



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

MONOGRAFIA

Características ósseas para estimar a ingestão de manganês
complexado a aminoácidos para aves de postura fase de cria

Stephany Debora Vila Bela de Lima

Recife - PE
2024



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

MONOGRAFIA

Características ósseas para estimar a ingestão de manganês complexado a
aminoácidos para aves de postura fase de cria

Stephany Debora Vila Bela de Lima
Graduanda

Lilian Francisco Arantes de Souza
Orientadora

Jamille Sheila da Silva Wanderley
Coorientadora

Recife - PE
Fevereiro de 2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- L732c Lima, Stephany Debora Vila Bela de Lima
Características ósseas para estimar a ingestão de Manganês complexado a aminoácidos para aves de postura em fase de cria / Stephany Debora Vila Bela de Lima Lima. - 2024.
40 f.
- Orientadora: Lilian Francisco Arantes de Souza.
Coorientadora: Jamille Sheila da Silva
Wanderley. Inclui referências.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Zootecnia, Recife, 2024.
1. Poedeiras. 2. Densitometria óssea. 3. Índice de Seedor. 4. Minerais orgânicos . I. Souza, Lilian Francisco Arantes de, orient. II. Wanderley, Jamille Sheila da Silva, coorient. III. Título

CDD 636



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

STEPHANY DEBORA VILA BELA DE LIMA

Graduanda

Monografia submetida ao Curso de Zootecnia como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Zootecnia.

Aprovado em: __28__ / __02__ / __2024__

COMISSÃO EXAMINADORA

Presidente _____

Dr^a. LILIAN FRANCISCO ARANTES DE SOUZA (ORIENTADORA)

Universidade Federal Rural de Pernambuco

I Examinador _____

Dr^a. FLAVIANE MARIA FLORÊNCIO MONTEIRO SILVA

Universidade Federal Rural de Pernambuco

II Examinador _____

MSc. WEBERT AURINO DA SILVA

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Suplente _____

Dr. CARLOS BÔA-VIAGEM RABELLO

Universidade Federal Rural de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente, pois sem ele não chegaria até aqui.

Agradeço a minha família por todo apoio e incentivo durante esses anos de curso, e em especial meu tio Ernandes por acreditar tanto em mim e me apoiar.

Agradeço ao meu avô Nilson e meu tio Carlos Eduardo (tio Ênio), que infelizmente se foram antes me verem formada, mas acredito que devem estar imensamente orgulhosos por mim. Agradeço também ao meu gatinho Fifi que também se foi, mas foi a quem prometi que me formaria, dedico tudo a você, companheirinho.

Agradeço imensamente a minhas amigas e companheiras de curso, Leandra de Pádua e Débora Portela, nos encontramos quase que no final dessa jornada, mas foi um encontro de almas, sem vocês não teria conseguido, todas as risadas, noites em claro estudando, todas as loucuras, perturbações e alegrias que levarei para sempre comigo.

Agradeço a minha professora e orientadora Lilian Francisco Arantes de Souza, por todo o apoio, paciência, incentivo e ensinamentos que sempre me deu.

Agradeço ao Grupo de Estudos em Avicultura do Departamento de Zootecnia, por todas as oportunidades, pelos ensinamentos e incentivos na minha graduação, agradeço também aos amigos e companheiros feitos na pós-graduação, Webert, Elton e Adrielle, por toda a ajuda, apoio e incentivo, e agradeço ao aluno e colega Rafael Victor, por toda paciência e ajuda nessa reta final.

Por fim agradeço a UFRPE e ao Departamento de Zootecnia pelo acolhimento e por terem sido minha segunda casa durante esta longa jornada de seis anos.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	13
2.1. Objetivos gerais	13
2.2. Objetivos específicos	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1. Panorama da avicultura de postura e sua relação com a nutrição	14
3.2. Importância e fontes de minerais para poedeiras	15
3.2.1. Fontes inorgânicas	17
3.2.2. Fontes Orgânicas	17
3.3. Funções do manganês no organismo das aves	18
3.3.1. Importância do Manganês para os ossos	19
3.4. Fase inicial da criação de poedeiras	20
3.5. Formação óssea	21
3.6. Importância da formação e integridade óssea para poedeiras.....	22
4. MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1. Local do experimento e das análises	23
4.2. Delineamento Experimental	25
4.3. Manejo das Aves	24
4.4. Avaliação das características ósseas das tíbias	25
5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	27
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
7. CONCLUSÃO	34
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Níveis de inclusão dos microminerais (mg/kg) nas dietas experimentais para a fase de cria.....	25
Tabela 2 – Composição calculada das dietas experimentais da fase de cria.....	25
Tabela 3 – Avaliação óssea das tíbias de pintainhas poedeiras suplementadas com MnCAA.....	28
Tabela 4 – Componentes principais, autovalores e percentagens da variância explicada das características da tíbia de pintainhas poedeiras	28
Tabela 5 – Correlação entre as variáveis e os componentes principais de pintainhas na fase de cria	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Análise dos componentes principais para as características ósseas de pintainhas poedeiras alimentadas com manganês complexado à aminoácidos durante a fase de cria.....	31
---	----

RESUMO

As fontes minerais inorgânicas apresentam menor biodisponibilidade e são comumente suplementadas em excesso na alimentação das aves visando atender as exigências, já as fontes orgânicas são mais biodisponíveis e são incluídas em menor quantidade na dieta. O presente estudo teve como objetivo estimar a ingestão ideal de manganês complexado a aminoácidos na dieta de poedeiras durante a fase de cria por meio de variáveis ósseas. Foram utilizadas 720 pintainhas da linhagem Dekalb White de 1 a 6 semanas que foram distribuídas em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em 6 tratamentos com 6 repetições de 20 aves cada. Os tratamentos foram constituídos por dietas isonutritivas e isoenergéticas com os níveis inclusão de manganês complexado em 25, 37, 49, 61, 73 e 85 mg/kg. Ao final do período experimental foram coletadas ambas as tíbias de 1 ave por parcela experimental. Para a avaliação das variáveis ósseas, foram mensurados e utilizados: resistência óssea, densitometria (proximal, medial e distal), matéria mineral e índice de Seedor das tíbias. As variáveis ósseas obtidas foram submetidas a análise multivariada de dados, sendo realizada a análise multivariada da variância, em seguida os dados foram submetidos a análise de componentes principais (PCA) e matriz de correlação, e a partir dos resultados, as variáveis foram submetidas a modelos de regressão linear e não-linear para estimar a ingestão ideal de manganês complexado a aminoácidos para a fase de cria. Segundo os resultados da ANOVA e MANOVA e de acordo com a PCA, a densitometria distal é a variável óssea mais relevante para se realizar a estimativa. A ingestão ideal de manganês complexado a aminoácidos foi calculada utilizando os modelos: $MnCAA = R_{max} * x / (k_m + x)$ e $MnCAA = -r + \ln((-y - R_{min} - \text{amp} / y - R_{min}) / s)$, e partir da inversão dos modelos foi gerada a estimativa de consumo de 1.767 mg/ave/dia de MnCAA para resposta máxima da densitometria medial da tíbia.

Palavras-chave: Densitometria óssea, índice de Seedor, Minerais orgânicos, Poedeiras

ABSTRACT

Inorganic mineral sources have lower bioavailability and are commonly supplemented in excess in bird feed to meet requirements, while organic sources are more bioavailable and are included in smaller quantities in the diet. The present study aimed to estimate the ideal intake of manganese complexed with amino acids in the diet of laying hens during the rearing phase using bone variables. 720 Dekalb White chicks aged 1 to 6 weeks were used and distributed in a completely randomized design (CRD) in 6 treatments with 6 replications of 20 birds each. The treatments consisted of isonutritive and isoenergetic diets with levels of complexed manganese inclusion at 25, 37, 49, 61, 73 and 85 mg/kg. At the end of the experimental period, both tibias were collected from 1 bird per experimental plot. To evaluate bone variables, the following were measured and used: bone strength, densitometry (proximal, medial and distal), mineral matter and Seedor index of the tibias. The bone variables obtained were subjected to multivariate data analysis, with multivariate analysis of variance being performed, then the data were subjected to principal component analysis (PCA) and correlation matrix, and based on the results, the variables were subjected to linear and non-linear regression models to estimate the ideal intake of manganese complexed with amino acids for the breeding phase. According to the results of ANOVA and MANOVA and according to PCA, distal densitometry is the most relevant bone variable to make the estimate. The ideal intake of manganese complexed with amino acids was calculated using the models: $MnCAA = R_{max} * x / (k_m + x)$ and $MnCAA = -r + \ln((-y - R_{min} - \text{amp} / y - R_{min}) / s)$, and From the inversion of the models, an estimated consumption of 1,767 mg/bird/day of MnCAA was generated for the maximum response of medial tibial densitometry.

