



Produção de dejetos e excreção de minerais por galinhas poedeiras alimentadas com licopeno e diferentes fontes minerais

[Manure production and mineral excretion in laying hens supplemented with lycopene and different mineral sources]

Elis Regina de Moraes Garcia^{*1} , Cristiane de Almeida Neves Xavier¹ , Flavia Kleszcz da Cruz¹ , Tania Mara Baptista dos Santos¹ , Brenda Kelly Viana Leite¹ 

¹ Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Aquidauana, Mato Grosso do Sul, Brasil 

*autor correspondente: ermgarcia@uems.br

Recebido: 29 de novembro de 2024. Aceito: 17 de novembro de 2025. Publicado: 25 de fevereiro de 2026.

Editor: Rondineli P. Barbero

Resumo: O objetivo foi avaliar o efeito de dietas contendo licopeno e minerais orgânicos ou inorgânicos na produção e caracterização dos dejetos de galinhas poedeiras comerciais. Foram utilizadas 192 galinhas poedeiras, distribuídas em delineamento inteiramente casualizado com um arranjo fatorial 2×3 (fontes de minerais $\times$ níveis de licopeno), com quatro repetições e oito aves por tratamento. As inclusões de licopeno foram de 0, 400 e 800 mg kg^{-1} de dieta. Os tratamentos foram: MI, dieta com mineral inorgânico sem licopeno; MI+400, dieta com mineral inorgânico e 400 mg de licopeno; MI+800, dieta com mineral inorgânico e 800 mg de licopeno; MO, dieta com mineral orgânico sem licopeno; MO+400, dieta com mineral orgânico e 400 mg de licopeno; MO+800, dieta com mineral orgânico e 800 mg de licopeno. Foi avaliado o consumo de ração, produção diária de excretas e os teores de matéria seca, matéria orgânica, matéria mineral, pH, nitrogênio amoniacal, carbono e macro e micronutrientes nos dejetos. O consumo de ração aumentou com MO e MO+800 em comparação com MI e MI+800, sem diferenças entre as fontes de minerais no nível de 400 mg de licopeno. No entanto, MI+400 resultou em maior consumo de ração em comparação com MI e MI+800. As dietas não influenciaram a produção diária de excretas. A dieta MO+800 apresentou maiores percentuais de matéria seca, afetando os valores de matéria orgânica e mineral, levando a uma maior excreção de nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio, ferro e zinco. As dietas não aumentaram a produção diária de excretas das galinhas, mas a dieta MO+800 aumentou a excreção de macro e micronutrientes.

Palavras-chave: carotenoides; excreção; minerais orgânicos; nutrientes; quelato.

Abstract: The effects of feeding diets containing lycopene and organic or inorganic minerals on commercial laying hens on manure production and characteristics were evaluated. A total of 192 laying hens were distributed into treatment groups using a completely randomized design with a 2×3 factorial arrangement (mineral sources $\times$ lycopene levels), with four replicates and eight birds per treatment. The diet was supplemented with lycopene at 0, 400, or 800 mg kg^{-1} of diet. The diets were as follows: MI, inorganic mineral diet without lycopene; MI+400, inorganic mineral diet with 400 mg of lycopene; MI+800, inorganic mineral diet with 800 mg of lycopene; MO, organic mineral diet without lycopene; MO+400, organic mineral diet with 400 mg of lycopene and MO+800, organic mineral diet with 800 mg of lycopene. The feed intake; daily manure production; and manure contents of dry

matter, organic matter, mineral matter, ammoniacal nitrogen, carbon, and macro- and micronutrients; and manure pH were measured. Feed intake was higher in the MO and MO+800 groups than in the MI and MI+800 groups, with no differences in feed intake between the MI+400 and MO+400 groups. However, the feed intake was higher in the MI+400 group than in the MI and MI+800 group. The diet did not influence the daily amount of manure produced. The dry matter percentage in the manure of the MO+800 group was higher than that in all the other groups; the organic and mineral matter contents, including those of nitrogen, phosphorus, calcium, magnesium, iron, and zinc, were highest in the manure of the chickens in the MO+800 group than in the manure of the chickens from the other groups. The diets did not increase the daily amount of manure produced by the hens; however, the chickens in the MO+800 group excrete larger amounts of macro- and micronutrients.

Keywords: carotenoids; chelate; excretion; organic minerals; nutrients.

1. Introdução

A nutrição de aves requer o fornecimento de níveis adequados de nutrientes na dieta, particularmente minerais. Esses nutrientes e minerais participam dos processos bioquímicos essenciais para o crescimento e desenvolvimento normal das aves ⁽¹⁾. As fontes de minerais nas dietas de galinhas poedeiras são geralmente inorgânicas; entretanto, dietas com fontes orgânicas de minerais também estão comercialmente disponíveis. A crescente preocupação global com o impacto ambiental do dejetos produzido pelos sistemas de criação animal tem estimulado a busca por fontes minerais de origem orgânica que otimizem o uso dos nutrientes e, conseqüentemente, reduzam a quantidade de minerais excretados ⁽²⁾.

