



C A P Í T U L O 6

ÓLEOS ESSENCIAIS NA ALIMENTAÇÃO DE AVES

Paloma Eduarda Lopes de Souza

Adiel Vieira de Lima

Carlos Henrique do Nascimento

Aline Beatriz Rodrigues

José de Arimatéia de Freitas Pinto

Humberto de Araújo Brito Filho

Danilo Vargas Gonçalves Vieira

Germano Augusto Jerônimo do Nascimento

Edilson Paes Saraiva

Danilo Teixeira Cavalcante

Isabelle Naemi Kaneko

Fernando Guilherme Perazzo Costa

Nos últimos anos, as pesquisas têm se intensificado visando encontrar alternativas inovadoras para os antibióticos, que estão associados à resistência antimicrobiana. Nesse sentido, os compostos naturais emergiram como alternativas mais viáveis, nos quais destacam-se os ácidos orgânicos e os óleos essenciais (Islam *et al.*, 2022). Estes influenciam no desempenho zootécnico aumentando a digestibilidade e absorção dos nutrientes, na morfologia intestinal promovendo aumento das vilosidades e na modificação da microbiota por promover maior contagem de microrganismos benéficos, e a sua mistura pode ampliar os efeitos de ambos (Stamilla *et al.*, 2020).

Os óleos essenciais (OE) apresentam uma alta concentração de compostos fenólicos bioativos que desempenham funções antimicrobianas, antioxidantes e anti-inflamatórias no íleo através da regulação dos genes neste tecido (Moharreri *et al.*, 2021) the development of phytobiotics, an antibiotic-replacing agent, has attracted a considerable attention as poultry feed additive. The present study aims to develop the microcapsules loaded with a blend of essential oils (thyme, peppermint, savoury, and black pepper. É utilizado no mercado o carvacrol, timol, eugenol, cinamaldeído, óleo de palma e entre outros compostos fitogênicos. Orzuna-Orzuna; Lara-Bueno (2023), observaram no soro sanguíneo que a inclusão dietética de OE aumentou os níveis de superóxido dismutase e glutatona peroxidase, enzimas que controlam os radicais livres produzidos, e a capacidade antioxidante total. Kolani *et al.* (2019), identificaram que a adição de 2% de óleo de palma resultou em um efeito benéfico no desempenho da produção de ovos de galinhas poedeiras.

Os ácidos orgânicos são ácidos fracos e dissociam-se apenas parcialmente, podem atuar como antibacterianos, potencializadores imunológicos e promotores de crescimento (Khan *et al.*, 2022). A acidificação no intestino resulta na inibição das bactérias patogênicas que competem com o hospedeiro pelos nutrientes disponíveis, além de reduzir a produção de metabólitos bacterianos tóxicos (Kunz *et al.*, 2011). Os ácidos graxos de cadeia curta, os ácidos graxos de cadeia média e outros ácidos orgânicos possuem diferentes níveis de atividade antimicrobiana, dependendo tanto da concentração do ácido quanto da espécie bacteriana exposta a ele (Khan; Iqbal, 2016). Os ácidos orgânicos pertencem à diferentes classes (butírico, acético, cítrico, fórmico, láctico, propiônico e outros), e além da ação antimicrobiana, estimula a atividade enzimática (Funari Junior *et al.*, 2011).

Como característica dos ácidos e óleos essenciais, estes produtos são voláteis e que durante o processamento da ração podem evaporar ou atuar no estômago e no intestino delgado proximal (Michiels *et al.*, 2008). O microencapsulamento é uma técnica utilizada para melhorar a viabilidade dos ácidos orgânicos e óleos essenciais durante o processamento e para a entrega direcionada no trato gastrointestinal (Jadhaoo *et al.*, 2019). No qual pequenas partículas ou gotículas são envolvidas por uma parede de revestimento lipídica para formar pequenas cápsulas. Permitindo que essas substâncias permaneçam inativas no estômago, sendo ativadas apenas sob a ação dos sais biliares e da lipase no intestino, onde exercem seus efeitos benéficos. Abdelli *et al.* (2021), observaram que a microencapsulação protegeu o ácido fumárico e o timol, sendo absorvidos de forma lenta durante todo o trato gastrointestinal (TGI).

6.1. TRATO GASTROINTESTINAL DAS AVES

O sistema digestório tem a função de reduzir os nutrientes dos alimentos em compostos através da mastigação (fragmentação mecânica) ou digestão química (enzimas) que serão absorvidos e utilizados pelos tecidos. Modificações morfológicas podem afetar significativamente o desempenho do animal em razão da influência sobre o aproveitamento dos nutrientes. As aves apresentam o sistema digestório anatomicamente diferente dos outros não ruminantes, observa-se a presença de bico, papo, proventrículo, moela, ceco bifurcado, cloaca e intestinos mais curtos que os dos mamíferos para redução do peso corporal, adaptação importantes para aves que voam (Sakomura *et al.*, 2014; Reece, 2017).

Nas galinhas, o papo secreta muco (7-30 mL por dia) para lubrificar a ingestão e a digestão do amido ocorre por ação bacteriana neste ambiente. No proventrículo é liberado muco, HCl e pepsinogênio (convertido em pepsina no pH ácido). O pH do suco gástrico (0,5 a 2,5) é o ideal para a hidrólise de moléculas proteicas, o pH do conteúdo é em torno de 4,8. A moela reduz as partículas do alimento e mistura com líquidos digestivos. No intestino delgado ocorre a digestão química, por meio de enzimas pancreáticas (lipase, amilase e precursores das enzimas proteolíticas) e microbiota. O pâncreas secreta bicarbonato para neutralizar o suco gástrico ácido (pH ideal: 6-8) (Reece, 2017; Araújo e Zannetti, 2019).

O intestino delgado é onde ocorre a maior parte da digestão e absorção e é composto de três segmentos: duodeno, jejunum e íleo. O duodeno recebe as secreções pancreáticas e a bile do fígado para a digestão e absorção de gorduras e vitaminas. No lúmen do intestino delgado há exposição de uma grande área da superfície de absorção, que é recoberta com vilosidades e as células epiteliais individuais que reveste as vilosidades apresentam suas próprias microvilosidades na superfície luminal. As microvilosidades amplificam a área da superfície de absorção e compõe uma estrutura denominada bordo em escova (Rowe e Reece, 2020).

O intestino grosso está envolvido no processo de reabsorção de água, e ao realizar esse processo, ajuda na manutenção do equilíbrio de água no organismo e em todo o corpo da ave. No ceco, ocorre uma pequena quantidade de digestão de carboidratos e proteínas, além da fermentação microbiana da fibra dietética (Silva, 2020).

Du *et al.* (2020), descreveram e identificaram que a composição da microbiota intestinal geralmente é benéfica, como os *Lactobacillus* e as *Bifidobactérias*. Estes microrganismos têm o papel de maturar a barreira intestinal (vilosidades), estimular transportadores de nutrientes, estimular a secreção de muco para proteção do tecido ou degradar como fonte nutricional para si, degradar fibra em nutrientes de melhor digestibilidade e absorção e competir com os microrganismos patogênicos por nutrientes e sítios de adesão, como também secretar enzimas e substâncias bactericidas que eliminam os patógenos (Sakomura *et al.*, 2014).

Os filos *Firmicutes*, *Bacteroidetes* e *Proteobacteria* formam a grande maioria da microbiota intestinal em galinhas poedeiras e a sua sucessão dinâmica ocorre durante todos os períodos de postura. O seu número e composição variam em função da idade da ave e do segmento intestinal (Macari *et al.*, 2014; Dai *et al.*, 2022). Khan *et al.* (2020), afirmam que a microbiota intestinal normal de galinhas poedeiras é composta por *Proteobacteria*, *Firmicutes*, *Bacteroidetes*, *Fusobacteria* e *Actinobacteria* em nível de filo. E que a composição da microbiota intestinal muda com a idade, genótipo e sistema de produção da ave.