Keywords: Bone densitometry, Seedor index, Organic minerals, Laying hen

1. INTRODUÇÃO

O setor de avicultura é um dos ramos da pecuária que têm alcançado excelentes resultados produtivos nos últimos anos e a avicultura de postura têm por finalidade a criação de aves poedeiras para produção comercial de ovos. O aumento da produtividade e longevidade ocorrido com as poedeiras é resultado de uma série de fatores intrínsecos e extrínsecos ao animal, como a genética, a ambiência, o manejo e a nutrição (Oliveira *et al.*, 2020).

A alimentação dos animais representa uma parte significativa dos gastos da produção avícola, o que faz com que os estudos sobre nutrição de poedeiras busquem o melhor desempenho dos animais mediante a adição e mudanças de componentes nas rações. Os minerais são nutrientes requeridos pelas poedeiras diariamente para o bom funcionamento corporal e para a máxima produção de ovos (Araujo *et al.*, 2008), e esses nutrientes podem ser classificados como macro ou microminerais dependendo de suas exigências dietéticas (Bertechini, 2013). Por serem essenciais para o organismo animal são suplementados na ração para garantir sua ingestão em níveis adequados.

A suplementação mineral na forma inorgânica é feita muitas vezes acima da exigência do animal, pois estes interagem com compostos antinutricionais da dieta e possuem relações antagônicas com outros minerais na mucosa intestinal, o que os torna menos disponíveis (Suttle, 2010). Por isso, novas formas de suplementação têm sido criadas e utilizadas, como a suplementação orgânica, que representa a utilização de minerais quimicamente ligados a moléculas orgânicas, que conferem a esse mineral mais estabilidade e disponibilidade para absorção na mucosa intestinal (Kiefer, 2005).

Dentre as várias funções que os minerais desempenham no corpo das aves, a formação e a composição óssea são algumas das mais importantes, pois, os ossos além de desempenharem papel estrutural também servem como reserva para mobilização de minerais, tanto para homeostase corporal como para formação do ovo (Leeson e Summers, 2005). Em aves poedeiras o desenvolvimento ósseo possui início na fase de cria e é completado na fase de recria (Veras, 2020). Assim, as fases iniciais de aves poedeiras se apresentam como fases críticas para um bom desenvolvimento e estabilização do tecido ósseo (Valbuena, 2018).

O manganês está intimamente ligado à formação óssea, pois participa da síntese de substâncias e ativação de enzimas que são componentes da matriz óssea, sendo assim, essencial para os ossos (Ashmead, 1993). Como a formação óssea é iniciada e completada nas fases iniciais de criação, a ingestão ideal de manganês nessas fases de vida é de suma importância para um bom desenvolvimento ósseo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos gerais

Estimar a ingestão ideal de manganês complexado a aminoácidos na dieta de poedeiras durante a fase de cria por meio de variáveis ósseas.

2.2. Objetivos específicos

Verificar o nível ótimo de ingestão de manganês complexado a aminoácidos por meio da resistência óssea, matéria mineral, índice de Seedor e densitometria (proximal, medial e distal) para pintainhas poedeiras em fase de cria.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Panorama da avicultura de postura e sua relação com a nutrição

No ranking mundial de produção de ovos, o Brasil está entre os dez maiores produtores. No ano de 2022, a produção brasileira de ovos foi de aproximadamente 52,068 bilhões de unidades e o consumo foi em média de 241 ovos por habitante (ABPA, 2023). A produção de dúzia de ovos alcançou o maior valor já registrado na série histórica da pesquisa do IBGE em 2022 com 4,06 bilhões de dúzias e recorde de produção de 1,02 bilhão de unidades no primeiro trimestre de 2023 (IBGE, 2023).

Além da genética, sanidade e manejo, a nutrição é um dos pontos chave para que o país tenha alcançado esses resultados. Ao longo dos últimos anos a área de nutrição de poedeiras vem ganhando bastante atenção devido ao aumento do consumo de ovos e maior preocupação com a qualidade dos mesmos. Conjuntamente a isso, a evolução genética que têm ocorrido com as aves de postura resultou em animais mais exigentes nutricionalmente, em resposta à melhora da produção de ovos, melhores taxas de conversão alimentar e maior persistência de pico de postura (Oliveira *et al.*, 2020). Segundo Bendlin *et al.* (2019), o crescente aumento no consumo de ovos ocorreu devido à maior preocupação dos consumidores com a alimentação saudável, além do ovo ser um alimento de baixo custo de aquisição que substitui a carne em algumas refeições.

Já a qualidade dos ovos, segundo Carvalho *et al.* (2020) e Oliveira *et al.* (2020), é um importante atrativo ao consumidor e engloba diferentes aspectos, sendo resultante de fatores tanto extrínsecos quanto intrínsecos à ave, como idade, manejo, temperatura, genética, sanidade e principalmente a nutrição, pois, os componentes presentes na dieta das poedeiras irão influenciar diretamente a composição do ovo, conferindo a esse alimento tanto atributos de ser uma fonte de proteínas de alto valor biológico, como fonte de minerais e vitaminas (Brito *et al.*, 2021).

Cerca de 70% dos custos de produção na avicultura estão associados com a alimentação das aves (Silva *et al.*, 2021), tornando a nutrição uma área de destaque para pesquisas baseadas na otimização da alimentação, principalmente estudos relacionados aos ingredientes das rações, buscando os melhores custos e resultados. Considerando que aves de postura requerem uma alimentação balanceada com aporte nutricional suficiente para sua produção, é imprescindível seguir a orientação

de utilizar rações elaboradas de acordo com as exigências e em quantidades adequadas (Ludke *et al.*, 2010) para que ocorra expressão do máximo potencial genético dos animais.

Nesse sentido, a formulação depende da inclusão e balanceamento de vários nutrientes, como aminoácidos, ácidos graxos, vitaminas e minerais. Os minerais participam e são incluídos em uma pequena parcela da ração, contudo, pela importância que possuem no corpo das aves e na formação do ovo, nos últimos anos muitas pesquisas no âmbito da nutrição de poedeiras tem se concentrado na melhoria de sua biodisponibilidade para o animal, com o desenvolvimento de novas fontes, como as de origem organicamente ligadas (Nys *et al.*, 2018).

3.2 Importância e fontes de minerais para poedeiras

Na nutrição animal, os minerais são compostos inorgânicos ditos essenciais quando possuem função biológica conhecida ou não essenciais quando possuem função biológica parcial ou totalmente não conhecida (Cosmo e Galeriani, 2020), sendo os essenciais importantes para o desenvolvimento corporal das aves, pois eles participam de uma série de processos bioquímicos, agindo como catalisadores nos sistemas enzimáticos e hormonais, sendo cruciais ao crescimento, reprodução, produção, formação óssea e empenamento das aves (Miranda, 2010). Ainda, os minerais podem participar da defesa e proteção do corpo, atuando como constituintes de agentes antioxidantes. Segundo Suttle (2010), os minerais desempenham quatro grandes tipos de funções no organismo animal:

- I- **Estrutural** - os minerais participam como constituintes de tecidos e órgãos no corpo, como ossos, sangue, unhas e cascos.
- II- **Fisiológica** - os minerais participam dos fluídos corporais como eletrólitos que realizam a manutenção da pressão osmótica, do equilíbrio ácido-básico, transmissão de impulsos nervosos e movimentação de músculos.
- III- **Catalítica** - os minerais atuam como catalisadores em sistemas enzimáticos, sendo tanto componentes como ativadores de enzimas.
- IV- **Regulatória** - os minerais regulam a replicação e diferenciação celular, síntese de hormônios e de substâncias importantes no metabolismo e constituição corporal.

Em aves de postura os minerais possuem importância singular na formação do ovo, estando presentes tanto na gema quanto no albúmen e, principalmente, participando da formação e composição da casca que é o componente que protege o ovo. O conteúdo mineral dos ovos é diretamente influenciado pelos ingredientes utilizados na ração e pelas quantidades ingeridas pela galinha (Nys *et al.*, 2018). A casca do ovo é composta por cerca de 94% de carbonato de cálcio, 1,4% de carbonato de magnésio e 3% de glicoproteínas, colágeno e mucopolissacarídeos (Carvalho *et al.*, 2020).