A biodisponibilidade, estabilidade e solubilidade dos minerais orgânicos são maiores do que as das fontes minerais inorgânicas convencionalmente utilizadas na alimentação animal ⁽³⁾. Os minerais orgânicos consistem em íons metálicos ligados a aminoácidos, peptídeos ou complexos polissacarídicos que não competem por locais de absorção ⁽⁴⁾. A substituição total ou parcial de minerais inorgânicos por quelatos orgânicos nas dietas de galinhas poedeiras afeta positivamente o desempenho e a qualidade dos ovos, mesmo quando os quelatos orgânicos são adicionados em quantidades menores do que seus correspondentes minerais inorgânicos ⁽³⁾. Os minerais orgânicos são facilmente absorvidos e podem produzir efeitos antioxidantes nos tecidos da galinha e do ovo, aumentando a estabilidade oxidativa durante o armazenamento dos ovos.

Os minerais orgânicos e os compostos fenólicos presentes em extratos vegetais e óleos essenciais atuam de forma sinérgica, sendo mais eficientes quando utilizados em conjunto do que quando empregados isoladamente ^(5,6). O licopeno é um carotenoide vermelho capaz de neutralizar peróxidos e radicais de oxigênio por meio de suas duas ligações duplas não conjugadas ⁽⁷⁾. Essa característica estrutural aumenta os efeitos antioxidantes, protege as membranas das lipoproteínas contra danos oxidativos e contribui para o sistema imunológico e a saúde geral das aves ⁽⁷⁾. Nesse contexto, os antioxidantes contribuem para o funcionamento adequado do sistema digestivo ao fortalecer a resposta antioxidante ao estresse oxidativo nos enterócitos, preservando a morfometria e a saúde intestinal ⁽⁸⁾. A digestibilidade dos alimentos pode ser aumentada ao garantir a integridade intestinal nas aves, o que reduz a quantidade de resíduos produzidos e nutrientes excretados, ajudando a minimizar a contaminação ambiental e diminuindo o volume de resíduos que necessitam de tratamento ⁽²⁾.

Os estudos sobre os efeitos da nutrição de galinhas poedeiras com antioxidantes ou minerais orgânicos têm se concentrado principalmente na produtividade e na qualidade dos ovos; entretanto, faltam pesquisas sobre a quantidade de excretas produzidas, as características físico-químicas dessas excretas ou as relações entre quantidade e características das excretas com a

composição da dieta⁽²⁾. A hipótese deste estudo foi que: (1) a inclusão de licopeno na dieta reduziria a produção diária de esterco, potencialmente devido ao aumento da eficiência digestiva ou à ação antioxidante; (2) galinhas alimentadas com dietas suplementadas com minerais orgânicos excretariam menos minerais; e (3) a combinação de licopeno e minerais orgânicos na ração das galinhas aumentaria o aproveitamento dos nutrientes. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da alimentação com dietas contendo licopeno associado a minerais orgânicos ou inorgânicos sobre a produção e a caracterização do esterco em galinhas poedeiras comerciais.

2. Material e métodos

Este estudo foi aprovado e conduzido de acordo com as diretrizes do Comitê de Ética no Uso de Animais da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (CEUA/UEMS), sob número de protocolo 018/2013.

Um total de 192 galinhas poedeiras Dekalb Brown (semipesadas), com 58 semanas de idade foram utilizadas. As aves receberam uma dieta experimental por 112 dias (quatro ciclos de 28 dias cada). As dietas foram suplementadas com 0, 400 ou 800 mg de licopeno por kg de dieta, e duas fontes de minerais foram utilizadas: orgânica e inorgânica. Foi aplicado um delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2×3 (fonte de mineral $\times$ nível de licopeno), com quatro repetições de oito aves por tratamento. Os tratamentos estão listados na Tabela 1.

Tabela 1. Dietas experimentais com diferentes fontes de minerais e proporções de licopeno.

Fonte mineral	Licopeno (mg kg ⁻¹ dieta)	Abreviações
Inorgânica	0	MI
Inorgânica	400	MI+400
Inorgânica	800	MI+800
Orgânica	0	MO
Orgânica	400	MO+400
Orgânica	800	MO+800

Os minerais adicionados à dieta na forma orgânica foram cobre, ferro, manganês, zinco (quelatos de metal–aminoácido) e selênio (levedura de selênio). Os níveis de suplementação diferiram entre as fontes minerais inorgânicas e orgânicas. Todas as dietas (Tabela 2) foram formuladas para atender às exigências nutricionais das galinhas de acordo com o Dekalb Brown Management Guide⁽⁹⁾ e Rostagno et al.⁽¹⁰⁾. Os níveis de licopeno foram determinados com base no estudo conduzido por Olson et al⁽¹¹⁾.

As galinhas foram alojadas em pares em gaiolas de arame galvanizado com quatro compartimentos, cada um medindo 25 $\times$ 40 $\times$ 45 cm, em um galpão de postura convencional coberto com telhas de fibrocimento. As aves foram mantidas em um ciclo de 17 horas de luz (natural + artificial) e 7 horas de escuro. As temperaturas máxima e mínima e a umidade relativa do ar média dentro do galpão de postura durante o período experimental foram de 33,4°C, 21,8°C e 63,45%, respectivamente.

O total de dejetos foi coletado nos dois últimos dias de cada ciclo, totalizando oito coletas, sendo os diferentes dias considerados como blocos na ANOVA. Sacos plásticos previamente pesados foram colocados sob as gaiolas e removidos após 24 h. A produção diária de dejetos foi calculada dividindo-se a produção total (g) pelo número de aves em cada gaiola. Os dados foram obtidos a partir de seis tratamentos, quatro repetições e oito dias de coleta, totalizando 192 pontos de dados.