Dai *et al.* (2022), relatam que além dos efeitos diretos sobre a segurança dos ovos, sugere-se que a microbiota intestinal e seus metabólitos, como ácidos graxos de cadeia curta, ácidos biliares e derivados de triptofano, modulam indiretamente a qualidade dos ovos pelo eixo microbiota-intestino-fígado/cérebro-trato reprodutivo. Nitish *et al.* (2023), sugeriram que a alta abundância de *Firmicutes* na fase de recria e de postura inicial está relacionada com a maior necessidade de energia fisiológica para o crescimento e produção de ovos, enquanto durante a postura intermediária e tardia, a necessidade de energia da ave é comparativamente menor e, portanto, na busca de um melhor equilíbrio energético para manter a postura, a *Bacteroidetes* substitui parcialmente *Firmicutes*.

Os microrganismos benéficos atuam positivamente, ao contrário dos patogênicos que prejudicam a saúde da ave, afetando o desempenho produtivo. Madlala, Okpoku e Adeleke (2021) relataram a infecção parasitária causada por *Eimeria spp.* perturbou o equilíbrio no ambiente intestinal, levando ao aumento de patógenos como as espécies de *Clostridium*. A coccidiose afeta a composição e integridade da microbiota intestinal, tornando as galinhas mais suscetíveis a doenças que representam um sério risco para sua saúde geral e produtividade.

A exploração de alternativas naturais vem sendo fundamental na avicultura para o controle de patógenos através da modificação e restauração da microbiota intestinal benéfica, sem induzir resistência aos medicamentos.

6.2. SAÚDE INTESTINAL E INFLUÊNCIA DE ADITIVOS

Nos últimos anos, vários estudos foram realizados com intuito de identificar os microrganismos presentes ao longo do trato gastrintestinal das aves e quais as modificações que ocorrem sobre a influência de alguns fatores externos e internos. As modificações na microbiota podem ser influenciadas por inclusão de aditivos na dieta, diferentes práticas de manejo, processamento da matéria-prima, estresse e presença de patógenos (Macari; Maiorka, 2017).

No ceco ocorre a digestão de alguns substratos pela ação das bactérias, produzindo os ácidos graxos de cadeia curta que são utilizados pelo hospedeiro para manter a homeostase energética e os processos biológicos. A ave nas fases iniciais de vida, apresentam uma diversidade e densidade de microrganismos baixa e que aumenta à medida que se desenvolve. A colonização de microrganismos no trato gastrointestinal, sendo ela comensal, é essencial para a saúde e o bem-estar do hospedeiro (Sakomura *et al.*, 2014; Du *et al.*, 2020; Macari; Maiorka, 2017; Wilkinson *et al.*, 2020).

O uso de antibióticos como promotores de crescimento foi restrito pela legislação brasileira (MAPA) em função da resistência bacteriana que segue a Instrução Normativa nº 13 de 30/11/2004. Os aditivos classificam-se em tecnológicos, sensoriais, nutricionais e zootécnicos. Os aditivos zootécnicos são substâncias usadas no intuito de melhorar o desempenho do animal e inclui os digestivos (enzimas exógenas), equilibradores da flora intestinal (prebióticos, probióticos e ácidos orgânicos) e os fitogênicos (óleos essenciais) (Sakomura *et al.*, 2014).

Em razão da presença de microrganismos benéficos e patogênicos, são utilizados moduladores da microbiota visto que podem influenciar o desempenho e metabolismo do hospedeiro. Os mecanismos possíveis compreendem a produção de bacteriocinas, redução da taxa de crescimento dos patógenos, inibição dos fatores de colonização do patógenos e competição ou modificação por locais de aderência (Macari *et al.*, 2014).

Moharreri *et al.* (2021) relataram que o uso de óleos essenciais resultou na regulação dos genes antioxidantes e de inflamação no tecido do fígado. Consequentemente, as microcápsulas carregadas de óleo essencial foram consideradas como um fitobiótico promissor contra a infecção por *C. perfringens*. Abdelli *et al.* (2021) afirmaram que os metabólitos secundários vegetais e óleos essenciais, também conhecidos como fitogênicos, promove a eficiência alimentar, aumenta a produção de secreções digestivas e a absorção de nutrientes, reduzindo a carga patogênica no intestino, exercem propriedades antioxidantes e diminuem a carga microbiana no estado imunológico do animal.

6.3. ÓLEOS ESSENCIAIS

São misturas complexas de substâncias voláteis, lipofílicas, com baixo peso molecular, +geralmente odoríferas e líquidas, constituídos na maioria das vezes, por moléculas de natureza terpênica (Morais, 2009). Os extratos de ervas e preparações de especiarias têm sido valorizados desde tempos históricos pelas suas propriedades antimicrobianas (NRC, 2012).

Os óleos essenciais (OE) possuem uma elevada concentração de compostos fenólicos bioativos, que desempenham funções antimicrobianas (Figura 6.1), antioxidantes e anti-inflamatórias no íleo, regulando os genes neste tecido (Moharreri *et al.*, 2021; Albino *et al.*, 2017). No mercado, são utilizados o carvacrol, timol, eugenol, cinamaldeído, óleo de palma e outros compostos fitogênicos.

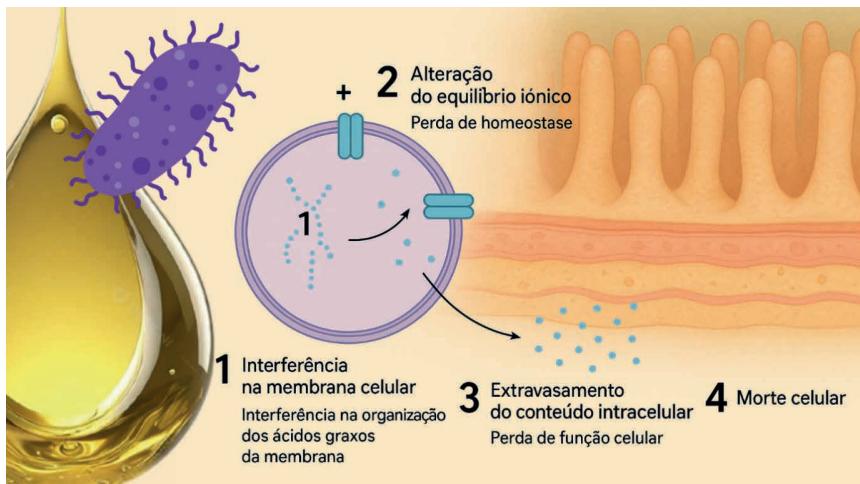


Figura 6.1. Mecanismo de ação antimicrobiana dos óleos essenciais sobre bactérias no trato gastrointestinal. A ação inicia com a interferência na membrana celular (1), comprometendo a organização lipídica. Isso leva à alteração do equilíbrio iônico e perda da homeostase (2), extravasamento do conteúdo intracelular (3) e, por fim, à morte celular (4).

Orzuna-Orzuna; Lara-Bueno (2023) observaram no soro sanguíneo que a inclusão de óleos essenciais na dieta resultou no aumento dos níveis de superóxido dismutase e glutationa peroxidase, enzimas responsáveis por controlar a produção de radicais livres, além de melhorar a capacidade antioxidante total (Figura 6.2). Kolani *et al.* (2019) constataram que a adição de 2% de óleo de palma teve um efeito benéfico no desempenho da produção de ovos em galinhas poedeiras.

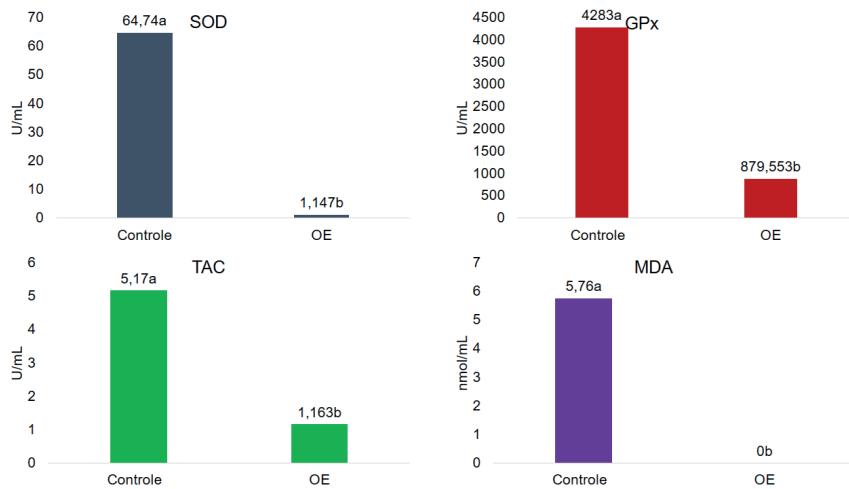


Figura 6.2. Estado antioxidante no soro sanguíneo de galinhas poedeiras suplementadas com óleos essenciais (OE). SOD: superóxido dismutase; GPx: glutationa peroxidase; TAC: capacidade antioxidante total; MDA: malondialdeído. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado de Orzuna-Orzuna e Lara-Bueno (2023).