Os minerais requeridos na dieta das aves são classificados em macrominerais ou microminerais e essa divisão está relacionada à concentração dos elementos nos tecidos, o que também implica suas exigências dietéticas (Bertechini, 2013). Os macrominerais mais críticos nas rações de aves são o cálcio, fósforo, potássio, sódio, cloro, enxofre, e o magnésio, já os microminerais são o zinco, ferro, cobre, iodo, manganês, cobalto e selênio, sendo igualmente essenciais para poedeiras (Araujo *et al.*, 2008). Uma das mais importantes limitações nutricionais para poedeiras é a deficiência de minerais, uma vez que as principais matérias primas utilizadas na fabricação das rações (milho e farelo de soja), geralmente, não atendem as exigências dos animais (Araujo *et al.*, 2008), necessitando de suplementação.

Em geral, a deficiência de minerais em aves se manifesta de forma clínica quando ultrapassam o limite das reservas corporais, com a ocorrência de sinais inespecíficos, tais como perda de peso, anormalidades ósseas, queda da produção de ovos, queda da eclodibilidade e alotrofia (González e Silva, 2019) além de aparecimento de ovos com casca fina e deformada. Em poedeiras sinais de deficiência mineral podem se manifestar tanto na fase inicial (pelo maior requerimento de nutrientes por conta do crescimento acelerado) ou na fase de produção (onde boa parte dos minerais são mobilizados para formação do ovo). A suplementação mineral na alimentação de aves normalmente ocorre por meio da utilização de fontes inorgânicas oriundas de compostos geológicos ou industriais (sulfatos, carbonatos, cloretos e óxidos) ou por fontes orgânicas (íons metálicos ligados a moléculas orgânicas) (Groff-Urayama *et al.*, 2023).

3.2.1 Fontes inorgânicas

Os minerais inorgânicos encontram-se sob a forma de substâncias iônicas, que possuem cargas cuja concentração do mineral depende da fonte. Segundo Saldanha (2008), os minerais na forma inorgânica se dissociam liberando íons metálicos no lúmen intestinal, onde o transporte para dentro das células ocorre por difusão passiva ou transporte ativo, necessitando estarem atrelados a um agente ligante ou a uma molécula transportadora que permita sua passagem através da mucosa, porém, muitas vezes estes íons não encontram o agente ligante e acabam sendo perdidos e excretados.

Ainda, Ashmead e Zunino (1993) apontam que os minerais na forma inorgânica podem interagir entre si gerando antagonismo e competição pelos sítios de ligação ou pelos carreadores intestinais. Em geral, o excesso de um mineral na mucosa intestinal afeta a absorção de outros que usam os mesmos carreadores e sítios de ligação. Além das interações antagônicas, o pH também pode afetar absorção dos minerais na forma inorgânica. Grande parte dos minerais necessita de pH mais ácido para serem solubilizados, no entanto, os valores de pH podem se apresentar diferentes nas porções do intestino, o que pode acarretar a perda da característica de solubilidade, caso o ambiente não esteja favorável (Bassi, 2020).

Dessa forma, as fontes inorgânicas acabam apresentando baixa disponibilidade, sendo comumente suplementadas em excesso na alimentação das aves visando atender as exigências. Com isso, essa maior margem de segurança ou excesso na suplementação de minerais resulta em alto nível de excreção mineral, não sendo apenas um desperdício, mas também causador de impactos ambientais (Scottá *et al.*, 2014).

3.2.2 Fontes orgânicas

Os minerais orgânicos podem ser definidos como íons metálicos ligados quimicamente a uma molécula orgânica formando estruturas com características únicas de estabilidade e de alta biodisponibilidade mineral (Association of American Feed Control Officials, 1997). Por conta da forma da ligação onde a molécula orgânica “aprisiona” o mineral, este se apresenta quimicamente inerte, assim, não é

influenciado por íons metálicos livres, além de não entrar no processo de competição iônica e sofrer pouca influência do pH intestinal (Oliveira, 2008).

Desse modo, de acordo com Kiefer (2005), os minerais orgânicos ultrapassam facilmente a barreira intestinal, uma vez que utilizam as vias de absorção das moléculas orgânicas que os ligam, eliminando os problemas de interações antagônicas, proporcionando maior disponibilidade biológica, estabilidade e solubilidade ao mineral, nesse sentido a utilização de minerais complexados ou quelatados pode contribuir para reduzir a excreção mineral e a contaminação ambiental, já que, por apresentarem maior disponibilidade, são incluídos na dieta em menores quantidades, além de apresentarem maior taxa de absorção.

Segundo o ligante que forma a estrutura do mineral orgânico a Association of American Feed Control Officials (1997) classifica os minerais “orgânicos” como:

- I- **Quelato metal-aminoácido:** resultante da reação de um sal metálico solúvel com aminoácidos na proporção molar de um mol de metal para três moles de aminoácidos na forma de ligação covalente coordenada;
- II- **Complexo aminoácido-metal:** resultante da complexação de um sal metálico solúvel com aminoácidos;
- III- **Metal proteinado:** resultante da quelação de um sal solúvel com uma proteína parcialmente hidrolisada;
- IV- **Complexo metal-polissacarídeo:** resultante da complexação de um sal solúvel com um polissacarídeo.

3.3 Funções do manganês no organismo das aves

Entre os microminerais requeridos pelas aves, o manganês (Mn) desempenha papéis muito importantes no metabolismo e fisiologia animal, atuando como constituinte de tecidos, participando da formação e estabilização óssea e da formação da casca do ovo. Segundo Fassani (1998), o Mn pode atuar como ativador de diversas enzimas como hidrolases, quinases, descarboxilases e fosfatases, além de ser constituinte de metaloenzimas como a arginase, a piruvato carboxilase e a superóxido dismutase. Por meio dessas enzimas ele participa do metabolismo de carboidratos, proteínas e lipídeos, metabolismo energético intermediário, proteção corporal, além da síntese de mucopolissacarídeos constituintes da casca do ovo e da matriz óssea.

Ainda, o manganês atua como cofator na regulação da síntese do colesterol, que atua como precursor de hormônios esteroides como estrógenos e progesterona (Pereira e Miguel, 2017), possuindo assim influência sobre o sistema reprodutivo das poedeiras, de modo a agir nas fases iniciais de maturação do sistema reprodutor e no desempenho de postura. Olgun (2017) demonstrou a essencialidade do Mn para poedeiras e seu efeito sobre seu desempenho e qualidade de ovos, sendo este mineral essencial desde a vida embrionária da ave até sua fase produtiva. O Mn pode ser suplementado nas dietas com fontes inorgânicas ou orgânicas. A suplementação com fontes inorgânicas pode ser feita na forma de óxidos, onde a concentração de manganês é de 77%, cloretos com 27,5% de concentração, sulfatos com 32,5% e os carbonatos com 47% de manganês (Bassi, 2020).

As fontes inorgânicas apresentam menor biodisponibilidade e parte deste mineral acaba sendo excretado nas fezes, não sendo totalmente absorvido pelo sistema digestório (Bassi *et al.*, 2021). Ainda, segundo Macari *et al.* (2008), minerais como cálcio, ferro e fósforo podem reduzir a solubilidade do Mn, inibindo sua absorção, além do Mn competir pelos sítios de absorção com cobalto e o ferro nos enterócitos. Fígado, ossos, pâncreas e rins, são os órgãos e tecidos que apresentam as maiores concentrações de manganês no corpo (Fassani, 1998).

3.3.1 Importância do manganês para os ossos

O manganês está intimamente relacionado com a formação óssea, pois atua como componente de sistemas enzimáticos e regulatórios envolvidos no desenvolvimento e na estabilização dos ossos. Segundo González e Silva (2019), este mineral possui função essencial no desenvolvimento da matriz cartilaginosa dos ossos que é composta fundamentalmente por mucopolissacarídeos, também denominados glicosaminoglicanos, uma vez que, por meio da ativação de enzimas glicosiltransferases, ele participa da síntese do sulfato de condroitina e dos proteoglicanos.

O sulfato de condroitina é um mucopolissacarídeo que possui ação na cartilagem epifisária dos ossos, onde possui capacidade de fixar água, permitindo assegurar as propriedades funcionais e mecanismos elásticos da cartilagem, além de manter a rigidez de tecidos (Mikami e Kitagawa, 2013), já os proteoglicanos estão presentes na placa de crescimento ósseo, realizando funções de regulação da

atividade de moléculas sinalizadoras, controle do tráfego de células e moléculas, além de atuar como correceptores e interagem com proteínas fibrosas da matriz (Souza e Pinhal, 2011), sendo essenciais para a manutenção da mineralização óssea.

Algumas alterações esqueléticas e deformidades ósseas estão relacionadas à diminuição das galactotransferases e glicosiltransferases, que são enzimas essenciais para a produção de mucopolissacarídeos e glicoproteínas participantes da cartilagem e do osso (Goff, 2018). Como o manganês atua como ativador dessas enzimas, pode-se ter que a deficiência do Manganês pode provocar a diminuição na síntese dos mucopolissacarídeos (Santos, 2018), assim, esse mineral torna-se essencial na prevenção de anormalidades como a perose (condrodistrofia) e encurtamento dos ossos (Bertechini, 2013).