Três alíquotas (± 500 g) do dejetos obtido foram coletadas para análise. Foram analisados os sólidos totais, o pH e o teor de nitrogênio amoniacal das amostras frescas. Outra alíquota foi pré-secada em estufa de ar forçado a 65°C por 72 h, moída em moinho de facas com peneira de 1mm e utilizada para quantificação da matéria seca, matéria mineral, nitrogênio Kjeldahl, macronutrientes (potássio, cálcio e magnésio) e micronutrientes (ferro, manganês, cobre e zinco), conforme descrito em ⁽¹²⁾. O método de digestão nitroperclórica foi utilizado para extração de macronutrientes e micronutrientes.

Tabela 2. Ingredientes e composição calculada das dietas experimentais.

Ingredientes (% dieta)	MI	MI+400	MI+800	MO	MO+400	MO+800
Milho	61,49	61,49	61,49	61,49	61,49	61,49
Farelo de soja (45% proteína)	25,27	25,27	25,27	25,27	25,27	25,27
Óleo de soja	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Calcário calcítico	8,27	8,27	8,27	8,27	8,27	8,27
Fosfato bicálcico	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08
L-Lisina-HCl	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
DL-Metionina	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
Cloreto de sódio	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Suplemento vitamínico-mineral*	0,10	0,10	0,10	0,30	0,30	0,30
Inerte	0,90	0,60	0,20	0,70	0,40	0,00
Licopeno†	0,00	0,30	0,70	0,00	0,30	0,70
BHT	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição calculada						
Energia metabolizável (kcal kg ⁻¹)	2.800	2.800	2.800	2.800	2.800	2.800
Proteína bruta (%)	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
Metionina + cistina digestível (%)	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Lisina digestível (%)	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Cálcio (%)	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10
Fósforo disponível (%)	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
Ácido linoleico (%)	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79

*Composição por kg de dieta: retinol (vitamina A), 7.000 UI; colecalciferol (vitamina D3), 1.600 UI; acetato de α -tocoferol (vitamina E), 8 UI; menadiona (vitamina K3), 1,0 mg; ácido nicotínico, 20 mg; ácido pantotênico, 7 mg; piridoxina (vitamina B6), 1,0 mg; cianocobalamina (vitamina B12), 0,010 mg; biotina (vitamina H), 0,02 mg; cobre (proteinato de cobre ou sulfato de cobre), 10 mg; ferro (glicinato de ferro ou sulfato ferroso), 50 mg; iodato de cálcio, 0,83 mg; manganês (quelato de manganês ou sulfato de manganês), 65 mg; selênio (levedura de selênio ou selenito de sódio), 0,30 mg; zinco (glicinato de zinco ou sulfato de zinco), 60 mg. † Produtos comerciais à base de licopeno puro e pó de tomate. MI: dieta com minerais inorgânicos (25% cobre, 28% ferro, 31% manganês, 45% selênio e 35% zinco). MI+400: dieta com minerais inorgânicos e 400 mg kg⁻¹ de licopeno. MI+800: dieta com minerais inorgânicos e 800 mg kg⁻¹ de licopeno. MO: dieta com minerais orgânicos (10% cobre, 6% ferro, 8% manganês, 0,2% selênio e 10% zinco). MO+400: dieta com minerais orgânicos e 400 mg kg⁻¹ de licopeno. MO+800: dieta com minerais orgânicos e 800 mg kg⁻¹ de licopeno.

Os dados foram testados quanto à normalidade, e apenas aqueles com distribuição normal foram submetidos à ANOVA para verificar os efeitos dos fatores estudados (isolados ou em interação). As variáveis foram analisadas de forma independente quando não foram encontradas interações. O teste de Tukey ($p < 0,05$) foi realizado para comparação das médias utilizando o software R. As variáveis estudadas foram submetidas à ANOVA utilizando o seguinte modelo estatístico:

$$\hat{Y}_{ijk} = \mu + b_i + N_j + T_k + (N^*T)_{jk} + e_{ijk}$$

Onde: $\hat{Y}_{ijk}$ é o valor observado da variável dependente; μ é a média geral; b_i é o efeito de bloco (dias de coleta dos dejetos); N_j é o efeito fixo do nível de licopeno ($j = 0, 400$ ou 800 mg kg^{-1}); T_k é o efeito fixo da fonte mineral (onde k é orgânica ou inorgânica); $(N*T)_{jk}$ é o efeito da interação entre nível de licopeno e fonte mineral; e_{ijk} é o erro aleatório associado a cada observação.

3. Resultados e discussão

A adição de licopeno com minerais orgânicos à dieta não influenciou ($p > 0,05$) o consumo de ração nas doses testadas (Tabela 3). Entretanto, o consumo da dieta MI+400 foi maior ($p < 0,05$) do que o da dieta MI, enquanto o consumo não diferiu entre as dietas MI+400 e MO+400. Esse resultado é corroborado por achados de outros estudos sobre suplementação dietética com MO^(1,13), que também relataram ausência de diferenças substanciais no consumo de ração entre suplementação com MO e MI. O consumo de ração de codornas japonesas foi maior quando o licopeno foi adicionado à dieta com minerais inorgânicos a 200 mg kg^{-1} de ração em comparação ao grupo controle. A suplementação com licopeno mitigou de forma eficaz os efeitos adversos do estresse térmico ao restaurar o status antioxidante das codornas⁽¹⁴⁾.

