 EXPERIMENTO 1

2.1.1 ANIMAIS E INSTALAÇÕES

Todos os procedimentos realizados foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Granja Santa Lúvia Produções e Pesquisa Agropecuária, sob protocolo nº 009/2022. Foram utilizados 880 frangos de corte machos da linhagem comercial Cobb 500, oriundos de incubatório comercial, de 1 a 42 dias de idade, sendo vacinadas contra a doença de Marek no incubatório e selecionadas na chegada do alojamento. As aves foram alocadas em 40 boxes experimentais de 2,72m² cada, sobre cama maravalha, contendo bebedouros nipple e comedouro infantil até os 7 dias e depois substituído pelo comedouro tubular de 18 kg. A temperatura visou o conforto das aves durante todo o período experimental, conforme recomendado manual da linhagem Cobb (2016). Durante os 7 primeiros dias foi utilizada luz incandescente contínua por 24h e após esse período foi utilizado programa de luz com 6 horas de escuro por dia. Todos os boxes verificados diariamente quanto a presença de aves doentes e mortas, sendo o número do box, idade e peso corporal das aves registradas.

2.1.2 DIETAS EXPERIMENTAIS E DESEMPENHO ZOOTÉCNICO

As dietas à base de milho e farelo de soja formuladas conforme apresentado na Tabela 1. Foi utilizado um programa de alimentação (inicial – 1 a 21 dias; crescimento – 22 a 35 dias; terminação – 36 a 42 dias) e as rações fornecidas à vontade. No 1º, 21º e 42º dia de idade, todas as aves dos boxes foram pesadas para determinar ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA) e o consumo de ração (CR). O GP é registrado durante as pesagens pré-determinadas e anotado o ganho de peso ocorrido em comparação a pesagem anterior. O CR é avaliado através da diferença entre a quantidade de ração fornecida e das sobras dos respectivos comedouros durante o período. A CA é definida pelo consumo de ração registrado dividido pelo ganho de peso obtido, sendo corrigida para o peso das aves mortas registradas diariamente.

Para a fabricação das rações fareladas os ingredientes foram adicionados em um misturador de pás, o qual contém a capacidade de 400 kg e tempo de mistura de quatro minutos por batida. Os premixes vitamínicos e minerais foram pesados em balança analítica, separados em recipientes plásticos, devidamente identificados, posteriormente misturados e colocados diretamente no misturador conforme respectivo tratamento. Os demais ingredientes foram pesados na balança e adicionados através da rosca alimentadora conforme respectivo tratamento. Após o período indicado da mistura da batida, um sistema automatizado controla o peso de saída de 35 kg por balde previamente identificado com seu respectivo número, para fazer o armazenamento das rações. Posteriormente os baldes com as rações preparadas são adicionadas na quantidade de 5,0 kg em cada comedouro no total dos boxes disponíveis. As amostras de ração foram coletadas a cada lote de batida e realizada a análise bromatológica de sua composição para proteína bruta (método MA-B3-40), extrato etéreo (método MA-B-12), cálcio (método MA-M-033) e fósforo (método MA-B-193) de acordo com a metodologia descrita pelo Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal (2017).

Tabela 1. Composição química calculada

Ingredientes (%)	Inicial	Crescimento	Terminação
Milho Moído	55,29	64,22	67,75
Farelo de Soja 46%	38,56	29,96	26,25
Óleo de Soja	2,15	2,15	2,72
Metionina Líquida	0,377	0,306	0,252
Sal Comum	0,45	0,41	0,39
Calcário Calcítico 36%	1,39	1,30	1,20
Fosfato Bicálcico	1,09	0,96	0,78
Caulin	0,10	0,10	0,10
L-Lisina 80%	0,133	0,175	0,161
L-Treonina 98%	0,065	0,064	0,047
Cloreto de Colina 60%	0,065	0,072	0,069
Fitase ¹	0,010	0,010	0,010
Carboidrase ²	0,005	0,005	0,005
Antioxidante ³	0,010	0,010	0,010
Anticoccidiano ⁴	0,063	0	0
Anticoccidiano ⁵	0	0,055	0,055
Enramicina ⁶	0,013	0,013	0,006
Premix Vitamínico ⁷	0,130	0,100	0,100
Premix Mineral ⁸	0,100	0,100	0,100

Total	100	100	100
Composição química analisada			
Energia Metabolizável (Kcal/kg)	3.025,00	3.120,00	3.200,00
Proteína Bruta (%)	22,50	19,26	17,78
Gordura Bruta (%)	4,80	4,99	5,62
Cinzas (%)	5,89	5,23	4,77
Cálcio Total (%)	0,85	0,77	0,69
Cálcio Disp. Total (%)	0,96	0,88	0,80
Fósforo Total (%)	0,56	0,50	0,46
Fósforo Disp. Total (%)	0,48	0,44	0,40
Lisina Dig. Aves (%)	1,22	1,05	0,95
Sódio (%)	0,21	0,19	0,18

¹ Hiphos GT 20000

² Rovabio Advance

³ Oxiris Hidroxitolueno butilado (B.H.T.)

⁴ Maxiban

⁵ Coxifarm S

⁶ Enramax 8%

⁷ Suplementado por kg da dieta: vitamina A, 14.300 IU; vitamina D3, 5.200 IU; vitamina E, 71,5 IU; vitamina K3, 3,9 mg; tiamina, 3,0 mg; riboflavina, 9,1 mg; piridoxina, 5,2 mg; cianocobalamina, 0,03 mg; ácido pantotênico, 15,6 mg; niacina, 78 mg; ácido fólico, 2,6 mg; biotina, 0,32 mg; selênio 0,39 mg.

⁸ Suplementado por kg da dieta: Fe, 50 mg; Mn, 65 mg; I, 1,0 mg; ZnO, NR65 93 mg/kg; R65 139 mg/kg; R265 568 mg/kg; NR265 379 mg/kg.

2.1.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 2, sendo utilizado o ZnO nas duas formas (revestida ou não-revestida) e em duas concentrações de inclusão (65 e 265 ppm), com 10 repetições de 22 aves cada. Os dados obtidos foram primeiramente submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e posteriormente realizada a ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Tabela 2. Tratamentos experimentais de ZnO em diferentes concentrações e nas formas revestida e não-revestida.

Tratamentos	ZnO	
	Revestido	Não-Revestido
NR 65		65 ppm
R 65	65 ppm	
R 265	265 ppm	
NR 265		265 ppm

ppm = parte por milhão

2.1.4 ELASTICIDADE E FORÇA DE PUNÇÃO DA PELE

No 42º dia, 01 ave por unidade experimental (total 40 aves) foi selecionada de forma aleatória para avaliação da elasticidade e força de punção da pele. As aves foram eutanasiadas através de deslocamento cervical para coleta de amostras de pele de aproximadamente 5,0 x 5,0 x 0,5 cm na região do trato dorso pélvico. Após retirada das penas, realizou-se o corte com bisturi e a amostra foi depositada em envelope metálico contendo a identificação do respectivo número do box. As amostras foram armazenadas em recipiente refrigerado com temperatura controlada de 5° Celsius e encaminhadas no prazo de 24 horas após o abate para o laboratório do Centro de Ensino, Pesquisa e Tecnologia de Carnes (CEPETEC-UFRGS), o qual possui equipamento para realizar a análise de força de cisalhamento. O teste de força de punção foi medido esticando e perfurando a pele usando um analisador de textura Modelo TA.XTplus, Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido, determinada de acordo com metodologia proposta por Salim et. al., (2012).

Para realizar o teste primeiro foi necessário fixar e calibrar o equipamento dividido em duas etapas preparatórias: 1- manuseio do texturômetro e 2- manuseio do software de leitura das amostras. A etapa 1 de manuseio do texturômetro é feito através do encaixe do suporte na base e seus dois fixadores. Posteriormente adiciona-se a placa branca e prende-se os fixadores e é posicionada a outra placa de alumínio em cima da placa branca. São encaixados o suporte da probe e probe, e feito a centralização da probe em relação ao orifício das placas. Na etapa 2 de manuseio do software é necessário calibrar a altura, acessando no programa opção "Calibrate height" e para isso foram indicados os valores de 2mm/segundo de velocidade, 10 g força de disparo e deve-se aguardar o programa aceitar a altura ideal e confirmar calibração.

Posteriormente é preciso checar a calibração da força, onde deve-se colocar um peso de 5,0 kg na plataforma de calibração e no software selecionar aba "T.A", opção "Check force", na qual deve constar valor de aproximadamente 5000 g. Após o equipamento apresentar-se fixado e calibrado, deposita-se a respectiva amostra de pele entre as placas, de tal modo que a mesma não deslize no momento do teste. Após verificação das placas fixadas deve-se rodar o teste no programa, sendo necessário selecionar a seguinte sequencia "T.A.", "Run a test" e por fim "Start Test". Durante o andamento do teste deve-se verificar no movimento de descida da probe,

que a mesma entrou em contato e rompeu a pele e com isso é feito ao mesmo tempo a leitura dos resultados de força e elasticidade obtidos junto ao software.