3.4 Fase inicial da criação de poedeiras

O ciclo da poedeira comercial é dividido em fases de cria, recria, pré-postura e postura. A divisão dessas fases diz respeito as alterações fisiológicas que ocorrem nas aves, nas quais ocorrem a formação do tecido nervoso e esquelético, empenamento, maturidade sexual, ganho de peso e mudanças na estrutura corporal, além das diferentes exigências nutricionais e de manejo (Santos, 2008; Santos, 2014). As poedeiras se desenvolvem de acordo com uma sequência de etapas fisiológicas, ocorrendo primeiramente desenvolvimento do aparelho digestivo e imunológico, seguido pelo desenvolvimento muscular e ósseo e desenvolvimento do aparelho reprodutor e sua posterior maturação e, por fim, o início da vida produtiva.

A fase de cria está compreendida entre o 1º dia até a 5ª semana de vida da ave. Durante esta fase ocorre crescimento corporal acelerado em função do desenvolvimento dos órgãos do aparelho digestivo e do sistema imunológico (Cruz, 2021). Essa fase requer muita atenção, pois além das pintainhas serem muito sensíveis a mudanças de temperatura, os problemas que podem ocorrer neste período podem ocasionar efeitos negativos nas funções desses sistemas, onde as aves podem ter dificuldade durante a vida adulta para digerir e absorver os nutrientes da ração, além de poder haver a ocorrência de imunossupressão, aumentando a susceptibilidade a doenças e reduzindo a resposta às vacinações (Valbuena, 2018).

Para Santos (2020), as fases iniciais de criação podem ser consideradas as etapas mais críticas da vida de uma poedeira, pois nessas fases ocorre o crescimento

e desenvolvimento dos órgãos internos, crescimento esquelético, desenvolvimento do sistema imunológico e dos sistemas reprodutor e digestivo da ave. Além disso, nessas fases ocorrem situações que podem resultar em estresse das aves, como debicagens, vacinações e pesagem, contribuindo para a redução do consumo de ração e, conseqüentemente, do peso corporal.

3.5 Formação óssea

Os ossos compreendem todo o esqueleto animal, realizam a sustentação do corpo, proteção dos órgãos, participam da produção de células sanguíneas e ainda servem como reserva de sais minerais. O osso é composto essencialmente por uma matriz óssea constituída por uma parte inorgânica e uma parte orgânica. A parte inorgânica é composta por minerais como o cálcio, fósforo, potássio, magnésio, sódio e outros compostos inorgânicos, já a parte orgânica é formada por fibras colágenas, proteoglicanos, glicoproteínas de adesão e glicosaminoglicanos (Macari *et al.*, 1994; Eurell e Frappier, 2012).

As fibras colágenas conferem resistência aos ossos. Os proteoglicanos e os glicosaminoglicanos suportam a compressão, ligam-se a fatores de crescimento e ajudam a mineralização, e as glicoproteínas de adesão associam-se às células e aos componentes da matriz extracelular (Eurell e Frappier, 2012). O crescimento e o desenvolvimento dos ossos em comprimento e espessura compreendem os processos de ossificação endocondral e ossificação intramembranosa (Breeland *et al.*, 2023).

Durante o desenvolvimento embrionário o modelo cartilaginoso dos ossos que é formado vai servir como molde para futura formação do tecido ósseo, sendo o processo de ossificação desse molde denominada ossificação endocondral (ossificação indireta) (Burin Junior, 2016). Já o processo de ossificação intramembranosa ocorre quando o osso se forma sem a presença da fase cartilaginosa, pela transformação direta de células mesenquimais em osteoblastos (ossificação direta) (Veras, 2020).

A ossificação endocondral compreende os seguintes processos:

- I. As células mesenquimais se diferenciam e se proliferam em condrócitos, que irão secretar uma matriz contendo colágeno, proteoglicanos e glicoproteínas.

Após isso os condrócitos começam a passar por hipertrofia, e iniciam a secreção de substâncias como a fosfatase alcalina, que ajuda a mineralização juntamente com a hidroxiapatita (cristais de cálcio e fósforo) (Whitehead, 2004).

- II. Após esse primeiro momento, os condrócitos sofrem apoptose e são reabsorvidos. A morte celular resultante cria vazios no molde da cartilagem que irão permitir a invasão de vasos sanguíneos. A partir disso, as cavidades são invadidas por células mesenquimatosas que se diferenciam em osteoblastos, que são as células formadoras do osso (Breeland, 2023; Macari *et al.*, 1994).

Já a ossificação intramenbranosa ocorre quando:

- I. Os osteoblastos, que são formados de células multipotentes, começam a sintetizar e depositar a osteoide (matriz ainda não mineralizada) que logo se mineraliza. Por conta da mineralização, alguns osteoblastos são envolvidos pela matriz e se transformam em osteócitos. Além da osteoide também são secretados colágenos e constituintes da substância fundamental (Macari *et al.*, 1994).
- II. Esses fragmentos de osso que estão se formando são os centros de ossificação, que passam a se propagar formando trabéculas, que aumentam em comprimento e espessura, formando a estrutura primária do osso trabecular (Eurell e Frappier, 2012).

3.6 Importância da formação e integridade óssea para poedeiras

Como a formação óssea das poedeiras têm seu início na fase inicial e é completada na fase de recria (Albino *et al.*, 2017), deve-se ter atenção especial para que as aves alcancem o crescimento e o desenvolvimento ósseo adequado nessas fases antes do início da postura, pois, uma boa conformação óssea é de suma importância para as poedeiras. Além dos ossos servirem como reserva mineral para a manutenção da homeostase, também se tornam uma importante fonte de mobilização de minerais para formação da casca do ovo.

Estima-se que cerca de 20 a 40% do cálcio que compõem a casca do ovo é mobilizado dos ossos, sendo o restante oriundo do cálcio da dieta (Bar, 2009). Hoje com a evolução genética das linhagens, as aves de postura estão cada vez mais produtivas e longevas, chegando as 100 semanas de produção com bom desempenho (Veras, 2020), contudo, esse aumento da produtividade nem sempre é acompanhado por uma boa conformação óssea, assim, conforme as aves envelhecem e produzem, a qualidade óssea é comprometida (Mazzuco e Hester, 2005; Mazzuco, 2006).

Embora vários fatores contribuam para a ocorrência de problemas ósseos em aves (hormonais, genéticos, idade da ave, manejo e as instalações) (Macari *et al.*, 1994; Santos, 2008), a dieta se destaca como um dos fatores mais importantes, onde existem nutrientes que afetam diretamente o desenvolvimento ósseo. Como os ossos são compostos por cerca de 65% (em massa) de minerais, 25% de matéria orgânica e 10% de água (Weiner e Wagner, 1998), os minerais se tornam um dos principais agentes para a boa formação e composição óssea, pois eles tanto participam do osso diretamente na sua composição, quanto indiretamente como constituintes de substâncias essenciais. Assim, a avaliação da qualidade óssea representa um indicativo da ingestão ideal de minerais por meio da dieta das aves (Silva Junior, 2021).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local do experimento e das análises

O experimento foi realizado no Laboratório de Pesquisas com aves (LAPAVE) do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco sob o protocolo da CEUA n° 6000110221. As análises laboratoriais de comprimento, peso e índice de Seedor foram realizadas no laboratório de Nutrição Animal (LNA) e laboratório de Biologia Molecular Aplicada à Produção Animal (BIOPA) do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

As imagens tomográficas (densitometria) foram feitas na Focus imagem e a análise das imagens foi realizada no Departamento de Medicina Veterinária da Universidade Federal Rural de Pernambuco. As análises de resistência óssea foram realizadas no Laboratório de Caracterização de Propriedades Mecânicas do

Departamento de Engenharia Mecânica (LCPM/CTG) localizado na Universidade Federal de Pernambuco.

4.2 Delineamento Experimental

Para a fase de cria foram utilizadas 720 pintainhas da linhagem Dekalb White de 1 dia de idade alojadas em gaiolas. As aves foram distribuídas em delineamento inteiramente casualizado (DIC), composto por 6 tratamentos com 6 repetições de 20 aves cada. O fornecimento de água foi *ad libitum* e o fornecimento de ração foi ajustado de acordo com as necessidades nutricionais das aves.

Os tratamentos foram constituídos pelos níveis de inclusão do manganês complexado em: 25, 37, 49, 61, 73 e 85 mg/kg, sem alteração do nível de inclusão dos demais microminerais (Tabela 1).