O uso de óleos essenciais em substituição aos aditivos de crescimento na alimentação das aves busca melhorar a microbiota intestinal e, consequentemente, promover um melhor desempenho produtivo. Isso se deve ao fato de que os óleos essenciais impedem a colonização de bactérias patogênicas na mucosa intestinal (Fernandes *et al.*, 2015).

6.3.1 Óleo de palma

Nos países tropicais, o óleo de palma (Palmeira da África do Sul) é utilizado como fonte de energia e ácidos graxos essenciais na alimentação de aves, ricos em palmítico, carotenóides e vitamina E. Vários tipos de óleos podem ser produzidos a partir do mesocarpo (fibra) e do caroço dos frutos do óleo de palma (Izuddin *et al.*, 2022). Fornece altos níveis calóricos e sua inclusão nas rações de postura aumenta a absorção de vitaminas solúveis em óleo. Seu alto teor de carotenóides (500-700 ppm) melhora a qualidade do ovo, aumentando o teor de ácidos graxos e a intensidade da cor da gema (Saminathan *et al.*, 2020).

O óleo de palma pode influenciar o trânsito alimentar, melhorando a digestibilidade e a absorção de nutrientes. Estes benefícios permitem maior deposição de nutrientes para a formação do ovo. De acordo com Kolani *et al.* (2019), ao avaliarem diferentes níveis de inclusão de óleo de palma em galinhas Isa Brown

com 55 semanas de idade, observaram que a suplementação de óleo de palma (2%) apresentou altas taxas de postura, baixo peso dos ovos, baixo peso do fígado e baixa conversão alimentar, enquanto óleo de palma (3%) apresentou os ovos mais pesados e a maior concentração sérica de proteína total (Figura 6.3).

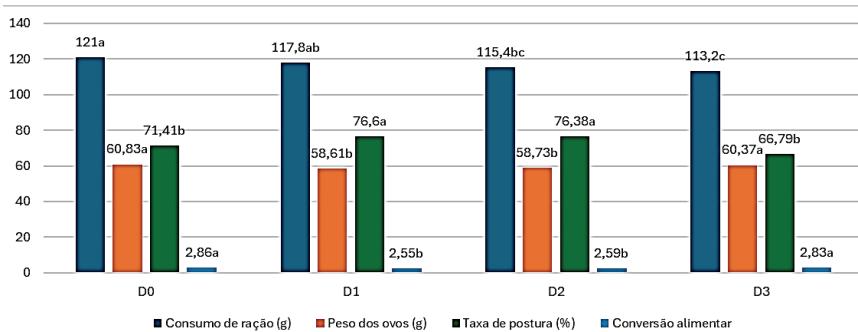


Figura 6.3. Diferentes níveis de inclusão de óleo de palma sobre o desempenho produtivo em galinhas Isa Brown com 55 semanas de idade. D0 = dieta, dieta basal sem óleo de palma; D1 = 1% de óleo de palma; D2 = 2% de óleo de palma e D3 = 3% de óleo de palma. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado de Kolani et al. (2019).

Estudos mostram efeitos relacionados ao tempo do armazenamento dos ovos, nos quais o óleo de palma contribui para menores perdas de qualidade. Santos, Segura e Sarmiento (2019), utilizaram galinhas com 28 semanas de idade e suplementaram com 30 g/kg de óleo de palma e armazenaram os ovos durante 0, 4, 8 e 12 dias a 4, 12 e 24 °C e afirmaram que a dieta com óleo de palma apresentou ovos e albúmen mais pesados do que na dieta controle. As variáveis diminuíram com o aumento da temperatura e dos dias de armazenamento, mas os ovos de galinhas suplementadas com óleo de palma apresentaram melhor qualidade em algumas características aos 12 dias de armazenamento, principalmente a Unidade Haugh.

6.3.2 Cineol

O óleo essencial oriundo do eucalipto e do alecrim é rico em compostos bioativos como 1,8 cineol, que possui atividade antimicrobiana. Prolongam a vida útil dos ovos, fornecendo proteção contra os radicais livres de oxigênio, reduzindo os efeitos do estresse oxidativo.

Cimrin et al. (2020), relataram que durante o armazenamento dos ovos, os níveis de MDA (malondialdeído) na gema dos ovos das aves que receberam os óleos essenciais na ração foram significativamente inferiores do que o controle ou o tratamento com antibióticos. Os óleos essenciais (cinamaldeído e cineol) são

transferidos para os ovos galinhas e retardam a peroxidação na gema, rica em ácidos graxos insaturados, principalmente no verão. Observaram que o grupo controle ou tratados com antibióticos, o nível de radicais livres aumentou com a temperatura de armazenamento mais elevada e o armazenamento prolongado, levando o aumento dos níveis de MDA, como um indicador que ocorreu peroxidação.

Zhang *et al.* (2023), afirmaram que a suplementação com extratos de alecrim melhorou a unidade Haugh e aumentou a atividade da superóxido dismutase sérica (SOD) em comparação com o grupo controle (Figuras 6.4 e 6.5). Observaram alteração no metabolismo de carboidratos e aminoácidos da microbiota cecal e aumento nas enzimas sintetizadoras de butirato, incluindo 3-oxoácido CoA-transferase e butirato-acetoacetato CoA-transferase. Além disso, a análise transcriptômica revelou que houve melhora nas expressões gênicas e vias funcionais relacionadas à imunidade e à formação de albumina no oviduto (magno).

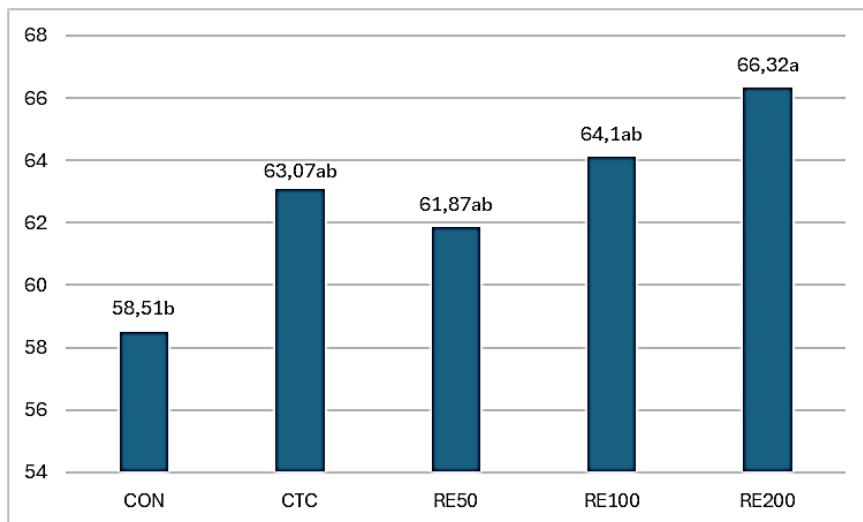


Figura 6.4. Efeitos do extrato de alecrim na Unidade Haugh de ovos de galinhas poedeiras. CON = grupo controle; CTC = 50 mg/kg de clortetraciclina; RE50 = 50 mg/kg de extrato de alecrim; RE100 = 100 mg/kg de extrato de alecrim; RE200 = 200 mg/kg de extrato de alecrim. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado de Zhang *et al.* (2023).