As concentrações séricas de vitaminas e minerais antioxidantes em codornas diminuem sob estresse térmico⁽¹⁴⁾. Portanto, a ação antioxidante do licopeno foi mais intensa quando fornecido em dietas contendo minerais inorgânicos, já que os minerais inorgânicos são menos biodisponíveis que minerais orgânicos. Pozzo et al.⁽¹⁵⁾ relataram que o consumo de ração por frangos foi menor quando alimentados com 500 mg de licopeno kg^{-1} de ração em comparação com os controles, resultado semelhante ao encontrado neste estudo para doses superiores a 400 mg de licopeno kg^{-1} de ração.

A suplementação da dieta com licopeno e minerais orgânicos não influenciou ($p > 0,05$) a produção diária de dejetos frescos (Tabela 3). A quantidade de dejetos produzida pelas galinhas foi semelhante à relatada anteriormente⁽²⁾, em que óleo de alecrim foi utilizado como antioxidante com fontes minerais orgânicas e inorgânicas, resultando em produção diária de 112 g por ave. As dietas testadas não afetaram a quantidade de dejetos produzidos, o que é relevante, pois o aumento da produção de dejetos é indesejável. Maiores quantidades de excretas exigem maior esforço para o manejo, incluindo coleta, transporte e descarte, o que, por sua vez, eleva os custos de tratamento dos resíduos.

Efeitos significativos de interação foram observados entre a fonte mineral e o nível de licopeno. O esterco das galinhas alimentadas com MO+800 apresentou maiores teores ($p < 0,05$) de matéria seca, orgânica ou mineral no dejetos das aves alimentadas com minerais inorgânicos (Tabela 3). O dejetos de galinhas alimentadas com MO+800 também apresentou maiores teores ($p < 0,05$) de matéria seca e orgânica do que dejetos de galinhas alimentadas com MO e MO+400. O teor de matéria mineral no esterco das galinhas alimentadas com MO+800 foi maior do que aquele no esterco das galinhas alimentadas com IM+800.

Os teores de matéria seca e de matéria orgânica foram semelhantes aos valores médios previamente relatados, 22% e 16%, respectivamente. No entanto, os teores de matéria seca e de matéria orgânica não diferiram com a dose de antioxidante ou a fonte mineral no estudo anterior⁽²⁾. O teor de matéria seca nas excretas varia de acordo com a dieta, a quantidade de água consumida, as condições ambientais e o momento da coleta dos dejetos⁽¹⁶⁾. Entretanto, o teor de matéria seca foi maior nas excretas das poedeiras alimentadas com maior dose de licopeno e minerais orgânicos do que nos outros tratamentos, o que afetou frações além dos minerais excretados.

Tabela 3. Consumo de ração e produção de dejetos (g ave⁻¹ dia⁻¹), frações do dejetos (base de matéria seca, %) de galinhas poedeiras alimentadas com dietas suplementadas com minerais inorgânicos ou orgânicos e diferentes doses de licopeno.

Variável	FM	LIC (mg kg ⁻¹)			Média	CV (%)	ANOVA (p-valor)		
		0	400	800			FM	LIC	FM × LIC
Consumo de ração (g)	Inorgânico	94,88 ^{bB}	102,69 ^A	92,23 ^{bB}	96,60	5,81	0,003	0,020	0,015
	Orgânico	100,56 ^a	101,56	102,22 ^a	101,45				
	Média	97,72	102,13	97,23					
Dejeto fresco (g)	Inorgânico	106,04	105,67	106,41	106,04	11,94	>0,05	>0,05	>0,05
	Orgânico	94,84	110,67	113,80	106,44				
	Média	100,44	108,17	110,10					
Matéria seca (%)	Inorgânico	18,63	19,51	18,19 ^b	18,78	10,93	0,015	>0,05	0,003
	Orgânico	19,21 ^B	17,82 ^B	21,98 ^{aA}	19,67				
	Média	18,92	18,67	20,09					
Matéria orgânica (%)	Inorgânico	13,87	14,85	13,82 ^b	14,18	11,23	>0,05	>0,05	0,005
	Orgânico	14,52 ^B	13,65 ^B	16,73 ^{aA}	14,97				
	Média	14,19	14,25	15,28					
Matéria mineral (%)	Inorgânico	4,76	4,66	4,37 ^b	4,60	11,49	>0,05	>0,05	0,003
	Orgânico	4,69 ^{AB}	4,17 ^B	5,25 ^{aA}	4,70				
	Média	4,72	4,42	4,81					

^{a-b}Médias nas colunas seguidas de diferentes letras minúsculas e ^{A-B}médias nas linhas seguidas de diferentes letras maiúsculas diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05). LIC, licopeno; CV, coeficiente de variação; ANOVA, análise de variância; FM, fonte mineral.