As dietas experimentais foram isonutritivas e isoenergéticas variando apenas a inclusão do manganês complexado aos aminoácidos que foram fornecidas entre 1 e 6 semanas de idade (Tabela 2). O manganês complexado com aminoácidos foi fornecido pela Zinpro (Zinpro Corp., Eden Prairie, MN, Estados Unidos).

4.3 Manejo das aves

Na fase de cria as aves foram alojadas em gaiolas com 50 cm de largura x 80 cm de comprimento x 50 cm de altura, totalizando 200 cm²/ave. As gaiolas foram equipadas com bebedouro tipo copo e comedouro tipo calha. Durante a primeira semana de vida, foi adicionado 1 bebedouro tipo pressão infantil e 1 comedouro tipo bandeja em cada gaiola, a água foi fornecida *ad libitum*.

Durante a primeira semana de vida, o piso das gaiolas foi forrado com papel craft. O galpão foi aquecido 2 horas antes da chegada das aves. O aquecimento foi realizado por meio de campânulas a gás distribuídas uniformemente ao longo do galpão e lâmpadas halógenas instaladas individualmente em cada gaiola.

O controle da temperatura foi realizado por meio do uso de cortinas e aquecedores, de forma a atender as recomendações de temperatura de acordo com o manual da linhagem. Na primeira semana de vida foram fornecidas 22 horas de iluminação, e a partir da segunda semana a iluminação foi diminuída gradativamente.

Aos 7 dias as aves foram debicadas utilizando o método do corte com lâmina quente plana.

Tabela 1 – Níveis de inclusão dos microminerais (mg/kg) nas dietas experimentais para a fase de cria.

Microminerais	Níveis de inclusão					
Manganês ¹	25,000	37,000	49,000	61,000	73,000	85,000
Zinco ²	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000
Cobre ³	5,600	5,600	5,600	5,600	5,600	5,600
Ferro ⁴	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000
Selênio ⁵	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175
Iodo ⁶	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700

¹Mn complexado a aminoácidos: 80 g/kg de manganês, ²Zn complexado a aminoácidos: 120 g/kg de zinco, ³Cu complexado a aminoácidos: 100 g/kg de Cobre, ⁴Fe complexado a aminoácidos: 100 g/kg de ferro, ⁵Se complexado a aminoácidos: 1000 mg/kg de selênio, ⁶Iodato de cálcio: 628 g/kg de iodo

Tabela 2 - Composição calculada das dietas experimentais da fase de cria

Ingredientes	%	Composição química e energética	
Milho	61,6345	EMA, kcal/kg	2950
Farelo de soja	34,8821	Proteína Bruta, %	21,03
Calcário calcítico	1,4677	Cloro (%)	0,17
Fosfato Bicálcico	0,8202	Colina (mg/kg)	985,08
Bicarbonato de sódio	0,2000	Fósforo disponível%	0,45
Sal Comum	0,1709	Cálcio %	1,10
DL-metionina 99	0,2409	Sódio	0,18
Premix mineral*	0,2000	Lisina digestível, %	1,16
Premix Vitamínico**	0,1500	Metionina digestível, %	0,53
Fitase***	0,0060	Potássio (%)	0,84
L-Lisina	0,2040		
L-Treonina	0,0238		

*Premix mineral: Zinco (Zn), 42 mg/kg; Cobre (Cu), 5,6 mg/kg; Ferro (Fe), 28 mg/kg; Selênio (Se), 0,175 mg/kg; Iodo (I), 0,7 mg/kg; Manganês (Mg), 25, 37, 49, 61, 73, 85 mg/kg conforme o tratamento. **Premix vitamínico: vitamina A, 9.000.000,00 UI/kg; vitamina D3, 2.500.000,00 UI/kg; vitamina E, 20.000,00 UI/kg; vitamina K3, 2,50 g/kg; vitamina B1, 2,00 g/kg; vitamina B2, 6,00 mcg/kg; vitamina B6, 3,00 g/kg; vitamina B12, 15.000,00 g/kg; Niacina, 35,00 g/kg; Ácido Fólico, 1,50 g/kg; Ácido Pantotênico, 11,00 g/kg; Biotina, 0,11 g/kg. ***Fitase (mínimo) 10.000 FTU/g.

4.4 Avaliação das características ósseas das tíbias

Ao final do período experimental 1 ave por parcela experimental foi selecionada para coleta das tíbias. As tíbias coletadas foram acondicionadas em tubos

devidamente identificados e congeladas em freezer a -20°C . Para avaliação dos parâmetros ósseos, foram descongeladas e todos os tecidos envolventes foram removidos sem provocar injúrias na estrutura óssea.

As tíbias foram pesadas em balança semi-analítica de precisão de 0,01g (Modelo L3102iH, Bel Engineering®, Milão, Itália) e os comprimentos foram aferidos com paquímetro digital (Model Absolute Digital AOS, Mitutoyo, SP, BR - precision of 0.01 mm). A análise de resistência foi realizada com as tíbias *in natura*, utilizando texturômetro universal (Modelo TA-XT Plus, Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido), com uma célula de carga de 50 kg a uma velocidade de 30 mm/min. Foi utilizado programa computacional para registrar a força (kgf) necessária para ocorrer a quebra total do osso. A densitometria óssea foi realizada por equipamento de scanner Hi-speed FX1 CT (General Electric, Fairfield, CT 06824, EUA).

Foi utilizada a distância de 40 mm entre apoios e velocidade de 2 mm/min para as tíbias coletadas. Os ossos foram colocados lado a lado na mesa de exame para obtenção das imagens. As imagens transversais foram obtidas através de cortes da diáfise proximal, medial e distal das tíbias que foram seccionais de 2 mm de espessura em um intervalo de reconstrução de 1 mm, 120 KV e corrente automática do tubo (mA) na velocidade de uma rotação por segundo.

Os valores de densidade óssea foram obtidos por meio da avaliação tomográfica quantitativa. Em seguida, as tíbias foram calcinadas em mufla para obtenção da matéria mineral (550C por 4h), e em seguida, foi calculado o Índice de Seedor, dividindo-se o peso das cinzas (mg) pelo comprimento (mm) das tíbias.

4.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As variáveis ósseas foram submetidas a análise multivariada, onde foi realizada a MANOVA (análise multivariada da variância) e ANOVA e em seguida os dados foram submetidos a análise de componentes principais e matriz de correlação. A partir dos resultados da análise multivariada, as variáveis foram submetidas a modelos lineares e não lineares para estimar a ingestão ideal de manganês complexado a aminoácidos. Foram utilizadas as equações matemáticas de Michaelis-Menten e Sigmoidal e a partir da inversão dos modelos foi estimado a ingestão de MnCAA para cada variável a partir da resposta máxima (Rmax) e qualidade da variável resposta (Km):

$$Y = \frac{(Rmax \times x)}{(Km + x)}$$

Onde: Rmax é a resposta máxima, Km é um parâmetro da função biológica e x é a ingestão de Mn. Invertendo equação, obteve-se a estimativa do consumo ideal de MnCAA para máxima resposta da variável resposta, tendo:

$$MnCAA = -\frac{(Y \times Km)}{(Y - Rmax)}$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para pintainhas poedeiras, apenas a variável de densitometria óssea medial (DSTMED) foi influenciada pela suplementação de MnCAA (Tabela 3).

Tabela 3. Avaliação óssea das tíbias de pintainhas poedeiras suplementadas com níveis de MnCAA.

MnCAA ¹ mg/kg	MnCAA ² mg/ave/dia	IS ³ mg/mm	DSTPROX ⁴	DSTMED ⁵ mg/cm	DSTDIST ⁶	BS ⁷ kgf
25	0.588	8.240	528.5	712.3	816.8	7.070
37	0.870	8.147	527.4	761.4	841.3	7.110
49	1.152	8.272	570.0	802.0	837.1	7.524
61	1.434	8.038	600.8	840.1	930.9	7.482
73	1.716	7.876	545.1	814.8	824.8	6.755
85	2.000	8.177	559.1	668.1	905.3	7.104
Média		8.128	555.1	766.4	864.2	7.180
P-Valor		>0.05	>0.05	<.0001	>0.05	>0.05
*EPM		0.353	10.87	19.35	16.22	0.084

¹Suplementação de Manganês complexado a aminoácidos; ²Consumo de manganês complexado a aminoácidos; ³Índice de Seedor; ⁴Densitometria óssea proximal; ⁵Densitometria óssea medial; ⁶Densitometria óssea distal; ⁷Resistência óssea; *Erro padrão da média.

Na análise de variância multivariada (MANOVA) foi verificada diferença significativa ($p < 0,05$) entre as variáveis ósseas de pintainhas de postura pelo teste de Wilks. Os resultados obtidos pela PCA, autovalores e percentagens da variância explicada pelas variáveis, são apresentados na Tabela 4. Os dois primeiros componentes principais explicam 83,54% da variação total dos dados.