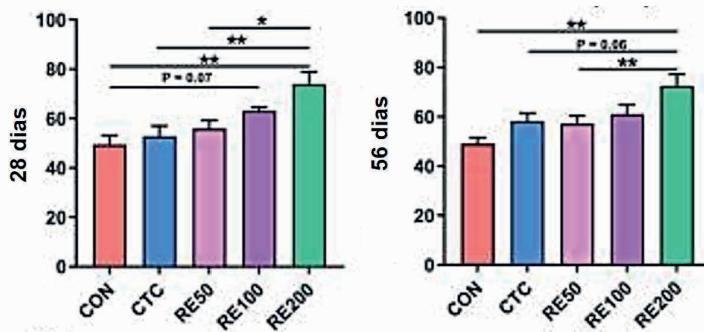


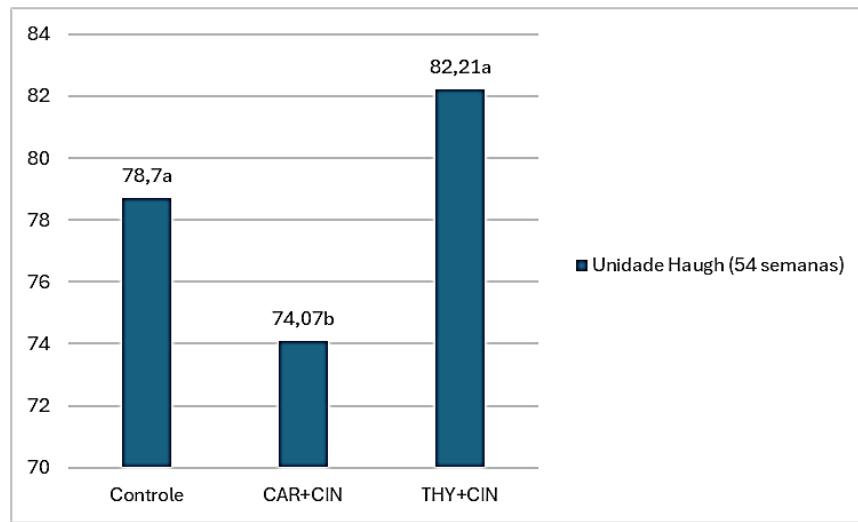
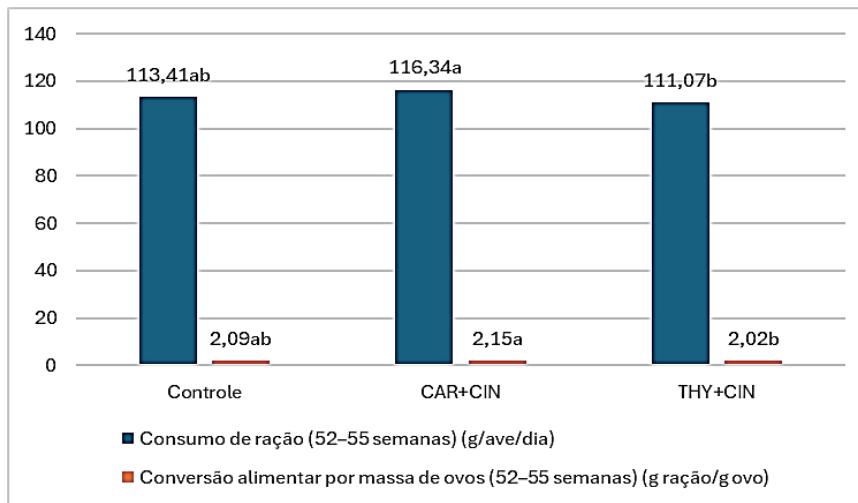
Figura 6.5. Efeitos do extrato de alecrim na concentração de superóxido dismutase sérica (SOD) no soro de galinhas poedeiras. CON = grupo controle; CTC = 50 mg/kg de clortetraciclina; RE50 = 50 mg/kg de extrato de alecrim; RE100 = 100 mg/kg de extrato de alecrim; RE200 = 200 mg/kg de extrato de alecrim. * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$. Adaptado de Zhang et al. (2023).

6.3.3 Timol

O timol atua sobre a membrana celular bacteriana desestruturando-a, inibindo a divisão mitótica e reduzindo a sobrevivência de bactérias patogênicas. É um óleo essencial proveniente do tomilho e é uma das alternativas aos antibióticos no mercado da avicultura. Esse composto pode afetar o comportamento das poedeiras e influenciar a composição dos ovos, a espessura da casca e a qualidade sensorial dos ovos (Gholami-Ahangaran et al., 2022).

Abdel-Wareth (2016) afirmou que a suplementação de timol e simbiótico, separadamente ou combinados, melhorou o peso dos ovos, a produção de ovos, a massa de ovos e a conversão alimentar das galinhas de 24 às 36 semanas de idade. Os ovos obtidos dos tratamentos timol, simbiótico ou seus combinados apresentaram maiores valores de espessura de casca, unidade Haugh e porcentagem de casca em relação ao controle.

A combinação adequada de óleos essenciais pode melhorar as características de desempenho e bem-estar das galinhas poedeiras. Wang et al. (2022), avaliaram os efeitos dos óleos essenciais dietéticos, compostos de cinamaldeído com carvacrol ou timol, no desempenho, qualidade dos ovos e saúde intestinal em poedeiras Hy-line Brown pós-pico (50 semanas de idade) (Figuras 6.6 e 6.7). A adição de óleos essenciais diminuiu a taxa de ovos sujos, aumentaram a resistência da casca dos ovos e a unidade Haugh. Além de aumentar significativamente a proporção entre a altura das vilosidades e a profundidade das criptas no duodeno através do aumento da altura das vilosidades e da diminuição da profundidade das criptas.



6.3.4 Carvacrol

O óleo de orégano possui como principal princípio ativo o composto fenólico o carvacrol, que melhora o aproveitamento dos nutrientes e mantém a integridade da mucosa intestinal. Ramirez, Peñuela-Sierra e Ospina (2021), identificaram que a adição de 150 ppm do óleo de orégano na dieta melhorou a produção e massa de ovos, a qualidade externa e interna do ovo em comparação com o controle ou antibióticos. Além disso, tanto o tratamento 80 ppm quanto o 150 ppm do óleo de orégano melhoraram a cor da gema, a espessura e a cor da casca, bem como parâmetros relacionados à morfometria intestinal em comparação ao grupo controle.

Outro efeito positivo é o aumento de contagem bactérias benéficas no trato gastrointestinal e atividade de enzimas necessárias para a degradação dos nutrientes para serem absorvidos. Feng *et al.* (2021), observaram que a adição de óleo de orégano melhorou desempenho e qualidade de ovos, aumentou a atividade da quimotripsina e da lipase ileal, juntamente com um aumento linear na relação entre a altura das vilosidades e a profundidade das criptas, e aumento da abundância de *Burkholderiales*, *Actinobacteria*, *Bifidobacteriales*, *Enterococcaceae* e *Bacillaceae*, enquanto diminuiu a abundância de *Shigella* no íleo (Figuras 6.8, 6.9, 6.10 e 6.11).

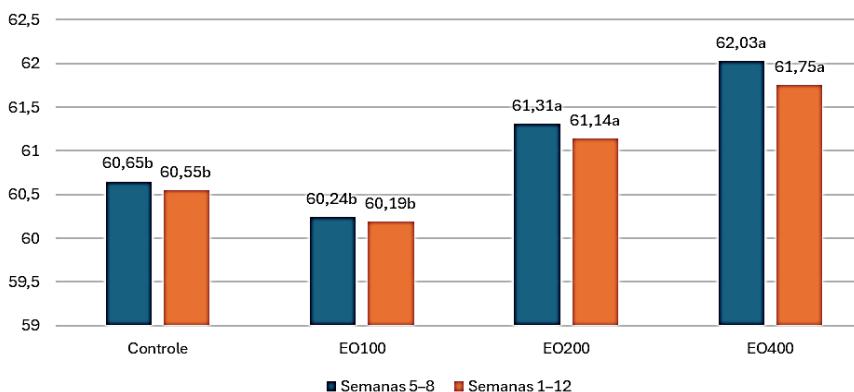


Figura 6.8. Efeitos da suplementação com óleo essencial (EO) no peso médio do ovo. Controle = dieta basal; EO100 = 100 mg/kg EO de orégano microencapsulado; EO200 = 200 mg/kg EO de orégano microencapsulado; EO400 = 400 mg/kg EO de orégano microencapsulado. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado Feng *et al.* (2021).