Figura 1. Equipamento analisador de textura

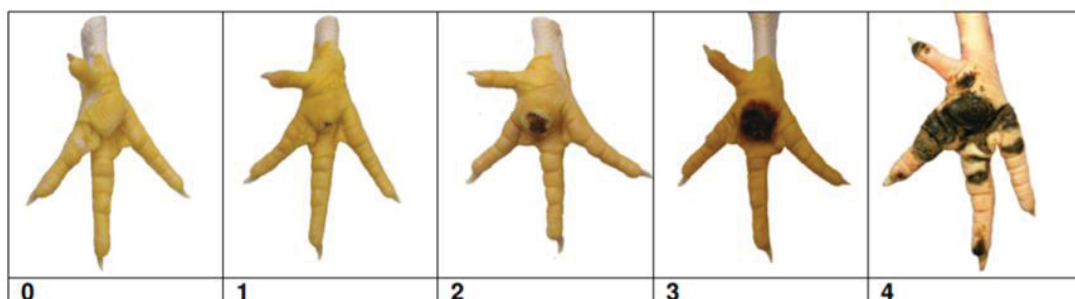


FONTE: CEPETEC – Centro de Ensino, Pesquisa e Tecnologia de Carnes, UFRGS.

2.1.5 DERMATITE NOS PÉS

Três aves por repetição (120 total) foram selecionadas aleatoriamente aos 28 e 40 dias para avaliação dos escores de dermatite nos pés. Após a retirada da ave do box, realizou-se uma breve limpeza do coxim plantar esfregando de forma cuidadosa o excesso de sujeira, com o intuito de removê-lo para realizar a avaliação visual. Foram analisados os dois pés (esquerdo e direito) da ave e atribuídos escores de 0 à 4 de forma individual (Figura 2 Escore de lesões nos pés). Sendo os escores classificados da seguinte forma: 0 = sem lesão, 1 = sem lesão externa porém inflamado, 2 = ulceração leve, 3 = ulceração com média severidade e 4 = ulceração bastante severa, de acordo com metodologia descrita por WQAPP, (2009).

Figura 2. Escores de lesões nos pés, de 0 a 4.



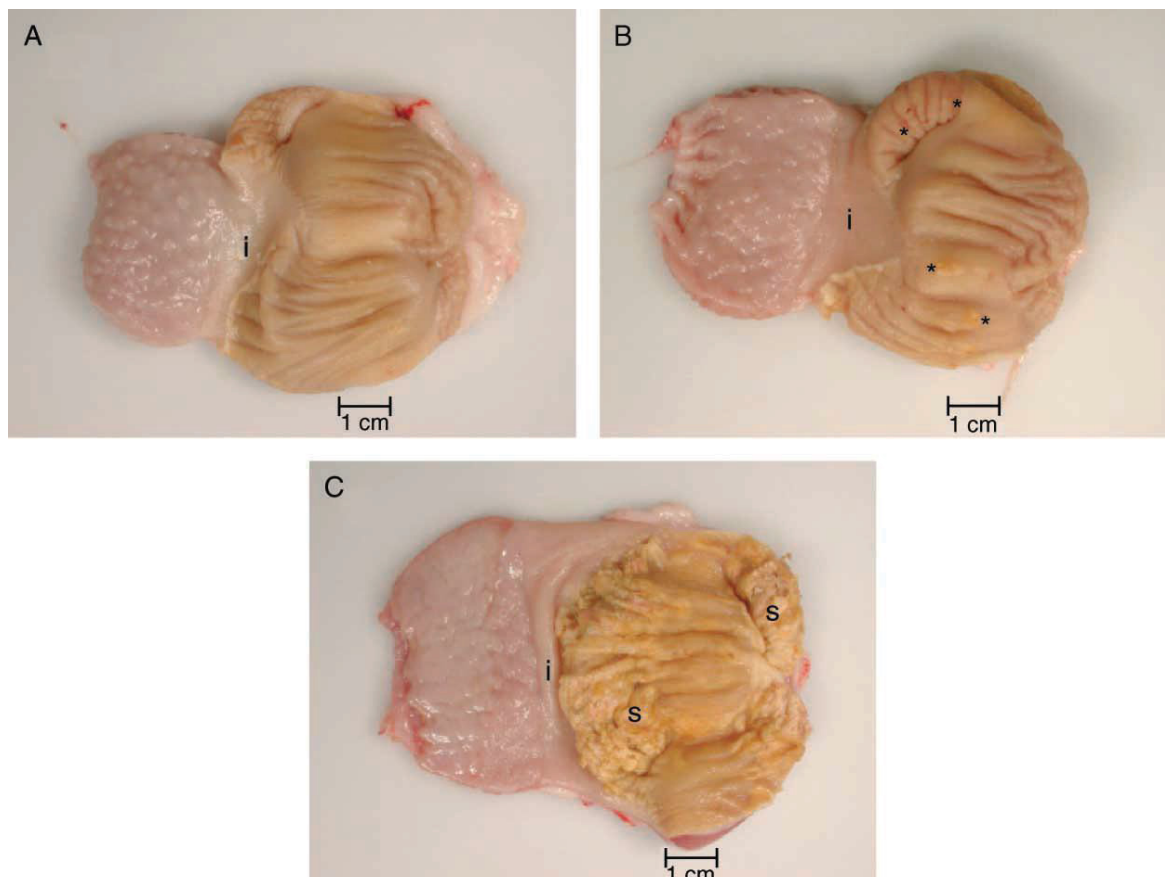
FONTE: A. BUTTERWORTH – University of Bristol, North Somerset, Reino Unido.

2.1.6 AVALIAÇÃO DA CUTÍCULA DA MOELA

Aos 42 dias, uma ave por repetição (total 40) foi selecionada para realizar a avaliação da integridade da cutícula da moela, através de verificação visual e determinação de três graus de lesão conforme metodologia descrita por Nova-Garrido, M. et al., (2006).

A ave selecionada foi eutanasiada através de deslocamento cervical para coleta de amostra e avaliação da cutícula da moela. O processo de evisceração consistiu de um corte transversal do órgão com uso de bisturi e onde foi retirado o excesso de alimento presente em seu interior. Posteriormente realizou-se a análise visual da parte interna da cutícula da moela e ocorreu a avaliação do escore de presença ou de ausência de lesão, obtido através da seguinte classificação: nenhum (A)- sem presença de lesões; moderado (B)- lesões focais na camada cutícula sem presença pronunciada de material esponjoso; grave (C)- presença de material esponjoso dentro da cutícula da moela.

Figura 3. Escore graus de lesão de moela.



FONTE: M. NOVOA-GARRIDO et al – Norwegian School of Veterinary Science, Norway.

2.1.7 TESTE DE RESISTÊNCIA INTESTINAL

No 42º dia, 01 ave por repetição (total 40) foi selecionada de forma aleatória para realização da avaliação da resistência tecidual do intestino. As aves foram eutanasiadas através de deslocamento cervical e na sequência evisceradas para realizar a coleta de uma fração do jejuno de medida aproximada de 5,0 cm. Posteriormente foi armazenada a amostra em um envelope plástico devidamente fechado contendo a identificação do respectivo número do box. As amostras foram armazenadas em recipiente refrigerado com temperatura controlada a 5° Celsius e encaminhadas em até 24 horas após o abate ao laboratório do Centro de Ensino, Pesquisa e Tecnologia de Carnes (CEPETEC-UFRGS), o qual possui equipamento para realizar a análise de força de cisalhamento. A avaliação da força de punção foi medida por estiramento do epitélio intestinal usando o analisador de textura (Modelo TA.XTplus, Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido, determinada de acordo com metodologia proposta por Salim et. al., (2012). Para realizar o teste é necessário previamente fixar e calibrar o equipamento dividido em duas etapas preparatórias: 1- manuseio do texturômetro e 2- manuseio do software de leitura das amostras, exatamente como descrito anteriormente na avaliação de elasticidade e força de punção de pele.

2.1.8 ANÁLISE DE MATÉRIA SECA DAS EXCRETAS

Aos 28 e aos 40 dias foram coletadas amostras de excretas das aves em cada box (3/repetição). As amostras foram armazenadas em recipientes plásticos, devidamente vedados e identificados e posteriormente encaminhados ao laboratório para realizar a determinação da matéria seca. As amostras de excretas foram adicionadas em recipientes devidamente identificados e condicionados em estufa por um período de 12 a 14 horas a 105°C. Posteriormente retirados e condicionados no dessecador durante período de 1 hora. Cada recipiente foi pesado novamente e anotado o seu respectivo peso seco. Os cálculos para obter a matéria seca estão descritos abaixo:

Cálculo 1 MS: $\text{Peso amostra} - (\text{Peso recipiente} + \text{Peso Amostra}) - \text{Peso recipiente } 105^{\circ}\text{C})$

Cálculo 2 MS: $(\text{Cálculo 1 MS} * 100 / \text{Peso amostra})$.