O teor de minerais nas fezes das galinhas alimentadas com OM+800 foi maior do que o das galinhas alimentadas com IM+800; o mesmo não foi observado com a dieta controle, que promoveu maior consumo de ração. Lesões hepáticas foram relatadas em frangos com uma dose de 500 mg de licopeno por quilograma de ração ⁽¹⁵⁾, sugerindo prejuízo na absorção de proteínas e degradação do sistema imunológico devido a lesões no baço e na bolsa cloacal; no entanto, os níveis de excreção de minerais não foram avaliados. Antioxidantes carotenoides podem atuar como pró-oxidantes em altas concentrações ⁽¹⁵⁾. Assim, uma dose elevada de licopeno, de 800 mg kg⁻¹ de ração, pode ter atuado como pró-oxidante e, em conjunto com a presença de minerais traço de maior biodisponibilidade, aumentado a excreção de sólidos e minerais. A suplementação da ração com minerais orgânicos normalmente leva à redução da excreção de minerais, porque mais desses minerais são absorvidos pelo animal, já que minerais orgânicos e aminoácidos compartilham as mesmas vias de absorção, o que reduz a competição por sítios de absorção com minerais inorgânicos ⁽³⁾. No entanto, a excreção depende da quantidade de OM na dieta quando utilizada; doses elevadas de OM podem levar ao aumento da excreção de minerais ⁽¹⁷⁾.

Um elevado teor de matéria mineral no dejetos indica altas concentrações de macro e micronutrientes, o que pode comprometer a qualidade do solo, do ar e da água se for descartado sem tratamento. Esse dejetos pode ser reutilizado como fertilizante orgânico após a compostagem, que é um método de baixo custo para o tratamento de resíduos sólidos e que transforma esses minerais em compostos disponíveis para a absorção pelas plantas ⁽¹⁸⁾. A digestão anaeróbia é outro método de tratamento do esterco, que produz biofertilizantes e energia por meio da geração de biogás ⁽¹⁹⁾.

A interação entre a fonte mineral e o nível de licopeno exerceu efeitos significativos ($p < 0,05$) sobre o pH dos dejetos (Tabela 4). O pH foi menor em dejetos de poedeiras alimentadas com dietas contendo minerais orgânicos sem suplementação de licopeno. O pH mais baixo foi observado no esterco de poedeiras suplementadas com 400 mg de licopeno, independentemente da fonte mineral (MO+400 e MI+400). O pH do dejetos está diretamente associado à composição da dieta e à eficiência de utilização dos nutrientes, refletindo o teor de nutrientes presentes no esterco. O pH também pode ser influenciado pelas condições de armazenamento e pelo intervalo entre a coleta e a análise.

A dieta não teve efeito ($p > 0,05$) sobre o teor de nitrogênio amoniacal no dejetos (Tabela 4). Um alto teor de nitrogênio amoniacal pode resultar em dejetos alcalino, embora isso não tenha sido observado no presente estudo (pH 5,52–5,91). Essa ausência de efeito sobre o teor de nitrogênio amoniacal no dejetos pode ser atribuída ao curto período de armazenamento, que não permitiu a proliferação de microrganismos responsáveis pela degradação de compostos nitrogenados em íons amônio ou amônia livre, dependendo do pH do meio. A correção do pH pode ser necessária se a digestão anaeróbia for utilizada para o tratamento desse esterco, uma vez que as bactérias metanogênicas são sensíveis, apresentando faixa ótima de pH entre 6,7 e 7,5 ⁽²⁰⁾. O dejetos ou excreta de aves difere de outros animais de produção porque o nitrogênio amoniacal deriva da degradação do ácido úrico, e não da ureia. A taxa de hidrólise do ácido úrico depende das condições de armazenamento do esterco; assim, a concentração de nitrogênio amoniacal no dejetos de aves difere substancialmente daquela observada em outras espécies animais ⁽²¹⁾.

Tabela 4. Nitrogênio amoniacal, pH e níveis de macronutrientes no dejetos de poedeiras alimentadas com dietas suplementadas com minerais inorgânicos ou orgânicos e diferentes níveis de licopeno.

Variável	FM	LIC (mg kg ⁻¹)			Média	CV (%)	ANOVA (<i>p</i> -valor)		
		0	400	800			FM	LIC	FM × LIC
pH	Inorgânico	5,91 ^{aA}	5,52 ^B	5,87 ^A	5,77	2,93	>0,05	<0,001	0,010
	Orgânico	5,65 ^{bAB}	5,61 ^B	5,82 ^A	5,69				
	Média	5,78	5,56	5,85					
Nitrogênio amoniacal (mg L ⁻¹ dejetos)	Inorgânica	394	373	373	380	16,16	>0,05	>0,05	>0,05
	Orgânico	383	361	344	363				
	Média	389	367	359					
Carbono total (g ave ⁻¹ dia ⁻¹)	Inorgânico	8,53	9,11	8,46	8,70	30,40	>0,05	>0,05	>0,05
	Orgânico	7,91	8,61	10,90	9,14				
	Média	8,22	8,86	9,68					
Nitrogênio total (g ave ⁻¹ dia ⁻¹)	Inorgânico	1,31	1,35	1,28 ^b	1,32	19,92	>0,05	>0,05	0,05
	Orgânico	1,16 ^B	1,35 ^B	1,77 ^{aA}	1,43				
	Média	1,23	1,35	1,53					
Fósforo total (g ave ⁻¹ dia ⁻¹)	Inorgânico	0,69	0,70	0,68 ^b	0,69	20,64	>0,05	>0,05	0,048
	Orgânico	0,62 ^B	0,65 ^B	0,84 ^{aA}	0,70				
	Média	0,65	0,68	0,76					
Potássio (g ave ⁻¹ dia ⁻¹)	Inorgânico	0,27	0,28	0,27	0,27	23,86	>0,05	>0,05	>0,05
	Orgânico	0,24	0,25	0,33	0,27				
	Média	0,25	0,26	0,30					
Cálcio (g ave ⁻¹ dia ⁻¹)	Inorgânico	1,63	1,58	1,60 ^b	1,60	20,91	>0,05	0,031	0,025
	Orgânico	1,44 ^B	1,43 ^B	2,02 ^{aA}	1,63				
	Média	1,54	1,51	1,81					
Magnésio (g ave ⁻¹ dia ⁻¹)	Inorgânico	0,10	0,10	0,09 ^b	0,10	18,05	>0,05	>0,05	0,004
	Orgânico	0,10 ^B	0,10 ^B	0,13 ^{aA}	0,11				
	Média	0,10	0,10	0,11					