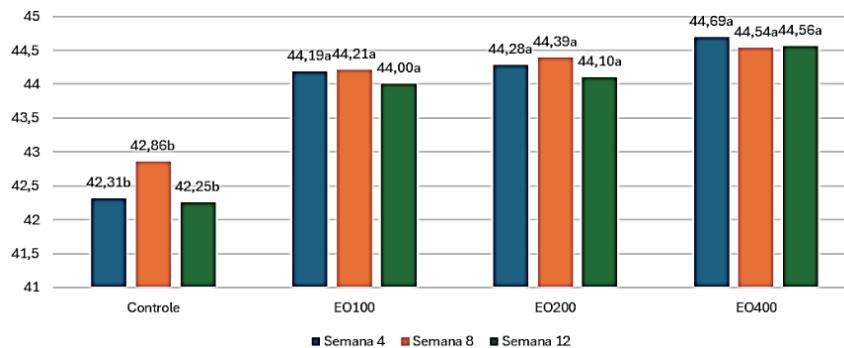


Figura 6.9. Efeitos da suplementação com óleo essencial (EO) na taxa de conversão alimentar. Controle = dieta basal; EO100 = 100 mg/kg EO de orégano microencapsulado; EO200 = 200 mg/kg EO de orégano microencapsulado; EO400 = 400 mg/kg EO de orégano microencapsulado. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado Feng et al. (2021).

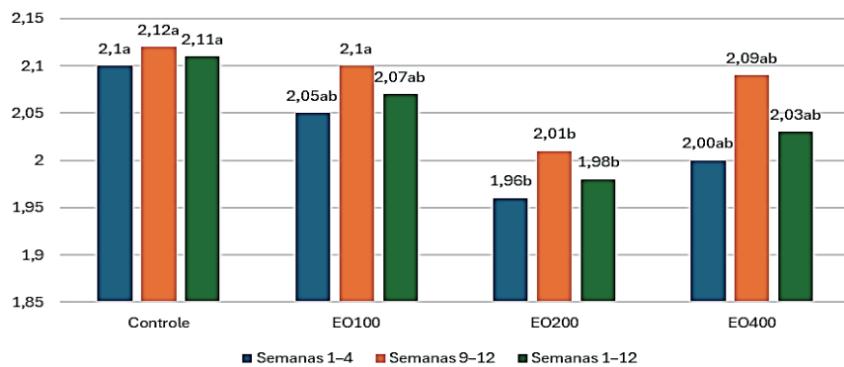


Figura 6.10. Efeitos da suplementação com óleo essencial (EO) na espessura da casca do ovo. Controle = dieta basal; EO100 = 100 mg/kg EO de orégano microencapsulado; EO200 = 200 mg/kg EO de orégano microencapsulado; EO400 = 400 mg/kg EO de orégano microencapsulado. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado Feng et al. (2021).

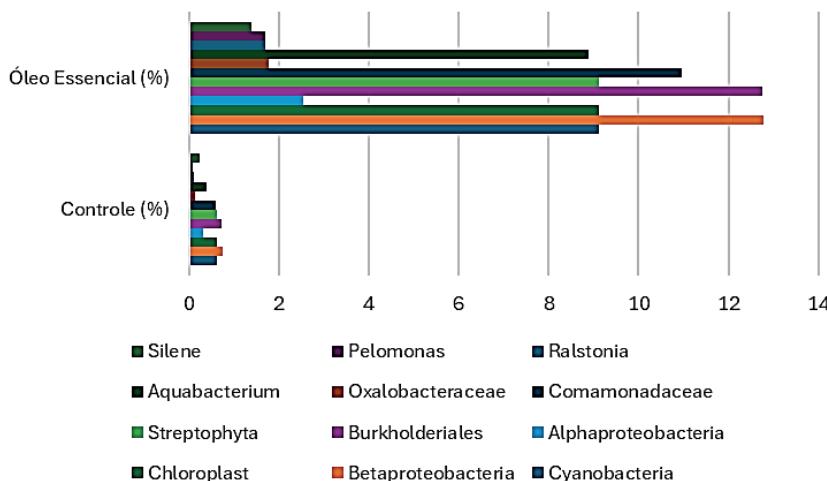


Figura 6.11. Efeitos da suplementação com óleo essencial (EO) nas médias da distribuição bacteriana no conteúdo ileal. Adaptado Feng et al. (2021).

6.4 ÁCIDOS ORGÂNICOS

Conforme Ortiz (2018), os ácidos orgânicos são compostos à base de carbono e possuem em sua estrutura um grupo carboxílico ácido. De acordo com Menten et al. (2014), esses ácidos são encontrados nos tecidos de animais e vegetais e atuam como controladores da carga bacteriana no trato digestivo, promovendo melhorias na morfologia intestinal. Ao contrário dos antibióticos, eles não causam resistência microbiana. Os ácidos orgânicos são substâncias acidificantes que reduzem o pH na porção inicial do trato digestório para melhorar os níveis de pepsina e potencializar um efeito bactericida ou bacteriostática ao reduzir a capacidade das bactérias ligarem-se a parede intestinal da ave e aumentar a disponibilidade de cálcio, magnésio, ferro, cobre e zinco (Albino et al., 2017).

Os principais ácidos orgânicos utilizados são o ácido fórmico, ácido acético, ácido propionico, ácido sórbico, ácido lático, ácido fumárico e ácido cítrico (Menten et al., 2014; Silva et al., 2018). Esses ácidos têm o poder de reduzir a carga microbiana no trato digestivo ao diminuir o pH do trato gastrointestinal, reduzindo assim a presença de microrganismos patogênicos (Dibner; Buttin, 2002). Os efeitos dos ácidos orgânicos variam dependendo do seu estado de dissociação. A dissociação considera o valor de pH do ambiente e é descrito pelo pKa específico (constante de dissociação) valor para cada ácido, que define o pH a uma dissociação de 50% avaliar. Quanto menor o valor de pKa, mais forte é o ácido, determinando a sua capacidade de reduzir o pH do ambiente. Os ácidos usados como aditivos alimentares têm valores de pKa entre 3 e 5, e são classificados como sendo de resistência intermediária (Lückstädt, 2007).

Conforme afirmado por Menten *et al.* (2014), essa diminuição do valor de pH tem a capacidade de ampliar a atividade proteolítica, colaborando, assim, com a aprimoração da digestão e absorção das proteínas e aminoácidos. Embora o mecanismo de ação dos ácidos orgânicos ainda esteja sendo estudado, é inquestionável que eles trazem vantagens, tais como o aumento da digestibilidade e, por conseguinte, um melhor desempenho (Espíndola, 2016). Os ácidos orgânicos são capazes de tornar permeável a membrana das bactérias Gram-negativas e diminuir o pH intestinal, ocasionando um enfraquecimento dessas células e um aumento na eficácia das bacteriocinas produzidas pelas bactérias lácticas (Macari *et al.*, 2014).

6.4.1 Ácido fumárico

O ácido fumárico em animais é gerado durante a decomposição do aspartato, aminoácidos fenilalanina e tirosina, no ciclo da ornitina e durante a purina síntese. Sua atividade antimicrobiana tem como alvo bactérias gram-negativas e gram-positivas, e coliformes (especialmente *E. coli*) que são particularmente reduzidos, enquanto o crescimento de variedades de leveduras dificilmente é inibido e os lactobacilos toleram o ácido fumárico (Lückstädt, 2007).