2.2 EXPERIMENTO 2

2.2.1 ANIMAIS E INSTALAÇÕES

Todos os procedimentos realizados foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Granja Santa Lúvia Produções e Pesquisa Agropecuária, sob protocolo nº 009/2022. O experimento com as aves foi realizado na Granja Experimental Santa Lúvia, localizada no município de Garibaldi, Rio Grande do Sul, Brasil. Foram utilizados 880 frangos de corte machos da linhagem comercial Cobb 500, oriundos de incubatório comercial, de 1 a 42 dias de idade. As aves foram vacinadas contra a doença de Marek no incubatório e selecionadas na chegada do alojamento. As aves foram alocadas em 40 boxes experimentais de 2,72 m² cada, sobre cama maravalha, contendo bebedouros nipple e comedouro infantil até os 7 dias e depois substituído pelo comedouro tubular de 18 kg. A temperatura visou o conforto das aves durante todo o período experimental, conforme recomendado manual da linhagem Cobb (2016). Durante os 7 primeiros dias foi utilizada luz incandescente contínua por 24h e após esse período foi utilizado programa de luz com 6 horas de escuro por dia. Todos os boxes verificados diariamente quanto a aves doentes e mortas, sendo o número do box, idade e peso corporal das aves registradas.

2.2.2 DIETAS EXPERIMENTAIS E DESEMPENHO ZOOTÉCNICO

As dietas à base de milho e farelo de soja formuladas conforme apresentado na Tabela 1. Foi utilizado um programa de alimentação (inicial – 1 a 21 dias; crescimento – 22 a 35 dias; terminação – 36 a 42 dias) e as rações fornecidas à vontade. Aos 1, 21 e 42 dias de idade, todas as aves dos boxes foram pesadas para determinar ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA) e o consumo de ração (CR). O GP é registrado durante as pesagens pré-determinadas e anotado o ganho de peso ocorrido em comparação a pesagem anterior. O CR é avaliado através da diferença entre a quantidade de ração fornecida e das sobras dos respectivos comedouros durante o período. A CA é definida pelo consumo de ração registrado dividido pelo ganho de peso obtido, sendo corrigida para o peso das aves mortas registradas diariamente.

Para a fabricação das rações fareladas os ingredientes foram adicionados no misturador de pás, o qual contém a capacidade de 400 kg e tempo de mistura de quatro minutos por batida. A quantidade de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ foi pesada em balança analítica e adicionada conforme o respectivo tratamento, separados em recipientes plásticos devidamente identificados, posteriormente misturados com o premix mineral e colocados diretamente no misturador. Os demais ingredientes foram pesados na balança e adicionados através da rosca alimentadora conforme respectivo tratamento. Após o período indicado da mistura da batida, um sistema automatizado controla o peso de saída de 35 kg por balde previamente identificado com seu respectivo número, para fazer o armazenamento das rações. Posteriormente os baldes com rações preparadas são adicionadas na quantidade de 5,0 kg em cada comedouro no total dos 40 boxes disponíveis. As amostras de ração foram coletadas a cada lote de batida e realizada a análise bromatológica de sua composição para proteína bruta (método MA-B3-40), extrato etéreo (método MA-B-12), cálcio (método MA-M-033) e fósforo (método MA-B-193) de acordo com a metodologia descrita pelo Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal (2017).

Tabela 3. Composição química calculada

Ingredientes (%)	Inicial	Crescimento	Terminação
Milho Moído	55,29	64,22	67,75
Farelo de Soja 46%	38,56	29,96	26,25
Óleo de Soja	2,15	2,15	2,72
Metionina Líquida	0,377	0,306	0,252
Sal Comum	0,45	0,41	0,39
Calcário Calcítico 36%	1,39	1,30	1,20
Fosfato Bicálcico	1,09	0,96	0,78
Caulin	0,10	0,10	0,10
L-Lisina 80%	0,133	0,175	0,161
L-Treonina 98%	0,065	0,064	0,047
Cloreto de Colina 60%	0,065	0,072	0,069
Fitase ¹	0,010	0,010	0,010
Carboidrase ²	0,005	0,005	0,005
Antioxidante ³	0,010	0,010	0,010
Anticoccidiano ⁴	0,063	0	0
Anticoccidiano ⁵	0	0,055	0,055
Enramicina ⁶	0,013	0,013	0,006
Premix Vitamínico ⁷	0,130	0,100	0,100
Premix Mineral ⁸	0,100	0,100	0,100
Total	100	100	100
Composição química analisada			
Energia Metabolizável (Kcal/kg)	3.025,00	3.120,00	3.200,00
Proteína Bruta (%)	22,50	19,26	17,78
Gordura Bruta (%)	4,80	4,99	5,62
Cinzas (%)	5,89	5,23	4,77
Cálcio Total (%)	0,85	0,77	0,69
Cálcio Disp. Total (%)	0,96	0,88	0,80
Fósforo Total (%)	0,56	0,50	0,46
Fósforo Disp. Total (%)	0,48	0,44	0,40
Lisina Dig. Aves (%)	1,22	1,05	0,95
Sódio (%)	0,21	0,19	0,18

¹Hiphos GT 20000

²Rovabio Advance

³Oxiris Hidroxitolueno butilado (B.H.T.)

⁴Maxiban

⁵Coxifarm S

⁶Enramax 8%

⁷ Suplementado por kg da dieta: vitamina A, 14.300 IU; vitamina D3, 5.200 IU; vitamina E, 71,5 IU; vitamina K3, 3,9 mg; tiamina, 3,0 mg; riboflavina, 9,1 mg; piridoxina, 5,2 mg; cianocobalamina, 0,03 mg; ácido pantotênico, 15,6 mg; niacina, 78 mg; ácido fólico, 2,6 mg; biotina, 0,32 mg; selênio 0,39 mg.

⁸ Suplementado por kg da dieta: Fe, 50 mg; Mn, 65 mg; I, 1,0 mg; CuSO₄.5H₂O, NR10 40 mg/kg; R10 60 mg/kg; NR150 600 mg/kg; R150 900 mg/kg.

2.2.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em arranjo fatorial 2 x 2, sendo utilizado o sulfato de cobre penta hidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) nas duas formas (revestida ou não-revestida) e em duas concentrações de inclusão na dieta (10 e 150 ppm), com 10 repetições de 22 aves cada. Os dados obtidos foram primeiramente submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk). Posteriormente, realizou-se à ANOVA e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Tabela 4. Tratamentos experimentais de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ em diferentes concentrações e nas formas revestida e não-revestida.

Tratamentos	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	
	Revestido	Não-Revestido
NR 10		10 ppm
R 10	10 ppm	
NR 150		150 ppm
R 150	150 ppm	

ppm = parte por milhão

3 RESULTADOS

3.1 EXPERIMENTO 1

3.1.1 DESEMPENHO

Os efeitos da suplementação do ZnO sobre o desempenho de frangos de corte de 1 a 21 dias são demonstrados na Tabela 5. O tratamento contendo 265 ppm de concentração proporcionou maior GP ($P < 0,05$) e melhor CA ($P < 0,05$) em relação a concentração de 65 ppm. Os resultados indicam que a dieta de 265 ppm demonstrou não restringir o consumo e conseqüente melhor desempenho das aves. Ao comparar as formas de revestimento da dieta disponibilizada aos animais não foi encontrada diferença ($P > 0,05$). Na avaliação de desdobramento da interação entre as formas de revestimento e concentrações testadas não foram encontradas diferenças entre as variáveis citadas ($P > 0,05$).

Tabela 5. Efeito da suplementação de ZnO sobre consumo de ração (CR), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA) de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade.

Forma		CR (g)	GP (g)	CA (g/g)
Revestida		1213	945	1,284
Não-Revestida		1192	928	1,285
Concentração				
	265 ppm	1218	958*	1,272*
	65 ppm	1190	918	1,298
Forma	Concentração			
Revestida	265 ppm	1245	975	1,277
	65 ppm	1188	920	1,293
Não-Revestida	265 ppm	1194	942	1,268
	65 ppm	1192	915	1,303
EPM		8,272	8,124	0,006
Probabilidade				
Forma		0,131	0,204	0,957
Concentração		0,067	0,009	0,032
Forma x Concentração		0,087	0,347	0,426

EPM = Erro padrão da média

ppm = Parte por milhão

* Diferem pelo teste de Tukey ($P \leq 0.05$)

Foram observados maior CR e GP ($P < 0,05$) referente a forma revestida em comparação a ausência do revestimento no período de 1 a 42 dias de idade das aves (Tabela 6), demonstrando maior preferência das aves pela dieta revestida por lipídeos. Não houve diferença entre as concentrações testadas e no desdobramento da interação entre as formas e concentrações avaliadas ($P > 0,05$).

Tabela 6. Efeito da suplementação de ZnO sobre consumo de ração (CR), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA) de frangos de corte de 1 a 42 dias de idade.

Forma		CR (g)	GP (g)	CA (g/g)
Revestida		4968*	3167*	1,569
Não-Revestida		4883	3102	1,574
Concentração				
	265 ppm	4952	3149	1,572
	65 ppm	4902	3122	1,570
Forma	Concentração			
Revestida	265 ppm	5016	3184	1,576
	65 ppm	4930	3153	1,564
Não-Revestida	265 ppm	4895	3118	1,570
	65 ppm	4871	3087	1,578
EPM		18,125	12,923	0,004
Probabilidade				
Forma		0,011	0,009	0,594
Concentração		0,105	0,208	0,815
Forma x Concentração		0,359	0,990	0,242

EPM = Erro padrão da média

ppm = Parte por milhão

* Diferem pelo teste de Tukey ($P \leq 0.05$)

3.1.2 DERMATITE NOS PÉS E LESÃO DE MOELA

A dieta na forma revestida apresentou menor escore de lesão de pés de frangos de corte aos 28 dias de idade ($P < 0,05$), em comparação a forma ausente de revestimento. Não houve diferença entre as concentrações testadas e no desdobramento da interação entre as formas e concentrações avaliadas ($P > 0,05$). (Tabela 7). Na avaliação de dermatite aos 40 dias de idade, não houve diferença entre as variáveis testadas ($P > 0,05$). No grau de lesão de moela também não foi encontrado diferença entre as variáveis analisadas ($P > 0,05$).