Tabela 4. Componentes principais (PCA), autovalores (λ_i) e percentagens da variância explicada (% var. VC) das características da tíbia de pintainhas poedeiras.

PCA	Autovalor	Porcentagem	Porcentagem acumulada
1	1,1235	59,5087	59,5087
2	0,8539	24,0408	83,5495
3	0,2842	15,0522	98,6017
4	0,0200	1,0589	99,6606
5	0,0064	0,3394	100,0000

Dentre os cinco componentes principais gerados para a fase de cria, foi possível observar que três apresentaram autovalor inferior a 0,7. Assim como descrito por Jolliffe (1973), acerca do critério de descarte de variáveis, é passível de descarte aquelas que apresentarem maior coeficiente, em valor absoluto, no componente principal de menor autovalor, é aquela que se considera como menos importante para explicar a variabilidade total dos dados. As variáveis sugeridas para descarte são, respectivamente, em ordem de menor importância para explicação: Matéria mineral, densitometria proximal, e resistência (Tabela 5).

Tabela 5. Correlação entre as variáveis e os componentes principais (PCA) de pintainhas na fase de cria.

Variáveis	PCA				
	1	2	3	4	5
SI ¹	-0.1617	0.6917	0.6762	-0.1872	0.0556
DSTPROX ²	-0.9192	-0.0499	0.3081	0.2399*	0.0058
DSTMED ³	-0.3410	-0.9320	0.4341	0.0463	-0.0309
DSTDIST ⁴	-0.8551	-0.0073	-0.2214	-0.1925	0.0407
BS ⁵	-0.4543	0.3295	0.8187*	-0.1110	-0.0493
MM ⁶	0.8099	-0.1366	0.5481	0.0012	0.1583*

¹Índice de Seedor; ²Densitometria óssea proximal; ³Densitometria óssea medial; ⁴Densitometria óssea distal; ⁵Resistência óssea; ⁶Matéria mineral

A variável de matéria mineral (MM) que foi apontada como passível de descarte diz respeito a fração inorgânica ou teor de cinzas que a amostra possui após a queima total do material orgânico (Souza *et al.*, 2017), o que conseqüentemente reflete o teor de minerais contido na amostra óssea. Já a variável de resistência óssea (BS) diz respeito capacidade de suportar tensão, portanto, está relacionada à carga final no qual o osso pode resistir (Rath *et al.*, 2000). Durante a fase de cria os ossos das pintainhas ainda estão em desenvolvimento, segundo Veras (2020) a estrutura esquelética da galinha é completada durante a fase de recria das aves, onde há a ocorrência do desenvolvimento de ossos dos tipos trabeculares e corticais até o início da maturidade sexual, onde ocorre alteração na função dos osteoblastos que passam a formar o osso medular (Whitehead, 2004).

Assim na presente fase estudada o crescimento e desenvolvimento ósseo das aves ainda está ocorrendo, de modo que os ossos longos como a tíbia ainda estão em processo de calcificação e crescimento intramembranoso, possuindo ainda em sua constituição cavidades que serão preenchidas até o início da postura (Whitehead,

2004), desse modo os ossos das aves nesta fase ainda não são muito mineralizados e resistentes, de modo que a avaliação das variáveis de matéria mineral e força óssea possuem pouca relevância no presente estudo, com este mineral em específico e na presente fase de vida da ave. Assim conforme observado por Brito (2005), onde a variável óssea de teor de cinzas e as características estruturais de ossos longos de frangas de postura não apresentaram sofrer influência pela suplementação de minerais na forma orgânica ou inorgânica.

A partir da PCA, foi possível determinar que as variáveis que mais influenciaram as características ósseas, para a presente fase estudada, foram a densitometria medial e densitometria distal, onde a variável DSTDIST está altamente correlacionada com o PCA1 que representa 59% dos dados e a variável DSTMED está altamente correlacionada negativamente com o PC2 que representa 24% dos dados, demonstrando a interferência dessas variáveis nos dados conforme observado na Figura 1.

A partir dos resultados demonstrados na figura, é possível verificar pelo direcionamento dos vetores o comportamento das variáveis de interesse DSTMED e DSTDIST. É possível observar que as variáveis de densitometria estão correlacionadas positivamente entre si, onde dentre os níveis de suplementação estudados para a fase, os níveis de 49, 61 e 73 mg/kg possuem os maiores resultados para a DSTMED e os níveis de 37, 61 e 85 mg/kg possuem os maiores para a DSTDIST. Ainda sendo constatado que o nível de suplementação de 61 mg/kg possui os maiores valores para as variáveis de DSTMED e DSTDIST da tíbia, apresentando relação inversa ao nível de suplementação de 25 mg/kg que apresenta menores valores de DSTMED e DSTDIST. Os resultados encontrados no presente trabalho são semelhantes aos encontrados por Silva (2020), onde a suplementação com microminerais (Zn, Mn e Cu) complexados a aminoácidos afetou a área medial e total das tíbias de galinhas poedeiras, apresentando maiores valores, juntamente com os tratamentos de maiores níveis de suplementação que apresentaram melhor valor de densitometria para área distal.

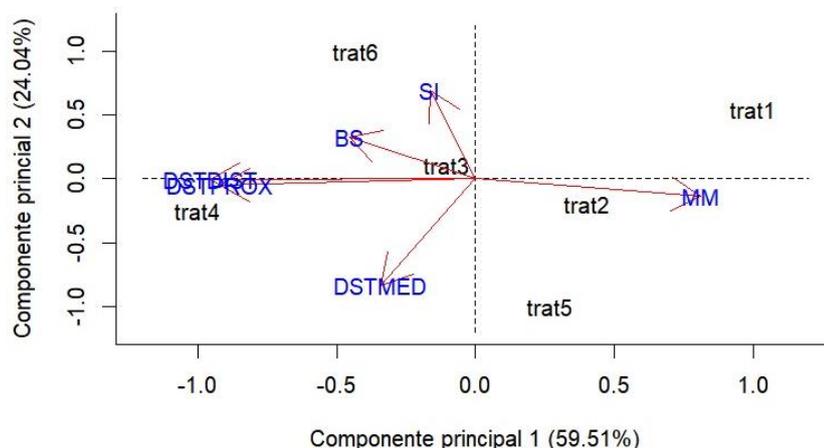


Figura 1. Análise dos componentes principais para as características ósseas de pintainhas poedeiras alimentadas com manganês complexado à aminoácidos durante a fase de cria.

Dentre as variáveis ósseas levadas em conta no presente trabalho, a densitometria óssea é uma das mais relevantes a serem medidas para a avaliação da integridade óssea, pois é possível através dela verificar a massa óssea e concentração de minerais no tecido ósseo (Almeida Paz e Bruno., 2006) pois a densidade é descrita como a razão entre massa de material por volume de osso, assim ela é bastante considerada pois reflete a saúde dos ossos (Rath *et al.*, 2000), assim segundo Barreiro *et al.* (2009) uma maior densidade mineral óssea sugere uma maior mineralização dos ossos. Além da importância para a avaliação da saúde óssea a densitometria óssea também tem sido utilizada na produção avícola como ferramenta por ser um método confiável, preciso e não invasivo, já que pode ser realizado sem a necessidade de abate do animal (Almeida Paz e Bruno., 2006).

O osso é um tecido dinâmico influenciado por fatores fisiológicos, físicos e nutricionais (Rath *et al.*, 2000), assim o aporte nutricional que as aves recebem está intimamente ligado com o desenvolvimento ósseo, e dentre os minerais que participam da formação óssea, o manganês possui papel essencial na constituição óssea por meio da ativação de enzimas responsáveis pela síntese de substâncias essenciais para a estabilização da matriz óssea, tornando-se necessário para a síntese de mucopolissacarídeos que são componentes essenciais para os ossos, através da ativação da glicosiltransferases (Suttle, 2010), que são um grupo de metaloenzimas Mn dependentes, nesse sentido, a deficiência de Mn pode

comprometer a formação e estabilização da matriz óssea. Ainda dentre os tecidos ósseos, a tíbia é a mais sensível a deposição de Mn em função dos níveis ingeridos (Bertechini, 2013), sendo um tecido que se apresenta como um bom indicador da ingestão dietética e deposição desse mineral.