Yesilbag e Colpan (2006), relataram que a associação de ácido fumárico e ácido propiônico em galinhas poedeiras melhorou significativamente a produção de ovos, acelerando a capacidade de postura das galinhas de 24 a 28 semanas e persistindo o período de postura das galinhas para 36 e 38 semanas, bem como eficiência alimentar em menor grau. A proteína, a albumina sérica e a atividade sérica aumentaram significativamente enquanto os outros parâmetros séricos testados (colesterol, triglicerídeos, lipídeos totais e concentrações de HDL e LDL) não variaram.

Os ácidos orgânicos potencializam a ação da pepsina no intestino (Sakomura *et al.*, 2014), Vertiprakhov, Grozina, Borisenko (2019), analisaram as propriedades bioquímicas do sangue de galinhas com 46 semanas de idade suplementadas com ácido fumárico (100 g/t) e observaram que a atividade da lipase aumentou em 66,7% com adição do acidificante dietético na dieta.

6.4.2 Ácido cítrico

O ácido cítrico é um ácido orgânico fraco, na forma de pó cristalino branco, não sendo tóxico e nem inflamável. Pode quelar íons metálicos realizando ligações entre metais e os grupos carboxila ou hidroxila da molécula de ácido cítrico. É eficiente no retardamento da deterioração de lipídios em alimentos e comumente associado a óleos vegetais (Pereira *et al.*, 2013). Drabik *et al.* (2021), avaliaram ovos de galinha armazenados durante 7, 14, 21 e 28 dias pulverizados com ácido cítrico e afirmaram que os ovos tratados demonstraram menor perda de peso, células de ar mais rasas, maior albúmen estrutural, menor difusão de água do albúmen para

a gema, indicando maior resistência da membrana vitelina. Sugeriram o fato do ácido cítrico ser aceito e reconhecido como um conservante alimentar seguro e ser uma substância relativamente barata e disponível, podendo ser utilizado para inibir alterações de qualidade em ovos durante o seu armazenamento.

Sua ação combinada com outros aditivos é estudada com o intuito de compreender e identificar seus efeitos de forma sinérgica. Jasim e Taha (2017), avaliaram a suplementação isolada ou associada de probiótico e ácido cítrico em galinhas Lohmann Brown com 20 semanas de idade e afirmaram que a adição associada melhorou a qualidade dos ovos, aumentando significativamente o peso dos ovos, peso da casca, peso da gema, índice de gema, unidade haugh em comparação com galinhas alimentadas com uma única adição de probiótico ou ácido cítrico, refletindo um efeito sinérgico entre o probiótico e o ácido cítrico.

O ácido cítrico tem influência na digestibilidade dos nutrientes, podendo estar relacionado aos seus efeitos na morfologia intestinal ou formação de quelatos aumentando a digestibilidade e retenção de cálcio, ferro, cobre e magnésio (Sakomura *et al.*, 2014). Vargas-Rodriguez *et al.* (2015), observaram redução linear na excreção de Ca e N, e aumento na digestibilidade de Ca e N, além de efeito sobre a resposta à fitase no aproveitamento do N. e concluíram que o ácido cítrico reduz os níveis de excreção e aumenta a digestibilidade de fósforo, nitrogênio e cálcio e tem efeito na resposta da fitase ao afetar as excreções de fósforo e nitrogênio (Figura 6.12).

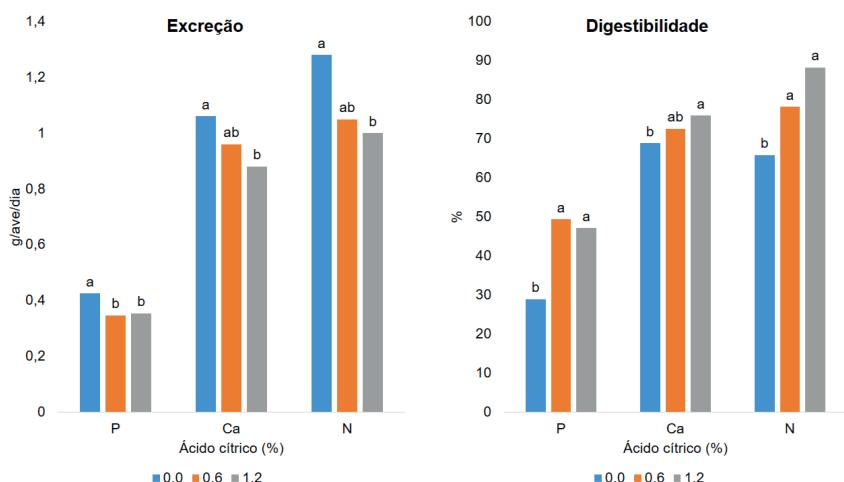


Figura 6.12. Efeitos crescentes da inclusão de ácido cítrico (%) na dieta sobre a excreção (g/ave/dia) e digestibilidade (%) do fósforo (P), cálcio (Ca) e nitrogênio (N) em aves. Letras distinhas diferem pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade. Adaptado Vargas-Rodriguez *et al.* (2015).

6.4.3 Ácido butírico

Os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) ou ácidos graxos voláteis (AGV) são produtos da fermentação no ceco, oriundos da ação microbiana. Os produtos que são produzidos em maior quantidade, são os ácidos acético, propiônico e butírico (Araújo e Zanetti, 2019). O butirato é o principal AGCC utilizado como fonte de energia que ajuda a regular o crescimento das células epiteliais, influenciando na diferenciação e apoptose no intestino delgado, aumentando a capacidade absorptiva (Sakomura *et al.*, 2014). O ácido butírico por ser volátil, é disponibilizado em forma de sais microencapsulados (butirato de sódio e butirato de cálcio).

Estudos com a suplementação de butirato de sódio em galinhas poedeiras são encontrados com maior quantidade, ao contrário do butirato de cálcio (Ler o capítulo 7). Mais pesquisas sobre a suplementação do butirato de cálcio são necessárias para determinar a dosagem mais adequada e seus efeitos nas aves.

6.5. EFEITOS DA MICROENCAPSULAÇÃO

A microencapsulação é uma técnica utilizada para melhorar a viabilidade dos ácidos orgânicos e óleos essenciais durante o processamento e para a entrega direcionada no trato gastrointestinal (Jadhao *et al.*, 2019), pois os ácidos orgânicos e os óleos essenciais são produtos voláteis que durante o processamento da ração podem evaporar ou atuar no estômago ou intestino delgado proximal (Michiels *et al.*, 2008).

O método consiste na formação de pequenas partículas ou gotículas que são envolvidas por uma parede de revestimento lipídica para formar pequenas cápsulas. Os métodos de encapsulamento incluem secagem por pulverização, emulsificação, liofilização, revestimento em leito fluidizado, extrusão e tecnologias de fluidos supercríticos (Moharreri *et al.*, 2021) the development of phytobiotics, an antibiotic-replacing agent, has attracted a considerable attention as poultry feed additive. The present study aims to develop the microcapsules loaded with a blend of essential oils (thyme, peppermint, savoury, and black pepper. Permitindo que essas substâncias permaneçam inativas no estômago, sendo ativadas apenas sob a ação dos sais biliares e da lipase no intestino, onde exercem seus efeitos benéficos.

Gao *et al.* (2019), relataram que a microencapsulação de ácidos orgânicos e óleos essenciais reduziram os níveis cecais de *Escherichia coli* e *Salmonella*, maior relação altura-profundidade das criptas das vilosidades do jejunum e promoveram atividade da quimotripsina em frangos de corte (Figura 6.13). Wang *et al.* (2019), observaram que a adição de 150 mg/kg (óleos essenciais encapsulados e ácidos orgânicos) houve um aumento significativo na taxa de postura na dieta e as doses (150 a 300 mg/kg) um aumento linear na altura das vilosidades ileais em galinhas poedeiras, além de maiores contagens de *Bifidobacterium* na digestão cecal nas semanas 25 e

30 (Figura 6.14). Yang *et al.* (2019), identificaram que a adição de (0,30 g/kg ácidos orgânicos encapsulados e óleos essenciais) reduziu o pH da digesta jejunal e da digesta ileal, aumentou as concentrações de ácido butírico, ácido acético e ácidos graxos totais de cadeia curta na digesta ileal, e reduziu a contagem de *Escherichia coli* (Figuras 6.15 e 6.16).