Tabela 7. Efeito da suplementação de ZnO sobre escore de dermatite nos pés aos 28 e 40 dias e do grau de lesão de moela aos 42 dias de idade de frangos de corte

		Escore dermatite nos pés		Grau lesão de moela
Forma		28 dias	40 dias	
Revestida		0,25*	0,45	1,05
Não-Revestida		0,53	0,49	0,95
Concentração				
265 ppm		0,32	0,38	0,95
65 ppm		0,47	0,55	1,05
Forma	Concentração			
Revestida	265 ppm	0,23	0,31	1,20
	65 ppm	0,27	0,58	0,90
Não-Revestida	265 ppm	0,40	0,45	0,70
	65 ppm	0,67	0,53	1,20
EPM		0,055	0,060	0,120
Probabilidades				
Forma		0,007	0,731	0,675
Concentração		0,139	0,154	0,675
Forma x Concentração		0,247	0,450	0,099

EPM = Erro padrão da média

ppm = Parte por milhão

* Diferem pelo teste de Tukey ($P \leq 0.05$)

3.1.3 QUALIDADE DE PELE E RESISTÊNCIA INTESTINAL

Não foram observadas diferenças nas variáveis de elasticidade e força de punção de pele e para a resistência intestinal aos 42 dias de idade ($P > 0,05$), em comparação a forma, a concentração ou na interação entre ambas (Tabela 8).

Tabela 8. Efeito da suplementação de ZnO sobre a elasticidade e força de punção da pele e resistência intestinal de frangos de corte aos 42 dias de idade.

Forma	Elasticidade e força de punção da pele			Resistência intestinal (kg)	
	Força de Punção (N)	Área de punção (N/s)	Pico de resistência		
Revestida	50,18	13,80	5,67	0,37	
Não-Revestida	49,16	14,22	4,76	0,38	
Concentração					
265 ppm	49,74	13,92	5,46	0,37	
65 ppm	49,60	14,10	4,97	0,38	
Forma	Concentração				
Revestida	265 ppm	48,94	12,88	5,62	0,39
	65 ppm	51,42	14,71	5,71	0,35
Não-Revestida	265 ppm	50,54	14,96	5,30	0,35
	65 ppm	47,78	13,48	4,22	0,41
EPM	1,314	0,515	0,524	0,025	
Probabilidades					
Forma	0,708	0,644	0,703	0,793	
Concentração	0,957	0,969	0,942	0,852	
Forma x Concentração	0,337	0,080	0,279	0,259	

EPM = Erro padrão da média
ppm = Parte por milhão

3.2 EXPERIMENTO 2

3.2.1 DESEMPENHO

As aves avaliadas no período de 1 a 21 dias de idade não apresentaram diferenças significativas para CR, GP e CA em comparação entre as variáveis de formas revestida e não-revestida, nas concentrações de 10 e 150 ppm e no desdobramento da interação entre as variáveis conforme descrito na Tabela 9.

Tabela 9. Efeito da suplementação de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ sobre consumo de ração (CR), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA) de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade.

Forma		CR (g)	GP (g)	CA (g/g)
Revestida		1179	910	1,296
Não-Revestida		1185	919	1,290
Concentração				
	150 ppm	1174	912	1,288
	10 ppm	1191	917	1,299
Forma	Concentração			
Revestida	150 ppm	1169	902	1,297
	10 ppm	1189	919	1,295
Não-Revestida	150 ppm	1179	923	1,278
	10 ppm	1192	915	1,303
EPM		6,506	5,763	0,006
Probabilidades				
Forma		0,662	0,470	0,631
Concentração		0,215	0,699	0,372
Forma x Concentração		0,779	0,289	0,275

EPM = Erro padrão da média

ppm = Parte por milhão

Nas avaliações de desempenho de 1 a 42 dias de idade, as dietas contendo 10 ppm de concentração apresentaram maior CR ($P < 0,05$). Este resultado indica que há rejeição na ingestão das aves entre as concentrações de cobre testadas. No desdobramento da interação foi observado maior GP para a concentração de 10 ppm revestida. Entretanto, a menor CA obtida foi através da dieta com 150 ppm de concentração. Também houve maior GP no desdobramento da interação de concentração de 150 ppm não-revestida.

Tabela 10. Efeito da suplementação de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ sobre consumo de ração (CR), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA) de frangos de corte de 1 a 42 dias de idade.

Forma		CR (g)	GP (g)	CA (g/g)
Revestida		4864	3098	1,570
Não-Revestida		4838	3109	1,557
Concentração				
	150 ppm	4812	3104	1,550*
	10 ppm	4889*	3102	1,576
Forma	Concentração			
Revestida	150 ppm	4820	3078	1,566
	10 ppm	4907	3118*	1,574
Não-Revestida	150 ppm	4805	3130*	1,535
	10 ppm	4871	3086	1,578
EPM		15,875	9,526	0,005
Probabilidades				
Forma		0,394	0,564	0,159
Concentração		0,015	0,908	0,009
Forma x Concentração		0,727	0,028	0,066

EPM = Erro padrão da média

ppm = Parte por milhão

* Diferem pelo teste de Tukey ($P \leq 0.05$)

3.2.2 DERMATITE NOS PÉS E LESÃO DE MOELA

A dieta na concentração de 150 ppm apresentou menor escore de dermatite de pés de frangos de corte aos 28 dias de idade ($P < 0,05$), em comparação a concentração de 10 ppm (Tabela 11). Na avaliação aos 40 dias de idade, não houve diferença entre as variáveis testadas ($P > 0,05$). No grau de lesão de moela também não foi encontrado diferença entre as variáveis testadas ($P > 0,05$).

Tabela 11. Efeito da suplementação de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ sobre escore dermatite nos pés aos 28 e 40 dias e do grau de lesão de moela aos 42 dias de idade de frangos de corte

Forma	Escore dermatite nos pés		Grau lesão de moela	
	28 dias	40 dias		
Revestida	0,23	0,59	1,25	
Não-Revestida	0,42	0,55	1,00	
Concentração				
150 ppm	0,10*	0,59	1,10	
10 ppm	0,55	0,55	1,15	
Forma	Concentração			
Revestida	150 ppm	0,03	0,62	1,40
	10 ppm	0,43	0,57	1,10
Não-Revestida	150 ppm	0,17	0,57	0,80
	10 ppm	0,67	0,53	1,20
EPM	0,059	0,081	0,115	
Probabilidades				
Forma	0,060	0,806	0,251	
Concentração	< 0,001	0,806	0,817	
Forma x Concentração	0,600	0,961	0,111	

EPM = Erro padrão da média

ppm = Parte por milhão

* Diferem pelo teste de Tukey ($P \leq 0.05$)

3.2.3 QUALIDADE DE PELE E RESISTÊNCIA INTESTINAL

Não foram observadas diferenças nas variáveis de elasticidade e força de punção de pele e para a resistência intestinal aos 42 dias de idade ($P > 0,05$), em comparação a forma, a concentração ou na interação entre ambas (Tabela 12).

Tabela 12. Efeito da suplementação de CuSO₄.5H₂O sobre a elasticidade e força de punção da pele e resistência intestinal de frangos de corte aos 42 dias de idade.

Forma	Elasticidade e força de punção da pele			Resistência intestinal (kg)	
	Força de punção (N)	Área de punção (N/s)	Pico de resistência		
Revestida	48,42	13,01	4,28	0,39	
Não-Revestida	47,25	13,72	4,21	0,41	
Nível					
150 ppm	47,52	13,68	4,16	0,41	
10 ppm	48,16	13,04	4,33	0,39	
Forma	Concentração				
Revestida	150 ppm	48,31	13,41	4,11	0,41
	10 ppm	48,53	12,60	4,44	0,38
Não-Revestida	150 ppm	46,72	13,95	4,20	0,42
	10 ppm	47,78	13,49	4,22	0,41
EPM	1,335	0,442	0,214	0,013	
Probabilidades					
Forma	0,673	0,396	0,855	0,493	
Concentração	0,817	0,408	0,679	0,491	
Forma x Concentração	0,882	0,943	0,475	0,733	

EPM = Erro padrão da média

ppm= Parte por milhão

(N) = força de gatilho; (N/s) = força de gatilho por segundo; (kg) = quilogramas

4 DISCUSSÃO

Esta pesquisa destaca a relevância da ação dos microminerais Cu e Zn com revestimento lipídico e sua influência sobre o desempenho dos frangos de corte. Nas dietas suplementadas com ZnO a concentração de 265 ppm proporcionou maior ganho de peso (GP) e menor conversão alimentar (CA). Isso indica que houve melhor aproveitamento dos nutrientes e absorção intestinal do ZnO realizado pelas aves em comparação as dietas de menor concentração. O aumento do GP pode ser atribuído ao papel do zinco em várias atividades enzimáticas, sendo responsável por aumentar a absorção e digestibilidade (Kucuk et al., 2003). A concentração pode ser um indicador da quantidade de aproveitamento dos minerais no animal, sendo que a utilização de 265 ppm demonstrou não deprimir o desempenho das aves. Outro ponto a ser considerado é de que as aves na fase inicial possuem crescimento acelerado, sendo observado máximo aproveitamento de nutrientes oriundos da dieta (Rutz et al., 2005). É importante ressaltar que existe controle feito pelo próprio

organismo através da metalotioneína (MT), proteína que possui papel de regular a quantidade de Zn no corpo, inibindo a absorção em casos de excesso da presença do mineral. As concentrações disponibilizadas em excesso podem resultar em taxas de crescimento reduzidas em pintinhos, lesões da moela e pâncreas em galinhas poedeiras (Dewar et al., 1983).