^{a-b}Médias nas colunas seguidas de diferentes letras minúsculas e ^{A-B}médias nas linhas seguidas de diferentes letras maiúsculas diferem entre si pelo teste Tukey (*p*<0,05). LIC, licopeno; CV, coeficiente de variação; ANOVA, análise de variância; FM, fonte mineral.

Os teores de carbono orgânico e de potássio no dejetos não foram influenciados ($p>0,05$) pela dieta experimental, apresentando valores médios de excreção de 8,92 e 0,27 g ave⁻¹ dia⁻¹, respectivamente. No entanto, o esterco diferiu quanto aos teores de nitrogênio total, fósforo, cálcio e magnésio, apesar de as dietas apresentarem os mesmos níveis de nutrientes, o que provavelmente decorreu da interação entre a fonte mineral e o nível de licopeno. As poedeiras alimentadas com a dieta MO+800 apresentaram maiores níveis de macronutrientes no esterco em comparação com os demais grupos.

Os teores de nitrogênio total e de fósforo no dejetos das poedeiras alimentadas com a dieta MO+800 foram, respectivamente, 27% e 20% maiores do que os das poedeiras que receberam as demais dietas suplementadas com minerais orgânicos. De modo geral, os níveis de macro e micronutrientes no grupo MO+800 foram significativamente diferentes daqueles observados nas outras dietas, provavelmente devido ao aumento da matéria seca e das concentrações de minerais no dejetos.

Os níveis de manganês e cobre no dejetos não foram influenciados pela fonte mineral ou pelo nível de licopeno, apresentando valores médios de excreção de 6,01 e 1,07 mg ave⁻¹ dia⁻¹, respectivamente (Tabela 5). Os níveis de ferro e zinco no dejetos das poedeiras alimentadas com dietas contendo minerais inorgânicos foram semelhantes, independentemente do nível de suplementação de licopeno. Os níveis de ferro e zinco no esterco das poedeiras do grupo MO+800 foram superiores aos observados nos grupos MO e MO+400 (Tabela 5).

Os coeficientes de variação foram elevados para alguns macro e micronutrientes, como carbono orgânico e cobre, cujos teores não diferiram significativamente entre os tratamentos ($p>0,05$). As propriedades físico-químicas dos resíduos de aves — incluindo fezes, urina, ração, penas e ovos quebrados — geralmente apresentam grande variabilidade devido às diferenças nos níveis de macro e micronutrientes. Em contraste com os nossos resultados, estudos anteriores relataram que os teores de cobre e manganês foram menores no esterco de poedeiras alimentadas com dietas contendo minerais orgânicos do que naquelas alimentadas com minerais inorgânicos, indicando maior biodisponibilidade mineral^(22, 23).

Tabela 5. Teor de micronutrientes no esterco de poedeiras alimentadas com dietas suplementadas com minerais inorgânicos ou orgânicos e diferentes níveis de licopeno.

Micronutrientes	Fonte mineral	LIC (mg kg ⁻¹)			Média	CV (%)	ANOVA (<i>p</i> -valor)		
		0	400	800			FM	LIC	FM × LIC
Ferro (mg ave ⁻¹ dia ⁻¹)	Inorgânico	34,79	33,35	33,44 ^b	33,86	18,84	>0,05	>0,05	0,028
	Orgânico	32,22 ^B	31,88 ^B	42,65 ^{aA}	35,58				
	Média	33,51	32,62	38,05					
Manganês (mg ave ⁻¹ dia ⁻¹)	Inorgânico	5,53	6,17	5,50	5,74	22,80	>0,05	>0,05	>0,05
	Orgânico	5,54	5,86	7,48	6,29				
	Média	5,54	6,01	6,49					
Cobre (mg ave ⁻¹ dia ⁻¹)	Inorgânico	0,99	0,90	0,88	0,92	38,65	0,015	>0,05	>0,05
	Orgânico	1,10	1,26	1,32	1,23				
	Média	1,04	1,08	1,10					
Zinco (mg ave ⁻¹ ave ⁻¹)	Inorgânico	8,68	8,82	7,97 ^b	8,49	17,95	>0,05	>0,05	0,001
	Orgânico	7,89 ^B	8,88 ^B	11,44 ^{aA}	9,40				
	Média	8,28	8,85	9,70					

^{a-b}Médias nas colunas seguidas de diferentes letras minúsculas e ^{A-B}médias nas linhas seguidas de diferentes letras maiúsculas diferem entre si pelo teste Tukey (*p*<0,05). LIC, licopeno; CV, coeficiente de variação; ANOVA, análise de variância; FM, fonte mineral.