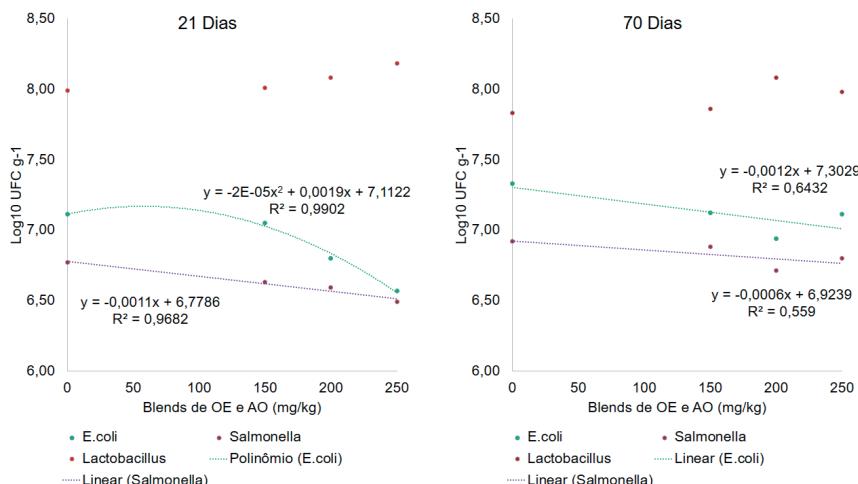


Figura 6.13. Efeitos da suplementação com misturas encapsuladas de óleos essenciais (EO) e ácidos orgânicos (OA) sobre a população cecal de *E. coli*, *Salmonella* e *Lactobacillus* em frangos aos dias 21 e 70. Adaptado de Gao *et al.* (2019).

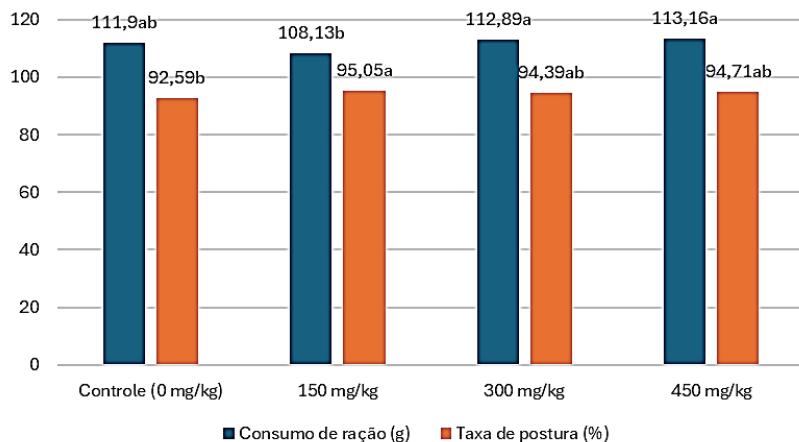


Figura 6.14. Efeitos dos óleos essenciais e ácidos orgânicos encapsulados (EOA) em diferentes dosagens no desempenho de poedeiras. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado de Wang *et al.* (2019).

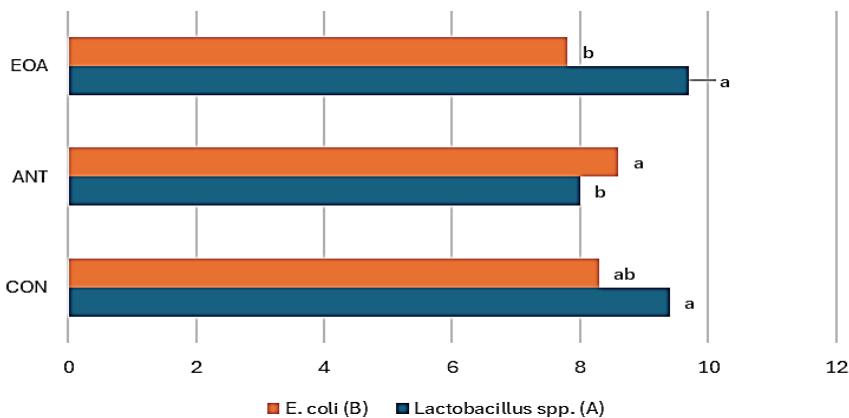


Figura 6.15. Efeito de Óleo Essencial Encapsulado (EOA) e antibiótico na microbiota intestinal. Grupo controle (CON, dieta basal), Grupo antibióticos (ANT, controle + 0,15 g/kg de enramicina) e Grupo de adição (EOA, controle + 0,30 g/kg de ácidos orgânicos encapsulados e óleos essenciais). EOA = Óleo Essencial Encapsulado; ANT = Antibiótico; CON = Controle. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado de Yang et al. (2019).

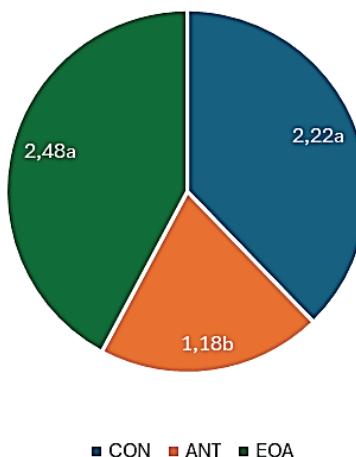


Figura 6.16. Efeitos do antibiótico (ANT) e óleo essencial encapsulados (EOA) nas concentrações de ácido butírico ($\mu\text{mol/g}$) no conteúdo ileal de frangos de corte no dia 42. Grupo controle (CON, dieta basal), Grupo antibióticos (ANT, controle + 0,15 g/kg de enramicina) e Grupo de adição (EOA, controle + 0,30 g/kg de ácidos orgânicos encapsulados e óleos essenciais). Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado de Yang et al. (2019).

Abdelli *et al.* (2021), indicaram que a técnica de microencapsulação pode ser útil para proteger o ácido fumárico e o timol, evitando a absorção precoce, garantindo sua liberação lenta em todo o TGI e melhorando seus efeitos na conversão alimentar e na morfologia intestinal. Estudo de Johnson *et al.* (2023), observaram que a mistura microencapsulada de ácidos orgânicos e vegetais provoca um fenótipo mais antiinflamatório e uma sinalização reduzida no jejuno, ao mesmo tempo que resulta em respostas imunometabólicas melhoradas no íleo.

Outra função importante é a relação de proteção contra o estresse oxidativo, no qual a microencapsulação de ácidos orgânicos e óleos essenciais melhora a atividade das enzimas responsáveis pelo controle do estresse oxidativo. Facchi *et al.* (2022), relataram melhora na atividade da glutationa peroxidase e da glutationa-S-transferase.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os óleos essenciais vêm sendo amplamente estudados na nutrição de poedeiras, com destaque para sua atuação na modulação da microbiota intestinal, ação antimicrobiana e estímulo às funções digestivas. Esses compostos, ricos em princípios ativos como carvacrol, timol e cineol, exercem efeitos positivos sobre a saúde intestinal, promovendo um ambiente mais estável e funcional no trato gastrointestinal.

A utilização de tecnologias como a microencapsulação tem ampliado a eficácia desses aditivos, garantindo maior estabilidade durante o processamento da ração e liberação direcionada ao longo do trato gastrointestinal. Isso permite um aproveitamento mais eficiente dos compostos bioativos e potencializa seus efeitos benéficos sobre o desempenho e o bem-estar das aves.

Nesse contexto, os ácidos orgânicos também são empregados como moduladores da saúde intestinal, reforçando estratégias nutricionais que priorizam a segurança alimentar e a sustentabilidade da produção. A adoção de aditivos naturais, como os óleos essenciais, representa uma alternativa ao uso de antibióticos.