O revestimento lipídico nos tratamentos com ZnO demonstrou melhorar o desempenho ao proporcionar efeito sobre CR e GP. Isso demonstra que houve preferência das aves pela ração com o revestimento lipídico e consequente maior GP. A matriz lipídica que envolve o ZnO impede a alteração da absorção ou da estrutura química do mineral no estômago, permitindo-lhe chegar no intestino onde a camada lipídica é transformada em quilomícrons pelos sais biliares e digerido pelas lipases pancreáticas e intestinais. Isso libera o óxido de zinco na área crítica do trato intestinal e promove melhora na conversão alimentar (Hedeman et al., 2006). A maior absorção do Zn melhora o aproveitamento deste mineral e de outros nutrientes da dieta, uma vez que o Zn desempenha papel fundamental na síntese de proteínas e DNA (Tse et al.; 2010). Isso promove um aumento na multiplicação e na capacidade absorptiva das células intestinais explicando em parte o GP e CA. O controle da liberação de minerais dentro do trato gastrointestinal (TGI) pode melhorar a digestibilidade dos nutrientes e a estrutura epitelial dos intestinos (Bao et al., 2007).

No fornecimento de dietas suplementadas com sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), os resultados de desempenho demonstraram maior CR na concentração de 10 ppm em comparação a concentração de 150 ppm. Isso indica que há uma rejeição das aves pela concentração de 150 ppm e uma maior preferência no consumo das dietas com menor concentração de Cu. Independente da interação testada, forma ou concentração, os resultados obtidos apontam maior CR para a menor concentração testada, evidenciando que houve restrição na ingestão do Cu ofertado na ração das aves. O impacto que pode ocorrer com a rejeição de ingestão da dieta ofertada ocasionada pelo Cu em excesso, é que a menor procura pela ração, vai gerar uma menor ingestão e ocorre a possibilidade de deficiência em atender aos aminoácidos limitantes, principalmente a metionina, e como consequência pode afetar o desempenho da ave.

Para a variável de GP ocorreram resultados diferentes com o desdobramento da interação entre as concentrações e formas de revestimento. Obteve-se maior GP

na dieta revestida com 10 ppm, evidenciando que o revestimento lipídico proporcionou melhor aproveitamento dos nutrientes com a menor concentração de Cu ofertada. Por outro lado, na interação da forma não-revestida houve maior GP com a concentração de 150 ppm. Por sua vez, a CA acabou sendo menor com a utilização da concentração de 150 ppm. Todos os resultados com 10 ppm apresentaram uma CA maior. Segundo Pang et al., (2009), o Cu pode melhorar o desempenho do crescimento através do aumento da utilização de nutrientes pela alteração da microbiota no TGI dos frangos. O Cu utilizado em concentrações bastante acima das recomendações, demonstra efeito como promotor de crescimento ou antimicrobiano, devido à ação bactericida do mineral sobre a microbiota intestinal (Pesti, Bakali; 1996; Arias, Koutsos; 2006). Pesquisas também encontraram efeitos similares com a suplementação do cobre na dieta para frangos de corte que corroboram com este trabalho. Aves alimentadas com 188 mg/kg de sulfato de cobre apresentaram maior GP comparadas ao controle negativo (Arias, Koutsos; 2006). De acordo com Choi e Paik (1989), Baker et al., (1991) relataram melhoria do GP e CA em aves suplementadas com níveis entre 125 e 250 mg/kg de sulfato de cobre. Em outra pesquisa realizada utilizando o sulfato de cobre, houve GP de frangos de corte quando suplementado com 150mg/kg comparado ao controle negativo (Samanta et al.; 2011).

A fim de avaliar o grau de lesões nos pés de frangos de corte suplementadas com ZnO, observou-se que a forma revestida apresentou menor escore de lesão de pés. O Zn participa da síntese de colágeno, que funciona como um elemento estrutural extracelular no tecido conjuntivo. Sua presença é necessária para a formação do colágeno e da queratina (Underwood; Suttle, 1999). Assim, a pele com maior teor de colágeno apresenta uma maior resistência e favorece a manutenção da qualidade da pele. A suplementação de Zn parece influenciar o processo de queratinização da pele e contribuir para reduzir o grau de lesão de pés (Oliveira, et al.; 2010).

Nos tratamentos suplementados com $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ foi encontrado menor escore de pododermatite na concentração de 150 ppm. O Cu é um cofator necessário para a enzima lisil oxidase (LOX), que participa na ligação entre proteínas de colágeno e elastina (Smith-Mungo; Kagan, 1998). Esta enzima é fundamental para a integridade estrutural dos tecidos, dependente da presença de Cu e pode disponibilizar uma maior resistência tecidual (Richards et al.; 2010). Desta

forma, a suplementação do Cu parece favorecer o mecanismo de preservação da integridade dos pés das aves. Zhao et al., (2010) sugerem que fontes minerais com maior biodisponibilidade tem relação com uma melhor integridade e saúde dos pés de frangos de corte. Outro ponto a ser relatado é que aves com lesões consideradas de média a grave, podem ter o desempenho comprometido. Ao apresentarem dificuldades na locomoção as aves diminuem a procura por água e ingestão da ração com consequente piora no GP e CA.

5 CONCLUSÕES

A utilização de minerais revestidos nas concentrações testadas possui potencial para melhorar o desempenho de frangos de corte. De maneira geral, os resultados não demonstraram efeito sobre a qualidade de pele, resistência intestinal e em lesões de moela.

6 REFERÊNCIAS

ARIAS, V.J.; KOUTSOS, E.A. Effects of Copper Source and Level on Intestinal Physiology and Growth of Broiler Chickens. **Poultry Science** 85: 999-1007, 2006.

BAKER, D.H.; ODLE, J.; FUNK, M.A.; WIELAND, T.M. Research note: bioavailability of copper in cupric oxide, cuprous oxide and in a copper-lysine complex. **Poultry Science** 70: 177-179, 1991.

BAO, Y.M.; CHOCT, M. I. P; BRUERTON, K. Effect of Organically Complexed Copper, Iron, Manganese, and Zinc on Broiler Performance, Mineral Excretion, and Accumulation in Tissues. **Journal of Applied Poultry Research**, 16: 448-455. 2007.

BATAL, A.B.; PARR, T.M.; BAKER, D.H. Zinc bioavailability in tetrabasic zinc chloride and the zinc requirement of young chicks fed a soya concentrate diet. **Poultry Science**, Champaign, v.80, p.87-90, 2001.

CHOI, Y. J.; I. K. PAIK. The effect of supplementing copper sulfate on the performance of broiler chicken. **Journal of Animal Nutrition**. 13: 193-200, 1989.

COBB. Cobb 500 Broiler: Broiler performance and nutrition supplement, **Cobb-Vantress Inc.**, Siloam Springs, AR, 2016.

COMPÊNDIO BRASILEIRO DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL 2017. **Guia de Métodos analíticos**. Revisão: 2017.

DEWAR, W.A., WIGHT, P.A.L., PEARSON, R.A. and GENTLE, M.J. Toxic effects of high concentrations of zinc oxide in the diet of the chick and laying hen. **British Poultry Science** 24: 397-404, 1983.

HEDEMANN, M. S.; JENSEN, B. B.; POULSEN, H. D. Influence of dietary zinc and copper on digestive enzyme activity and intestinal morphology in weaned pigs. **Journal of Animal Science**, v.84, p.3310-3320, 2006.

KUCUK, O., SAHIN, N. and SAHIN, K. Supplemental zinc and vitamin A can alleviate negative effects of heat stress in broiler chickens. **Biological Trace Element Research** 94: 225-235, 2003.

NOVOA-GARRIDO, M.; LARSEN, S; KALDHUSDAL, M. Association between gizzard lesions and increased caecal *Clostridium perfringens* counts in broiler chickens. **Avian Pathology**, [S. l.], v. 35, n. 5, p. 367–372, 2006. DOI: 10.1080/03079450600924150.