A elevada biodisponibilidade dos microminerais orgânicos favorece a atividade enzimática e aumenta a retenção mineral nas aves, reduzindo, assim, a excreção de minerais, mesmo quando utilizados em concentrações menores do que os microminerais inorgânicos na ração ⁽²⁴⁾. Esses efeitos podem ser explicados pelo fato de que os minerais orgânicos são absorvidos não apenas pelos mecanismos normais de absorção iônica no intestino, mas também pelas mesmas vias das moléculas orgânicas às quais estão complexados, minimizando a competição entre minerais por transportadores e aumentando sua disponibilidade ⁽²⁵⁾.

Neste estudo, até 100% dos minerais inorgânicos foram substituídos por minerais orgânicos. As aves podem não absorver totalmente altas quantidades de minerais disponíveis, resultando no uso parcial dos minerais orgânicos. Isso pode explicar os resultados observados neste estudo. A substituição total do Zn inorgânico por uma fonte orgânica resultou em níveis de excreção de Zn similares; a excreção diminuiu apenas quando as aves foram suplementadas com menores concentrações de Zn orgânico (70%, 80% e 90%) ⁽²²⁾. Alguns minerais orgânicos, como cobre, ferro, zinco, selênio e manganês, atuam como cofatores de enzimas antioxidantes. Esses minerais atuam de forma sinérgica com o licopeno para aumentar as atividades antioxidantes nas aves, possivelmente porque o aumento das funções antioxidantes leva a um maior consumo de ração, o que, por sua vez, aumenta a excreção de minerais.

Não foi possível determinar se as diferenças nos teores de macro e micronutrientes entre os grupos foram decorrentes do uso de fontes minerais orgânicas ou inorgânicas, dos diferentes níveis de suplementação de licopeno ou de suas interações, porque as amostras de resíduos continham materiais além de fezes e urina. O objetivo deste estudo foi avaliar a quantidade e as características das excretas de poedeiras alimentadas com diferentes dietas. Os resultados indicaram diferenças entre os grupos. Essas diferenças tornam-se ainda maiores quando os dados são extrapolados para instalações comerciais que abrigam milhares de aves. Esses resultados podem orientar a tomada de decisão sobre o reuso e o tratamento dos resíduos de esterco.

4. Conclusão

A fonte mineral e a dose de licopeno na ração das aves não aumentaram a quantidade de dejetos produzida. No entanto, os teores de matéria seca no esterco foram maiores quando as aves foram alimentadas com uma dieta suplementada com 800 mg de licopeno e minerais orgânicos do que nos demais grupos, o que aumentou a excreção de minerais como nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio, ferro e zinco. O nível de suplementação de licopeno na ração de poedeiras ainda requer otimização, com foco na absorção e excreção de minerais para evitar desperdícios e garantir benefícios à produção animal.

Declaração de conflito de interesses

Os autores declaram que não possuem interesses financeiros concorrentes ou relações pessoais que possam ter influenciado o trabalho relatado neste estudo.

Declaração de disponibilidade de dados

As contribuições originais apresentadas no estudo estão incluídas no artigo. Solicitações adicionais podem ser direcionadas ao autor correspondente.

Contribuições do autor

Conceitualização: Garcia, E. R. M., Santos, T. M. B.; Curadoria dos dados: Xavier, C. A. N., Cruz, F. K.; Análise formal: Xavier, C. A. N., Garcia, E. R. M.; Metodologia: Xavier, C. A. N.; Administração do projeto: Garcia, E. R. M.; Supervisão: Xavier, C. A. N., Cruz, F. K.; Redação – rascunho original: Xavier, C. A. N., Leite, B. K. V.; Redação – revisão e edição: Leite, B. K. V.

Declaração de uso de IA generativa

Os autores não utilizaram ferramentas ou tecnologias de Inteligência Artificial generativa para a na criação ou edição de qualquer parte deste manuscrito.

Agradecimentos

O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro para este estudo (processo nº 480100/2011-0).