Para a estimativa do consumo ideal de MnCAA para pintainhas poedeiras foram utilizadas as variáveis ósseas que mais influenciaram os componentes principais, e que foram significativas ($p < 0,05$) para análise de variância (ANOVA) e para a MANOVA. Com isso, foi utilizada apenas a variável de densitometria medial, que, obteve uma estimativa de consumo ideal de Mn-CAA de 1.767 (mg ave dia⁻¹), obtido a partir da equação Michaelis-Menten e Sigmoidal $MnCAA = R_{max} * x / (k_m + x)$ e $MnCAA = -r + \ln((-y - R_{min} - \text{amp} / y - R_{min}) / s)$. O modelo faz a estimativa a partir da resposta máxima da variável, refletindo que o valor, diante dessa margem de consumo a resposta da variável chega a um ponto de máximo e se estabiliza, assim obtendo-se o máximo de desempenho.

A tabela brasileira de aves e suínos de (Rostagno *et al.*, 2017), recomenda uma suplementação para fase inicial de aves poedeiras de 32,83 mg/kg de Mn na forma orgânica e 73,98mg/kg para forma inorgânica, já Leeson e Summers, (2008) recomendaram o nível de suplementação de Mn na forma inorgânica de 60 mg/kg para poedeiras em todo seu período de vida. No presente estudo a estimativa de consumo de 1.767 mg de MnCAA por ave/dia se aproxima do consumo estimado para o nível de suplementação utilizado de 73 mg/kg (cerca de 1.716 mg/ave/dia), assim diante do exposto, este nível de suplementação se apresenta como o mais aproximado de acordo com a estimativa de consumo para a resposta máxima do desempenho da densitometria medial das tíbias, de mesmo modo que o nível de suplementação de 61 mg/kg apresentou os melhores resultados para as densitometria.

Wang *et al.* (2021) em trabalho avaliando diferentes níveis de Mn para frangos de corte em fase de crescimento, constatou que os níveis de suplementação de 52, 60 e 68 mg/kg são adequados para o melhor desempenho e características tibiais nas fases inicial, crescimento e terminação dos animais, de mesmo modo que Xia *et al.* (2021) em trabalho com diferentes fontes Mn, constatou que as fontes orgânicas (glicinato e proteinato) foram capazes de prover melhor desempenho em relação a fonte inorgânica (sulfato) suplementadas na mesma quantidade (60mg/kg),

promovendo melhor desenvolvimento da tíbia, status geral de estresse oxidativo e eficiência de absorção de frangos de corte, o que difere dos resultados encontrados por Medeiros (2017), que em trabalho com suplementação de microminerais de Zn, Mn e Cu na forma inorgânica (70, 70 e 8 mg/kg) e substituição parcial por fontes orgânicas (30, 30 e 5,25 mg/kg) , não encontrou diferenças estatísticas entre os parâmetros de desempenho e características ósseas de pintainhas de postura na fase de cria.

Desse modo os níveis de suplementação tanto inorgânicos como orgânicos recomendados pelos trabalhos abordados não diferem muito dos níveis de suplementação que se mostram ideais no presente trabalho para o consumo estimado para a melhor DSTMED, porém se apresentam maiores que o recomendado por (Rostagno *et al.*, 2017) para fonte orgânica. Esta circunstância pode ser explicada pelo fato de que a densitometria é mensurada a partir do conteúdo mineral ósseo (Almeida Paz e Bruno., 2006) e como os ossos, e em especial a tíbia, são tecidos que possuem maior sensibilidade a deposição mineral (Fleming, 2008; Bertechini, 2013) maiores valores de suplementação mineral podem refletir maiores valores de deposição mineral óssea, o que conseqüentemente reflete maior densitometria óssea.

O que é concordante com o trabalho realizado por Gajula *et al.* (2010), que ao avaliarem níveis crescentes de suplementação de Mn em sua forma inorgânica em (60, 120 e 240 mg/kg) na dieta para frangos de corte, observaram que as concentrações de Mn na tíbia aumentaram linearmente conforme foi aumentada a suplementação dietética do mineral até o nível máximo estudado, juntamente com os resultados encontrados por Saldanha *et al.* (2020) que ao avaliarem diferentes disponibilidades de fontes (orgânica e inorgânica) e níveis (0, 35, 70, 105 ou 140 mg/kg) de Manganês, constataram aumento na resistência óssea e concentração de Mn na tíbia com a suplementação do Mn independentemente da fonte.

6. CONCLUSÃO

A partir dos resultados da análise multivariada da variância foi constatado que a variável de densitometria medial possui maior relevância para estimar a ingestão ideal de manganês complexado a aminoácidos para poedeiras em fase de cria, sendo estimado o consumo ideal de manganês com base na resposta máxima da densitometria medial em 1.767 mg/ave/dia.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual**. 2023.
- ALBINO, Luiz Fernando Teixeira *et al.* **Galinhas Poedeiras**: criação e alimentação. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, 2017.
- ALMEIDA PAZ, ILC; Bruno, LDG. Bone mineral density: review. **Brazilian Journal Of Poultry Science**, SI, v. 2, n. 8, p. 69-73, jun. 2006.
- ARAUJO, José Anchieta *et al.* Fontes de Minerais para Poedeiras. **Acta Veterinária Brasileira**, v. 2, n. 3, p. 1-9, out. 2008.
- ASHMEAD, H. Dewayne; ZUNINO, Hugo. Factors Which Affect The Intestinal Absorption of Minerals. In: ASHMEAD, H. Dewayne (ed.). **The Roles of Amino Acid Chelates in animal nutrition**. Westwood: Noyes Publications, p. 21-37. 1993.
- BAR, Arie. Calcium transport in strongly calcifying laying birds: mechanisms and regulation. **Comparative Biochemistry And Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, [S.L.], v. 152, n. 4, p. 447-469, abr. 2009.
- BARREIRO, F.R. *et al.* Densitometric and biochemical values of broiler tibias at different ages. **Poultry Science**, [S.L.], v. 88, n. 12, p. 2644-2648, dez. 2009.
- BASSI, Guilherme Santos *et al.* Níveis e fontes de manganês sobre o desempenho e a resistência óssea em frangos de corte. **Research, Society And Development**, v. 10, n. 3, p. 1-10. Research, Society and Development. 11 mar. 2021.
- BASSI, Guilherme Santos. **Níveis e Fontes de Manganês sobre o Desempenho e a Resistência Óssea em Frangos de Corte**. 2020. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.
- BENDLIN, Luciano *et al.* **Comparação da produção de ovos vermelhos x brancos: uma análise dos custos de produção, expectativas de retorno e riscos**. Custos e Agronegócio Online - v. 15, Edição Especial. Disponível em: <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/especialv15/OK%20%20ovos.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2023.
- BERTECHINI, Antônio Gilberto. **Nutrição de Monogástricos**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2013.
- BREELAND, G. *et al.* **Embryology, Bone Ossification**. 2023 May 1. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023.

BRITO, Benito Guimarães de et al. **Produção e curiosidades sobre o ovo**. Porto Alegre: SEAPDR/DDPA, 2021.

BRITO, Jerônimo Ávito Gonçalves de. **Uso de Microminerais sob a Forma de Complexo Orgânico em Rações de frangas na Fase de Recria**. 2005. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

BURIN JUNIOR, Alvaro Mario. **Suplementação de Arginina e Manganês sobre o Desempenho Produtivo, Desenvolvimento ósseo e Competência Imunológica de Frangos de Corte DE**. 2016. 110 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Medicina Veterinária, Universidade Federal do Paraná, Palotina, 2016.

CARVALHO, Débora Araújo de *et al* (org.). **Conservação, uso e melhoramento de galinhas caipiras**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2020.

COSMO, Bruno Marcos Nunes; GALERIANI, Tatiani Mayara. Minerais na alimentação animal. **Revista Agronomia Brasileira**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 1-9, 2020.

CRUZ, Adriana Honorato. **Manejo de Poedeiras Comerciais na Granja Ovos do Sítio**. 2021. 37 f. TCC (Graduação) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal de Sergipe, Nossa Senhora da Glória, 2021.

EURELL Jo Ann; FRAPPIER Brian L. **Histologia Veterinária de Dellmann**. 6. ed. Barueri: Manole Ltda, 2012.

FASSANI, Edison José. **Manganês Na Nutrição De Poedeiras No Segundo Ciclo De Produção**. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.

FLEMING, Robert H. Nutritional factors affecting poultry bone health. **Proceedings Of The Nutrition Society**, [S.L.], v. 67, n. 2, p. 177-183, 15 abr. 2008

GAJULA, Shyam Sunder *et al*. Effect of Supplemental Inorganic Zn and Mn and their Interactions on the Performance of Broiler Chicken, Mineral Bioavailability, and Immune Response. **Biological Trace Element Research**, [S.L.], v. 139, n. 2, p. 177-187, 3 mar. 2010.

GOFF, Jesse P. Invited review: mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid-base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. **Journal Of Dairy Science**, [S.L.], v. 101, n. 4, p. 2763-2813, abr. 2018.