OLIVEIRA W.N.K., SILVA J. L., LUCENA C.A.L., K.R.L. SILVA, F.N. TAKATA, JOAQUIM EVÊNCIO-NETO. Uso do zinco orgânico na prevenção de lesões de pododermatite em aves. **X Jornada de ensino, pesquisa e extensão – JEPEX 2010 – UFRPE**, 2010.

PANG, Y.; PATTERSON, J. A.; APPLGATE, T. J. The influence of copper concentration and source on ileal microbiota. **Poultry Science**, [s. l.], v. 88, n. 3, p. 586-592, 1 Mar. 2009.

PESTI, M. G.; R. I. BAKALLI. Studies on the feeding of cupric sulfate pentahydrate and cupric citrate to broiler chickens. **Poultry Science** 75:1986-1091, 1996.

RICHARDS, J.D.; ZHAO, J.Z.; HARREL, J.R.; ATWELL, C.A.; DIBNER, J.J. Trace mineral nutrition in Poultry and Swine. Asian-Australasian. **Journal of Animal Science**, v.23, n.11, p.1527-1534, 2010.

RUTZ F, RECH JL, XAVIER EG. et al.; Cuidados críticos na nutrição inicial de aves: Alternativas para melhorar o desempenho e o papel essencial dos nucleotídeos. In: **Anais do 2º Simpósio Brasileiro Alltech**. p.20-39, 2005.

SAKOMURA, N. K. et al. **Nutrição de não ruminantes**. Jaboticabal: Funep, 678p, 2014.

SALIM, H. M.; LEE, H. R.; JO, C.; LEE, S. K.; LEE, Bong Duk. Effect of sex and dietary organic zinc on growth performance, carcass traits, tissue mineral content, and blood parameters of broiler chickens. **Biological Trace Element Research**, [S. l.], v. 147, n. 1–3, p. 120–129, 2012. DOI: 10.1007/s12011-011-9282-8.

SAMANTA, B.; GHOSH, P. R.; BISWAS, A.; DAS, S.K.; The effects of copper supplementation on the performance and hematological parameters of broiler chickens Asian-Australasian. **Journal of Animal Sciences** 7: 1001-1006, 2011.

SMITH-MUNGO, L.I.; KAGAN, H. M. Lysyl oxidase: properties, regulation and multiple functions in biology. **Matrix Biology**, v.16, p.387-398, 1998.

TSE, M.L.P.; COSTA, L.B.; BRAZ, D.B. et al. Leitões recém-desmamados alimentados com dietas contendo proteína láctea e zinco suplementar, **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.9, 2010.

UNDERWOOD, E.J.; SUTTLE, N.F. The mineral nutrition of livestock. 3th ed. Wallingford, NY: CABI Publishing, p.614, 1999.

WELFARE QUALITY ASSESSMENT PROTOCOL FOR POULTRY (WQAPP). Welfare Quality Consortium, Lelystad, The Netherlands. 119 p, 2009.

ZHAO, J., R.B. SHIRLEY, M. VAZQUEZ-ANON, J.J. DIBNER, J.D. RICHARDS, P. FISHER, T. HAMPTON, K.D. CHRISTENSEN, J.P. ALLARD AND A.F. GIESEN. Effects of chelated trace minerals on growth performance, breast meat yield, and footpad health in commercial meat broilers. **Journal of Applied Poultry Research**. 19:365–372, 2010.

REFERÊNCIAS

- ANGELO, J.C.; GONZALES, E.; KONDO, N., ANZAI, N.H.; CABRAL, M.M. Material de cama: qualidade, quantidade e efeito sobre o desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, n.1, p.121-130, 1997.
- ARGUDÍN, M., DEPLANO, A.; MEGHRAOUI, A.; DODÉMONT, M.; HEINRICHS, A.; DENIS, O. et al.; Bacteria from animals as a pool of antimicrobial resistance genes. **Antibiotics**, 2017. 6:12. Doi: 10.3390/antibiotics6020012.
- ARIAS, V.J.; KOUTSOS, E.A. Effects of Copper Source and Level on Intestinal Physiology and Growth of Broiler Chickens. **Poultry Science** 85: 999-1007, 2006.
- AZEREDO, H. M. C. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. **Alimentos e nutrição**, v. 16, n. 1, p. 89- 97, 2005.
- BAIERLE, M. et al.; Possíveis efeitos do cobre sanguíneo sobre parâmetros hematológicos em idosas. **Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial**, Rio de Janeiro, v.46, n.6, p.463-470, 2010.
- BAKER, D.H.; ODLE, J.; FUNK, M.A.; WIELAND, T.M. Research note: bioavailability of copper in cupric oxide, cuprous oxide and in a copper-lysine complex. **Poultry Science** 70: 177-179, 1991.
- BARBOSA, K. B. F. et al. Oxidative stress: concept, implications and modulating factors. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 23, n. 4, p.629-643, 2010.
- BARREIROS, A. L. B. S.; DAVID, J. M.; DAVID, J. P. Estresse oxidativo: relação entre geração de espécies reativas e defesa do organismo. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, p.113-123, 2006.
- BARROS, D.; CASTRO E.; MOURA, D.; OLIVEIRA, M.; ROCHA T.; FERREIRA S., FONTE R.; BEZERRA R.; Potential Application of Microencapsulation in the Food Industry. **International Journal of Advanced Research**, [S. l.], v. 6, n. 12, p. 956–976, 2018. DOI: 10.21474/ijar01/8222
- BATAL, A.B., PARR, T.M. and BAKER, D.H. Zinc bioavailability in tetrabasic zinc chloride and the dietary zinc requirement of chicks fed a soy concentrate diet. **Poultry Science** 80: 87-90, 2001.
- BAO, Y.M.; CHOCT, M. I. P; BRUERTON, K. Effect of Organically Complexed Copper, Iron, Manganese, and Zinc on Broiler Performance, Mineral Excretion, and Accumulation in Tissues. **Journal of Applied Poultry Research**, 16: 448-455. 2007.
- BERCHIERI, A.; MACARI, M. Doença das Aves. **FACTA – Fundação APINCO de Ciência e Tecnologia Avícolas**, Campinas, SP, p. 31–36, 2000.
- BILGILI, S. F., M. A. ALLEY, J. B. HESS, AND M. NAGARAJ. Influence of age and sex on footpad quality and yield in broiler chickens reared on low and high density diets. **Journal Applied Poultry Research**. 15:433–441, 2006.

BILGILI, S.F.; HESS, J.B.; BLAKE, J.P.; MACKLIN, K.S.; SAEMAHAYAK, B. SIBLEY, J.L. Influence of bedding material on footpad in broiler chickens. **Journal of Applied Poultry Research**, v.18, p.583-589, 2009.

BIZON, A.; JEDRYCZKO K.; MILNEROWICZ, H. The role of metallothionein in oncogenesis and cancer treatment. **Postepy Hig Med Dosw**, v.7, p.98-109, 2017.DOI 10.5604/01.3001.0010.3794.

BRITO, J.A.G. et al. Uso de microminerais sob a forma de complexo orgânico para frangas de reposição no período de 7 a 12 semanas de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.35, n.4, p.1342-1348, 2006.

CARLTON, W.W.; HENDERSON, W. Histopathological lesions observed in the long of chickens fed a copper-deficient diet. **Poultry Science**, v.41, p.1634, 1962.

CARMO, E. L. D.; FERNANDES, R. V. D. B.; BARROS, R. V.; BORGES, S. V. Encapsulação por spray drying, novos biopolímeros e aplicações na tecnologia de alimentos. **Journal of Engineering and Chemistry**, v. 1, n. 2, p. 30-44, 2015.

CHENG, J.; KORNEGAY, E.T.; SCHELL, T. Influence of lysine on the utilisation of zinc from zinc sulfate and a zinc-lysine complex by pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.76, p.1064-1074, 1998.

CHOI, Y. J.; I. K. PAIK. The effect of supplementing copper sulfate on the performance of broiler chicken. **Journal of Animal Nutrition**. 13: 193-200, 1989.

CHOI S.; LIU X.; PAN Z. Zinc deficiency and cellular oxidative stress: prognostic implications in cardiovascular diseases. **Acta Pharmacol. Sin.** 39, 1120-1132. 2018. <https://doi.org/10.1038/aps.2018.25>.

COBB. Cobb 500 Broiler: Broiler performance and nutrition supplement, **Cobb-Vantress Inc.**, Siloam Springs, AR, 2016.

COMPÊNDIO BRASILEIRO DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL 2017. **Guia de Métodos analíticos**. Revisão: 2017.

COYLE, P. et al. Metallothionein: the multipurpose protein. **Cell Mol Life Sci**, vol. 59, n.4, p.627-647, 2002.

DARDENNE, M. Zinco e função imunológica. **European Journal Clinical Nutrition** 56 (Supl. 3), S20–S23, 2002. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601479>.

DEWAR, W.A., WIGHT, P.A.L., PEARSON, R.A. and GENTLE, M.J. Toxic effects of high concentrations of zinc oxide in the diet of the chick and laying hen. **British Poultry Science** 24: 397-404, 1983.

DISILVESTRO, R. A.; DAVID, E. A.; COLLIGNON, C. Interleukin 1 slowly increases lung fibroblast Cu-Zn superoxide dismutase activity levels. **Proceedings of the**

Society for Experimental Biology and Medicine, New York, v. 197, p.197-200, 1991.