Referências

1. Stefanello C, Santos TC, Murakami AE, Martins EN, Carneiro TC. Productive performance, eggshell quality, and eggshell ultrastructure of laying hens fed diets supplemented with organic trace minerals. *Poultry Science*. 2014; 93:104–113. <http://dx.doi.org/10.3382/ps.2013-03190>
2. Carvalho KCN, Xavier CAN, Silva AA, Garcia ERM, Sanches DS, Kiefer C, Santos TMB. Qualitative and quantitative characterization of waste layers fed diets containing mineral sources and rosemary oil levels. *Brazilian Animal Science*. 2024; v.25, 77674E. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-6891v25e-77674E>
3. Qiu JL, Zhou Q, Zhu JM, Lu XT, Liu B, Yu DY, Lin G, Ao T, Xu JM. Organic trace minerals improve eggshell quality by improving the eggshell ultrastructure of laying hens during the late laying period. *Poultry Science*. 2020; 99:1483–1490. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.11.006>
4. Kratzer FH, Vohra P. 1986-Chelates innutrition. 1sted. Florida: CRC Press. 178p. <https://doi.org/10.1201/9781351070508>
5. Stef DS, Gergen I. Effect of mineral-enriched diet and medicinal herbs on Fe, Mn, Zn, and Cu uptake in chicken. *Chemistry Central Journal*. 2012; v.6(19). <http://journal.chemistrycentral.com/content/6/1/19>
6. Garcia ERM, Chaves NRB, Oliveira CAL, Kiefer C, Melo EP. Performance and egg quality of laying hens fed with mineral sources and rosemary oil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 2019; v.91, e20180516. doi: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820180516>
7. Yunitasari F, Jayanegara A, Ulupi N. Performance, Egg Quality, and Immunity of Laying Hens due to Natural Carotenoid Supplementation: A Meta-Analysis. *Food Sci. Anim. Resour*. 2023; 43(2):282-304. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2022.e76>
8. Toniazzo G, Ranna LF, Andrade TS, Pereira MFC, Henz EM, Gris B, Carvalho PLO, Rohloff Júnior N, Eyng C, Nunes RN. Mistura de óleos essenciais na dieta de frangos de corte sobre o desempenho, saúde intestinal e atividade de enzimas antioxidantes. *Semina: Ciências Agrárias*. 2025; v. 46, n. 4, p. 1005-1024. doi: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2025v46n4p1005>
9. Granja Planalto. Manual de manejo das poedeiras Dekalb Brown. 2009. Uberlândia: Côrtes.
10. Rostagno HS, Albino LFT, Donzele JL, Gomes PC, Oliveira RF, Lopes DC, Ferreira AS, Barreto SLT, Euclides RF. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 3ª ed. 2011. Viçosa, MG: UFV, DZO. 252 p.
11. Olson JB, Ward NE, Koutsos EA. Lycopene incorporation into egg yolk and effects on laying hen immune function. *Poultry Science*. 2008; 87:2573–2580. doi: <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00072>
12. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 2017. (23rd ed.). Washington DC: American Public Health Association.
13. Bakhshalinejad R, Torrey S, Kiarie EG. Comparative efficacy of hydroxychloride and organic sources of zinc, copper, and manganese on egg production and concentration of trace minerals in eggs, plasma, and excreta in female broiler breeders from 42 to 63 weeks of age. *Poultry Science*. 2024; 103:103522. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103522>
14. Sahin K, Onderci M, Sahin N, Gursu MF, Khachikd F, Kucuke O. Effects of lycopene supplementation on antioxidant status, oxidative stress, performance and carcass characteristics in heat-stressed Japanese quail. *Journal of Thermal Biology*. 2006; 31, 307–312. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2005.12.006>
15. Pozzo L, Tarantola M, Biasibetti E, Capucchio MT, Pagella M, Mellia E, Bergagna S, Gennero MS, Strazzullo G, Schiavone A. Adverse effects in broiler chickens fed a high lycopene concentration supplemented diet. *Canadian journal of animal science*. 2013; 93: 23124. doi: <https://doi.org/10.4141/CJAS2012-081>
16. Farias RM, Orrico Junior MAP, Orrico ACA, Garcia RG, Centurion SR, Fernandes ARM. 2012; Biodigestão anaeróbia de dejetos de poedeiras coletados após diferentes períodos de acúmulo. *Ciência Rural*, v.42, n.6, p.1089-1094.
17. Yenice E, Mizrak C, Gültekin M, Atik Z, Tunca M. Effects of Organic and Inorganic Forms of Manganese, Zinc, Copper, and Chromium on Bioavailability of These Minerals and Calcium in Late-Phase Laying Hens. *Biol Trace Elem Res*. 2015; 167(2):300-7. doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-015-0313-8>

18. Orrico Junior MAP, Orrico ACA, Fava AF, Sunada NS, Schwingel AW, Garcia RG, Aspilcueta Borquis RR. 2018; Crude glycerin in co-composting with laying hen manure reduces N losses. *Sci. Agric.*, v.75, n.5, p.361-367. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2016-0478>
19. Schwingel AW, Orrico ACA, Lucas Junior J, Orrico Junior MAP, Aspilcueta Borquis RR, Fava AF. 2019; Laying hen manure in anaerobic Co-Digestion with glycerin containing different glycerol and impurity levels. *Journal of Cleaner Production*, 215, 1437e1444. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.125>
20. Kunz A, Steinmetz RLR, Amaral AC. 2019; Fundamentos da digestão anaerobia, purificação do biogas, uso e tratamento do digestato. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves. 209p.
21. Feilberg A, Sommer S.G. 2013; Ammonia and malodorous gases: sources and abatement technologies. *Animal Manure Recycling*. Wiley: West Sussex, p.153-175. <https://doi.org/10.1002/9781118676677.ch9>
22. Carvalho LSS, Rosa DRV, Litz FH, Fagundes NS, Fernandes EA. 2015; Effect of the inclusion of organic copper, manganese, and zinc in the diet of layers on mineral excretion, egg production, and eggshell quality. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, p.87-92. doi: <https://doi.org/10.1590/1516-635xSpecialIssue>
23. Engin Y, Mizrak C, Gültekin M, Atik Z, Tunca M. 2015; Effects of organic and inorganic forms of manganese, zinc, copper, and chromium on bioavailability of these minerals and calcium in late-phase laying hens. *Biological Trace Element Research*, v.167, p.300-307. doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-015-0313-8>
24. Sun Q, Guo Y, Li J, Zhang T, Wen J. 2012; Effects of methionine hydroxy analog chelated cu/mn/zr on laying performance, egg quality, enzyme activity and mineral retention of laying hens. *The Journal of Poultry Science*, v.49, p.20-25. doi: <https://doi.org/10.2141/jpsa.011055>