GONZÁLEZ, Félix H. D.; SILVA, Sérgio Ceroni da. **Minerais e Vitaminas No Metabolismo Animal**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019.

GROFF-URAYAMA, Priscila M. *et al.* Sources and levels of copper and manganese supplementation influence performance, carcass traits, meat quality, tissue mineral content, and ileal absorption of broiler chickens. **Poultry Science**, v. 102, n. 2, fev. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. POG - **Produção de Ovos**. 2023.

JOLLIFFE, I. T. Discarding Variables in a Principal Component Analysis. II: Real Data. **Journal of the Royal Statistical Society Series C: Applied Statistics**, v. 22, n. 1, p. 21–31, 1 mar. 1973.

KIEFER, Charles. Minerais Quelatados Na Nutrição De Aves e Suínos. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 2, n. 3, p. 201-220, jun. 2005. Disponível em: <https://nutritime.com.br/wp-content/uploads/2020/01/Artigo-023.pdf>. Acesso em: 01 nov . 2023.

LEESON, Steven; SUMMERS, John D. **Commercial Poultry Nutrition**. 3. ed. Guelph: Nottingham University Press, 2008.

LUDKE, Jorge Vitor. *Et al.* **Alimentos e Alimentação de Galinhas Poedeiras em Sistemas Orgânicos de Produção**. 2010. Circular Técnica. Embrapa Suínos e Aves, Concórdia.

MACARI, Marcos. *et al.* **Fisiologia Aviária Aplicada a Frangos de Corte**. 3 ed. São Paulo: Funep, Fcav/Unesp, 2008.

MACARI, Marcos. *et al.* **Fisiologia Aviária Aplicada a Frangos de Corte**. Jaboticabal: Funep, Fcav/Unesp, 1994.

MAZZUCO, Helenice ; HESTER, P.y. The effect of na induced molt and a second cycle of lay on skeletal integrity of White Leghorns. **Poultry Science**, [S.L.], v. 84, n. 5, p. 771-781, maio 2005.

MAZZUCO, Helenice. **Integridade Óssea em Poedeiras Comerciais: Influência de Dietas Enriquecidas com Ácidos Graxos Poliinsaturados e Tipo de Muda Induzida**. Circular Técnica. Embrapa Suínos e Aves, Concórdia. 2006.

MEDEIROS, Waleska Rocha Leite de. **Minerais Orgânicos em Dietas De Pintainhas de Postura Comercial**. 2017. 44 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2017.

MIKAMI, Tadahisa; KITAGAWA, Hiroshi. Biosynthesis and function of chondroitin sulfate. **Biochimica Et Biophysica Acta (Bba) - General Subjects**, [S.L.], v. 1830, n. 10, p. 4719-4733, out. 2013.

MIRANDA, Carolina Carvalho de. **Formas Inorgânicas e Orgânicas De Minerais e Temperatura Ambiente Sobre o Desempenho, Imunidade e Parâmetros Sanguíneos Em Frangos De Corte**. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

NYS, Y. *et al.* Adapting trace mineral nutrition of birds for optimising the environment and poultry product quality. **World'S Poultry Science Journal**, [S.L.], v. 74, n. 2, p. 225-238, 1 jun. 2018.

OLGUN, O. Manganese in poultry nutrition and its effect on performance and eggshell quality. **World'S Poultry Science Journal**, v. 73, n. 1, p. 45-56, 1 mar. 2017.

OLIVEIRA, Helder Freitas de. *et al.* Fatores intrínsecos a poedeiras comerciais que afetam a qualidade físico-química dos ovos. **Pubvet**, v. 14, n. 3, p. 1-11, abr. 2020.

OLIVEIRA, Rafael Carvalho de. **Morfometria computacional de órgãos de frangos de corte submetidos a duas dietas distintas: suplementação mineral quelada versus suplementação mineral tradicional**. 89 f. Tese (Doutorado) - Curso de Bioinformática, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

PEREIRA, Erlon Lopes; MIGUEL Anna Luísa Ribeiro. Produção Industrial De Hormônios Esteroides. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, v. 15, n. 2, p.411-435, ago./dez. 2017.

RATH, N.C. *et al.* Factors Regulating Bone Maturity and Strength in Poultry. **Poultry Science**, [S.L.], v. 79, n. 7, p. 1024-1032, jul. 2000.

ROSTAGNO, Horacio Santiago *et al.* **Tabelas Brasileiras Para Aves e Suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2017.

SALDANHA, Érika Salgado Politi Braga. **Efeitos de Minerais Organicos No Desempenho, Qualidade de Ovos e Qualidade Ósseo de Poedeiras Semi-Pesadas no Segundo Ciclo de Produção**. 2008. 103 f. Tese (Doutorado) - Curso de Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

SALDANHA, Mariana M. *et al.* Relative bioavailability of manganese in relation to proteinate and sulfate sources for broiler chickens from one to 20 d of age. *Poultry Science*, [S.L.], v. 99, n. 11, p. 5647-5652, nov. 2020.

SANTOS, Ándrea Luciana dos. **Desempenho, crescimento, qualidade do ovo, composição corporal e características reprodutivas e ósseas de poedeiras submetidas a diferentes programas nutricionais.** 2008. 167 f. Tese (Doutorado) - Curso de Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2008.

SANTOS, Bruno Moreira dos. **Suplementação Com Microminerais Quelatados Ou Inorgânicos Para Poedeiras Comerciais.** 2014. 90 f. Tese (Doutorado) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

SANTOS, Clariana Silva. **Suplementação De Minerais Complexados a Aminoácidos Em Dietas De Galinhas Poedeiras De 78 a 98 Semanas de Idade.** 2018. 86 f. Tese (Doutorado) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.

SANTOS, Maria Paula Rodrigues dos. **Produção De Poedeiras Comerciais Em Fase De Cria e Recria.** 33 f. TCC (Graduação) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal de Sergipe, Nossa Senhora da Glória, 2020.

SCOTTÁ, B.A. *et al.* **Influência dos minerais quelatados e inorgânicos no metabolismo, desempenho, qualidade da carcaça e da carne de frangos de corte.** *PUBVET*, Londrina, V. 8, N. 9, Ed. 258, Art. 1710, Mai, 2014.

SILVA JÚNIOR, Rogério Ventura da. **Minerais Complexados com Aminoácidos em Dietas de Poedeiras. Da Fase de Cria ao Período Final de Produção.** 2021. 103 f. Tese (Doutorado) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2021.

SILVA, Brena Cristine Rosário *et al.* Uso do coproduto de etanol de milho na alimentação de aves: revisão. **Research, Society And Development**, v. 10, n. 4, p. 1-14, 4 abr. 2021.

SILVA, Leandro Moreira da. **Fontes de Microminerais sobre a Histologia Intestinal, Parâmetros Ósseos e Composição da Gema de Aves Poedeiras.** 2020. 55 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2020.

SOUZA, Marjorrie Augusto de *et al.* Estudo colaborativo para avaliação dos teores de matéria mineral em alimentos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 62-75, mar. 2017.

SOUZA, Renan Salvioni de; PINHAL Maria Aparecida da Silva. Interações em Processos Fisiológicos: a Importância da Dinâmica entre Matriz Extracelular e Proteoglicanos. **Arquivos Brasileiros de Ciências da Saúde**, v.36, n.1, p. 48-54, Jan/Abr. 2011.

SUTTLE, Neville F. **Mineral Nutrition of Livestock**. 4. ed. Cambridge: Cabi, 2010.

VALBUENA, Daniel A. **Manejo de poedeiras comerciais**. AviNews Brasil Dezembro 2018. Disponível em: <https://avinews.com/pt-br/download/podeiras.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2023.

VERAS, Aline Guedes. **Desenvolvimento Ósseo em Poedeiras Comerciais nas Fases de Cria e Recria**. 2020. 122 f. Tese (Doutorado) - Curso de Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2020.

WANG, Yibing *et al.* Optimal Level of Supplemental Manganese for Yellow-Feathered Broilers during the Growth Phase. **Animals**, [S.L.], v. 11, n. 5, p. 1389, 13 maio 2021.

WEINER, S.; WAGNER, H. D. The Material Bone: esturcture-mechanical function relations. **Annual Review Of Materials Science**, [S.L.], v. 28, n. 1, p. 271-298, ago. 1998.

WHITEHEAD, C.C. Overview of bone biology in the egg-laying hen. **Poultry Science**, [S.L.], v. 83, n. 2, p. 193-199, fev. 2004.

XIA, Wei-Hao *et al.* Effects of Inorganic and Organic Manganese Supplementation on Growth Performance, Tibia Development, and Oxidative Stress in Broiler Chickens. **Biological Trace Element Research**, [S.L.], v. 200, n. 10, p. 4453-4464, 1 dez. 2021.