DOMINGUES, C.H.F., SGAVIOLI, S., PRAES, M.F.F.M., CASTIBLANCO, D.M.C., MARCHIZELI, P.C.A., PEREIRA, A.A., DUARTE, K.F. and JUNQUEIRA, O.M. Use of nicarbazin, salinomycin and zinc oxide as alternative molting methods for laying hens. **Brazilian Journal of Poultry Science** 16 (2): 25-30, 2014.

EKSTRAND, C., T. E. CARPENTER, I. ANDERSSON, AND B. ALGERS. Prevalence and footpad in broilers in Sweden. **British Poultry Science** 39:318–32, 1998.

ENSMINGER, M.E., OLDFIELD, J.E. and HEINEMANN, W.W. In: **Feeds and Nutrition**. The Ensminger Publishing Company Clovis CA. Pp: 8-120, 1990.

FAILLA, M. L. Trace elements and host defense: advances and continuing challenges. **Journal of Nutrition**, [s.l.], v. 133, Suppl. 5, p.1443S-1447S, 2003.

FALLAVENA, L. C. B. et al. Presence of avipoxvirus DNA in avian dermal squamous cell carcinoma. **Avian Pathology**, USA, v. 31, n. 3, p. 241-246, 2001.

FAVARO-TRINDADE, C. S.; PINHO. S. C.; ROCHA, G. A. Revisão: microencapsulação de ingredientes alimentícios. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.11, p.103-112, 2008.

FEDDES, J. J., E. J. EMMANUEL, AND M. J. ZUIDHOFT. Broiler performance, body weight variance, feed and water intake, and carcass quality at stocking densities. **Poultry Science** 81:774–779, 2002.

FISHER, G. LAURSEN-JONES, HILL KJ, HARDY WS. The effect of copper sulfate on performance and the structure of the gizzard in broilers. **British Poultry Science**. 14:55–68, 1973. Doi: 10.1080/00071667308415998.

FRANCESCH, M.; BRUFAU, J. Nutritional factors affecting excreta/litter moisture and quality. **World's Poultry Science Journal** 60, 64–75., 2004.

FUHRMANN, R.; KAMPHUES, J. Effects of fat and source as well as of calcium and potassium in the diet on fat excretion and saponification, litter quality and foot pad health in broilers. **European Poultry Science** 80, 1–12, 2016.

GAO, J., LV, Z., LI, C. et al. Maternal zinc supplementation enhanced skeletal muscle development through increasing protein synthesis and inhibiting protein degradation of their offspring. **Biological Trace Elements Research** 162 ,309–316 2014. <https://doi.org/10.1007/s12011-014-0122-5>.

GARCIA, R.G.; MENDES, A.A.; GARCIA, E.A. NÄÄS, I.A.; MOREIRA, J.; ALMEIDA, I.C.L.; TAKITA T.S. Efeito da densidade de criação e do sexo sobre o empenamento, incidência de lesões na carcaça e qualidade da carne de peito de frangos de corte. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 4, n. 1, 2002.

GIBSON, S.W., STEVENSON, M.H. and JACKSON, N. Comparison of the effects of feeding diets supplemented with zinc oxide or zinc acetate on the performance and tissue mineral of mature female fowls. **British Poultry Science** 27: 391-402, 1986.

GUPTA, R.P., VERMA, P.C. and GARG, S.L. Effect of experimental zinc deficiency on thyroid gland in guinea-pigs. **Annals Nutrition Metabolism** 41: 376-381, 1997.

HARMS, R. H., AND C. F. SIMPSON. 1982. Relationship of growth depression from salt deficiency and biotin intake to foot pad of turkey poults. **Poultry Science** 61:2133–2135.

HASLAM, S. M., T. G. KNOWLES, S. N. BROWN, L. J. WILKINS, S. C. KESTIN, P. D. WARRISS, AND C. J. NICOL. Factors affecting the prevalence of foot pad, hock burn and breast burn in broiler. **British Poultry Science**. 48:264–275, 2007.

HEDEMANN, M. S.; JENSEN, B. B.; POULSEN, H. D. Influence of dietary zinc and copper on digestive enzyme activity and intestinal morphology in weaned pigs. **Journal of Animal Science**, v.84, p.3310-3320, 2006.

HENRIQUES, G. S.; HIRATA, M. H.; COZZOLINO, S. M. F. Aspectos recentes da absorção e biodisponibilidade do zinco e suas correlações com a fisiologia da isoforma testicular da enzima conversora de angiotensina. **Revista de Nutrição**, Campinas, v.16, p.333-345, 2003.

HILL, C.H. & MATRONE, G. Studies on copper and iron deficiency in growing chickens. **Journal of Nutrition**, 73: 425-431, 1961.

JENSEN, L.S. Precipitation of a selenium deficiency by high dietary levels of copper and zinc. **Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine** 149: 113-116, 1975.

JEONG, J.; EIDE, D.J.; The SLC39 family of zinc transporters. 2013. **Mol Asp Med**, v.34, n.2-3, p.612–619, 2013.

KAMBE, T. The Physiological, Biochemical, and Molecular Roles of Zinc Transporters in Zinc Homeostasis and Metabolism. **Physiol Rev**, v. 95, n.3, p.749-784, 2015.

KESSELS, J. E. Influence of DNA-methylation on zinc homeostasis in myeloid cells: Regulation of zinc transporters and zinc binding proteins. **J Trace Elem Med Biol**, v.37, p.125-133, 2016.

KIMURA, T.; KAMBE, T. The Functions of Metallothionein and ZIP and ZnT Transporters: An Overview and Perspective. **Int J Mol Sci**, v.17, n.3, p.336-358, mar. 2016.

KLASING, K.C. Nutritional modulation of resistance to infectious diseases. **Poultry Science**, v. 77, p. 1119–1125, 1998.

KOH, T. S., PENG, R. K., KLASING, K. C. Dietary copper level affects copper metabolism during lipopolysaccharide-induced immunological stress in chicks. **Poultry Science**, Champaign, v. 75, p.867-872, 1996.

KUCUK, O., SAHIN, N. and SAHIN, K. Supplemental zinc and vitamin A can alleviate negative effects of heat stress in broiler chickens. **Biological Trace Element Research** 94: 225-235, 2003.

LEESON, S. Copper metabolism and dietary needs. **World's Poultry Science Journal**, [S. I.], v. 65, n. 3, p. 353–366, 2009. DOI: 10.1017/S0043933909000269.

LEESON, S. and CASTON, L. Using minimal supplements of trace minerals as a method of reducing trace mineral of poultry manure. **Animal Feed Science and Technology** 142: 339-347, 2008.

LEESON, S. and SUMMERS, J.D. **Nutrition of the Chicken**. 4th Edn., University Books, Ontario, 2001.

LEESON, S.; SUMMERS, J.D. **Commercial poultry nutrition**. 4.ed. Guelph: University Books, 2005. 398p.

LIU, Z.H., LU, L., LI, S.F., ZHANG, L.Y., XY, L., ZHANG, K.Y. and LUO, X.G. Effects of supplemental zinc source and level on growth performance, carcass traits and meat quality of broilers. **Poultry Science** 90: 1782-1790, 2011.

LU, W. B.; KUANG, Y. G.; MA, Z. X.; LIU, Y. G. The effect of feeding broiler with inorganic, organic, and coated trace minerals on performance, economics, and retention of copper and zinc. **Journal of Applied Poultry Research**, [S. I.], v. 29, n. 4, p. 1084–1090, 2020. DOI: 10.1016/j.japr.2020.10.002.

MAIA, J. L. Desenvolvimento de microcápsulas contendo as antocianinas presentes no corante do extrato do jamba por polimerização interfacial. 2013. 83f. **Dissertação (mestrado em engenharia química)** – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

MAMMADOVA-BACH E., BRAUN, A. Zinc homeostasis in platelet-related diseases. **Int J Mol Sci**, v.20, n.2, 5258-5274, 2019.

MARTLAND, M. F. Ulcerative in broiler chickens: The effects of wet litter. **Avian Pathology**. 14:353–364. 1985.

MAYNE, R. K. A review of the aetiology and possible causative factors of foot pad in growing turkeys and broilers. **World's Poultry Science Journal** 61:256–267, 2005.

MCDONALD, P.; EDWARDS R. A. & GREENHALGH, J.F.D. ET AL. **Animal Nutrition**, 6th ed. Pearson: Edinburgh, 693p, 2002.

MCDOWEL, L. R. Copper and molybdenum – minerals in animal and human nutrition. **Academy Press Inc**. San Diego – Califórnia, p. 178-204, 1992.

MCNAUGHTON, J.L. & DAY, E. Effect of dietary Fe to Cu ratios on hematological and growth responses of broiler chickens. **Journal of Nutrition**, 109 (4). 559-564, 1979.

NAZ, S., IDRIS, M., KHALIQUE, M., ALHIDARY, I., ABDELRAHMAN, M., KHAN, R., CHAND, N., FAROOQ, U. and AHMAD, S. The activity and use of zinc in poultry diets. *World's Poultry Science Journal* 72: 159-167, 2016.

NOVOA-GARRIDO, M.; LARSEN, S; KALDHUSDAL, M. Association between gizzard lesions and increased caecal *Clostridium perfringens* counts in broiler chickens. **Avian Pathology**, [S. l.], v. 35, n. 5, p. 367–372, 2006. DOI: 10.1080/03079450600924150.

NRC, Nutrient Requirements of Poultry. 9th. Ed. **National Academy Press**, Washington, DC. USA. 1994.

OLIVEIRA, M. C.; GOULART, R. B.; SILVA, J. C. N. Efeito de duas densidades e dois tipos de cama sobre a umidade da cama e a incidência de lesões na carcaça de frango de corte. **Ciência Animal Brasileira**, v. 3, n. 2, p. 7-12, 2002.

OLIVEIRA W.N.K., SILVA J. L., LUCENA C.A.L., K.R.L. SILVA, F.N. TAKATA, JOAQUIM EVÊNCIO-NETO. Uso do zinco orgânico na prevenção de lesões de pododermatite em aves. **X Jornada de ensino, pesquisa e extensão – JEPEX 2010 – UFRPE**, 2010.

PANG, Y.; PATTERSON, J. A.; APPLGATE, T. J. The influence of copper concentration and source on ileal microbiota. **Poultry Science**, [s. l.], v. 88, n. 3, p. 586-592, 1 Mar. 2009.

PAGAZAURTUNDU, A., AND P. D. WARRISS. Levels of foot pad in broiler chickens reared in 5 different systems. **British Poultry Science** 47:529–532, 2006.

PESTI, G.M. and BAKALLI, R.I. Studies on the feeding of cupric sulfate pentahydrate and cupric citrate to broiler chickens. **Poultry Science** 75: 1086-1091, 1996.

PHISUT, N. Spray drying technique of fruit juice: some factors influencing the properties of product. **International Food Research**, v. 19, p. 1297-1306, 2012.

POUPOULIS, C. JENSEN, L. S. Effect of high dietary copper on gizzard integrity. **Poultry Science**. 55:113–21, 1976. Doi: 10.3382/as.0550113.

PRASAD, A.S. Zinc is an antioxidant and anti-inflammatory agent: its role in human health. **Front. Nutr.** 1,1-14,2014.<https://doi.org/10.3389/fnut.2014.00014>.

RAHMAN, H., QURESHI, M.S. and KHAN, R.U. Influence of dietary traits and seminal plasma enzymes and trace minerals of Beetal bucks. **Reproduction in Domestic Animals** 48: 1004-1007, 2014.

RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. M. **Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias**. Viçosa: UFV, 599 p, 2009.

REBELLO, F. F. P. Microencapsulação de ingredientes alimentícios. **Revista Agro Geoambiental**, v. 1, n. 3, p. 134- 144, 2009.

REEVES, P. G.; DEMARS, L. C. Copper deficiency reduces iron absorption and biological life in male rats. **Journal of Nutrition** 134: 1953-1957, 2004.

RICHARDS, J.D.; ZHAO, J.Z.; HARREL, J.R.; ATWELL, C.A.; DIBNER, J.J. Trace mineral nutrition in Poultry and Swine. Asian-Australasian. **Journal of Animal Science**, v.23, n.11, p.1527-1534, 2010.

ROSSI, P.; RUTZ, F.; ANCIUTI, M. A.; RECH, J. L.; ZAUK, N. H. F. Influence of Graded Levels of Organic Growth Performance and Carcass Traits of Broilers. **Journal of Applied Poultry Research**, v.16, p. 219–225, 2007.

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

RUZ, M., CODOCEO, J., GALGANI, J., MUNOZ, L., GRAS, N., MUZZO, S., LEIVA, L. and BOSCO, C. Single and multiple selenium-zinc iodine deficiencies affect rat thyroid and ultra structure. **Journal of Nutrition** 129: 174-180, 1999.

RUTZ F, RECH JL, XAVIER EG. et al.; Cuidados críticos na nutrição inicial de aves: Alternativas para melhorar o desempenho e o papel essencial dos nucleotídeos. In: **Anais do 2º Simpósio Brasileiro Alltech**. p.20-39, 2005.

SAHRAEI, M. Effect of diferente zinc sources on tibia bone morphology and ash content of broiler chickens. **Adv Biom Res**, v.6, n.13, p.128-132. 2012.

SAKOMURA, N. K. et al. **Nutrição de não ruminantes**. Jaboticabal: Funep, 678p, 2014.

SALIM, H. M.; LEE, H. R.; JO, C.; LEE, S. K.; LEE, Bong Duk. Effect of sex and dietary organic zinc on growth performance, carcass traits, tissue mineral content, and blood parameters of broiler chickens. **Biological Trace Element Research**, [S. l.], v. 147, n. 1–3, p. 120–129, 2012. DOI: 10.1007/s12011-011-9282-8.

SAMANTA, B.; GHOSH, P. R.; BISWAS, A.; DAS, S.K.; The effects of copper supplementation on the performance and hematological parameters of broiler chickens Asian-Australasian. **Journal of Animal Sciences** 7: 1001-1006, 2011.

SANDOVAL, M., HENRY, P.R., AMMERMAN, C.B., MILES, R.D. and LITTELL, R.C. Relative bioavailability of supplemental inorganic zinc sources for chicks. **Journal of Animal Science** 75: 3195-3205, 1997.

SARCINELLI, M. F.; VENTURINI, K. F.; SILVA, L. C. Estrutura da carne. **Boletim Técnico**, Espírito Santo, 14p, 2007.

SCHEIBER, I. F., J. F. MERCER, AND R. DRINGEN. Metabolism and functions of copper in brain. **P. Neruobio**. 116:33-57, 2014.

SHEPHERD E. M., B.D. FAIRCHILD, Footpad in poultry, **Poultry Science**, 89, 2043-2051, 2010. <https://doi.org/10.3382/as.2010-00770>.

SMITH-MUNGO, L.I.; KAGAN, H. M. Lysyl oxidase: properties, regulation and multiple functions in biology. **Matrix Biology**, v.16, p.387-398, 1998.

STARCHER, B., HILL, C. H., MATRONE, G. Importance of dietary copper in the formation of aortic elastin. **Journal of Nutrition**, 82: 318-322, 1964.

SUAVE, J., DALL'AGNOL, E.C., PEZZIN, A.P.T., SILVA, D.A.K., MEIER, M.M., SOLDI, V. Microencapsulação: Inovação em diferentes áreas. **Health and Environment Journal**, 7(2), pp. 12-20, 2006.

SUTTLE, N.F. **Mineral Nutrition of Livestock**. 4th Edition, CABI, Cambridge, UK. 2010.

TABATABAIE, M. M., H. ALIARABI, A. A. SAKI, A. AHMADI, AND S. A. HOSSEINI SIYAR. Effect of sources and levels of egg quality and laying hen performance. **Pak. Journal Biology Science**. 10:3476-3478, 2007.

TSE, M.L.P.; COSTA, L.B.; BRAZ, D.B. et al. Leitões recém-desmamados alimentados com dietas contendo proteína láctea e zinco suplementar, **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.9, 2010.

UNDERWOOD, E.J.; SUTTLE, N.F. The mineral nutrition of livestock. 3th ed. Wallingford, NY: **CABI Publishing**, p.614, 1999.

VIRDEN, W.S.; YEATMAN, J.B.; BARBER, S.J.; et al. Hen Mineral Nutrition Impacts Progeny Livability. **Journal of Applied Poultry Research**, v.12, p.411–416. 2003.

WEISS, J.; TAKHISTOV, P.; MCCLEMENTS, J. Functional materials in food nanotechnology. **Journal of Food Science**, v. 71, p. 107-116, n. 9, 2006.

WELFARE QUALITY ASSESSMENT PROTOCOL FOR POULTRY (WQAPP). **Welfare Quality Consortium**, Lelystad, The Netherlands. 119 p, 2009.

YIN, DAFEI; TONG, TIEJIN; MOSS, AMY F.; ZHANG, RUIYANG; KUANG, YINGGU; ZHANG, YONG; LI, FANGFANG; ZHU, YUJING. Effects of Coated Trace Minerals and the Fat Source on Growth Performance, Antioxidant Status, and Meat Quality in Broiler Chickens. **Journal of Poultry Science**, [S. l.], v. 59, n. 1, p. 56–63, 2022. DOI: 10.2141/jpsa.0200108.

YU, X. Zinc Metallochaperones reactivate mutant p53 using an ON/OFF switch mechanism: a new paradigm in cancer therapeutics. **Clin. Cancer Res**, v. 24, n. 18, p. 4505-4517, 2018.

ZASTROW, M. L.; PECORARO, V. L. Designing Hydrolytic Zinc Metalloenzymes. **Biochem**, v. 53, n.6, p. 957-978, 2014.

ZHAO, J., R.B. SHIRLEY, M. VAZQUEZ-ANON, J.J. DIBNER, J.D. RICHARDS, P. FISHER, T. HAMPTON, K.D. CHRISTENSEN, J.P. ALLARD AND A.F. GIESEN. Effects of chelated trace minerals on growth performance, breast meat yield, and footpad health in commercial meat broilers. **Journal of Applied Poultry Research**. 19:365–372, 2010.