REFERÊNCIAS

ABDELLI, N., FRANCISCO PÉREZ, J., VILARRASA, E., MELO-DURAN, D., CABEZA LUNA, I., KARIMIRAD, R., SOLÀ-ORIOL, D. Microencapsulation Improved Fumaric Acid and Thymol Effects on Broiler Chickens Challenged With a Short-Term Fasting Period. *Frontiers in veterinary science*, v. 8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.686143>

ABDEL-WARETH, A. A. A. Effect of dietary supplementation of thymol, symbiotic and their combination on performance, egg quality and serum metabolic profile of Hy-Line Brown hens, *British Poultry Science*, v. 57, n. 1, p. 114-122, 2016. DOI: 10.1080/00071668.2015.1123219

ABRAHAMSOHN, P. **Histologia**. Grupo GEN, 2016. E-book. ISBN 9788527730105. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788527730105/>. Acesso em: 21 jan. 2024.

ALBINO, L. F. T.; BARROS, V. R. S. M. de; MAIA, R. C.; TAVERNARI, F. de C.; SILVA, D. L. da. **Produção e nutrição de frangos de corte**. Viçosa: Ed. UFV, 2017.

ALBINO, L. F. T.; CARVALHO, B. R.; MAIA, R. C.; BARROS, V. R. S. M.; TARVENARI, F. C.; COSTA, F. G. P.; STRINGHINI, J. H. **Galinhas poedeiras: criação e alimentação**. Viçosa: Aprenda fácil. 376 f. 2014.

ADEWOLE, D. I., OLADOKUN, S., SANTIN, E. Effect of organic acids-essential oils blend and oat fiber combination on broiler chicken growth performance, blood parameters, and intestinal health. **Animal nutrition** (Zhongguo xu mu shou yi xue hui), v. 7, n. 4, p. 1039–1051, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.02.001>

ALVES, D. A.; DE AVILA, V. S.; DA SILVA, S. N.; FORGIARINI, J.; CONTREIRA, C. L.; XAVIER, E. G.; EDUARDO GONÇALVES XAVIER, U. **Efeito da nutrição de poedeiras sobre os parâmetros da qualidade interna de ovos comerciais armazenados em diferentes temperaturas**, 2017.

ARAÚJO, L. F.; ZANETTI, M. A. **Nutrição animal**. Editora Manole, 2019. E-book. ISBN 9788520463499. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520463499/>. Acesso em: 08 dez. 2024.

AARESTRUP, B. J. **Histologia Essencial**. Grupo GEN, 2012. E-book. ISBN 978-85-277-2145-5. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-277-2145-5/>. Acesso em: 12 jan. 2024.

ARSLAN, C. et al. Dietary encapsulated essential oil mixture influence on apparent nutrient digestibility, serum metabolic profile, lymphocyte histochemistry and intestinal morphology of laying hens. **Animal Bioscience**, v. 35, n. 5, p. 740, 2022.

CHENG, H.; CHEN, J. F.; TANG, S. G.; GUO, S. C.; HE, C. Q.; QU, X. Y. Effects of essential oil/palygorskite composite on performance, egg quality, plasma biochemistry, oxidation status, immune response and intestinal morphology of laying hens. **Poultry science**, v. 101, n. 4, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101632>

CHO, J. H.; KIM, I. H. Effects of microencapsulated organic acids and essential oils on growth performance and intestinal flora in weanling pigs. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**, v. 28, n. 3, p. 229–237, 2015. DOI: 10.17533/udea.rccp.324928.

CIMRİN, T.; TUNCA, R. I.; AVSAROGLU, M. D.; AYASAN, T.; KÜÇÜKERSAN, S. Effects of an antibiotic and two phytogenic substances (cinnamaldehyde and 1,8-cineole) on yolk fatty acid profile and storage period-associated egg lipid peroxidation level. **Revista Brasileira De Zootecnia**, v. 49, 2020. DOI: <https://doi.org/10.37496/rbz4920190270>

COON, C.N.; LESKE, K.L.; AKAVANICHAN, O.; CHENG, T.K. Effect of oligosaccharide-free soybean meal on true metabolizable energy and fiber digestion in adult roosters. **Poult. Sci.**, v. 69, p. 787-793, 1990.

DAI, D.; QI, G. H.; WANG, J.; ZHANG, H. J.; QIU, K., WU, S. G. Intestinal microbiota of layer hens and its association with egg quality and safety. **Poultry science**, v. 101, n. 9, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102008>

DIBNER, J. J.; BUTTIN, P. Use of organic acids as a model to study the impact of gut microflora on nutrition and metabolism. **The Journal of Applied Poultry Research**, Oxford, v. 11, p. 453-463, 2002.

DING, X.; YU, Y.; SU, Z.; ZHANG, K. Effects of essential oils on performance, egg quality, nutrient digestibility and yolk fatty acid profile in laying hens. **Animal Nutrition**, v. 3, n. 2, p. 127-131, 2017.

DRABIK, K.; JUSTYNA, B.; TOMASZ, P.; BEATA, H. Citric acid as a factor limiting changes in the quality of table eggs during their storage. **Poult. Sci.**, v. 100, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.01.018>

DU, X.; XIANG, Y.; LOU, F.; TU, P.; ZHANG, X.; HU, X.; LYU, W.; XIAO, Y. Microbial Community and Short-Chain Fatty Acid Mapping in the Intestinal Tract of Quail. **Animals**, v. 10, n. 6, p. 1006, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10061006>

ESPÍNDOLA, G. B. **Nutrição de animais monogástricos de produção**. 1. ed. Fortalezal: Expressão gráfica e editora, 2016.

EURELL, J. A.; FRAPPIER, B. L. **Histologia veterinária de Dellmann**. – 6aEd. Editora Manole, 2012. E-book. ISBN 9788520455722. Disponível em: [https://integrada\[minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520455722/](https://integrada[minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520455722/). Acesso em: 12 jan. 2024.

FACCHI, C. S.; VALENTINI, F. D. A.; PAGNUSSATT, H.; LEITE, F.; DAL SANTO, A.; ANIECEVSKI, E.; ROSSATO, G.; ZACCARON, G.; ALBA, D. F.; MILARCH, C. F.; PETROLI, R. R.; GALLI, G. M.; DA SILVA, A. S.; TAVERNARI, F. C.; PETROLI, T. G. Effects of microencapsulated carvacrol and cinnamaldehyde on feed digestibility, intestinal mucosa, and biochemical and antioxidant parameters in broilers. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 52, 2022. DOI: <https://doi.org/10.37496/rbz5220220079>

FEDDERN, V.; PRÁ, M. C. D.; MORES, R.; NICOLOSO, R. DA S.; COLDEBELLA, A.; ABREU, P. G. de. Egg quality assessment at different storage conditions, seasons and laying hen strains. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 3, p. 322–333. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-70542017413002317>

FENG, J., et al. Dietary oregano essential oil supplementation improves intestinal functions and alters gut microbiota in late-phase laying hens. **Journal of animal science and biotechnology**, v. 12, n. 1, 72, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00600-3>

FERNANDES, R. T. V.; et al. Aditivos fitogênicos na alimentação de frangos de corte: óleos essenciais e especiarias. **PubVet**, v. 9, p. 502-557, 2015.

FLORIANO, L. S. **Anatomia e fisiologia das aves domésticas**. 1.ed. Urutáí: IF Goiano. 94p, 2013.

FUNARI JUNIOR, P. et al. Efeitos da utilização de ácidos orgânicos em ração de frangos decorte. **PUBVET**, Londrina, v. 5, n. 25, Ed. 172, Art. 1159, 2011.

GAO, Y.; et al. Encapsulated blends of essential oils and organic acids improved performance, intestinal morphology, cecal microflora, and jejunal enzyme activity of broilers. **Czech J. Anim. Sci.**, v. 64, p. 189-198, 2019.

GHOLAMI-AHANGARAN, M.; AHMADI-DASTGERDI, A.; AZIZI, S.; BASIRATPOUR, A.; ZOKAEI, M.; DERAKHSHAN, M. Thymol and carvacrol supplementation in poultry health and performance. **Veterinary medicine and science**, v. 8, n. 1, p. 267–288, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/vms3.663904-6>

GUL, M.; TUNÇ, M.; CETIN, S.; YILDIZ, A. Effect of organic acids in diet on laying hens' performance, egg quality indices, intestinal microflora, and small intestinal villi height. **Archiv fur Geflugelkunde**. v. 77, 2013. DOI: 10.1399/eps.2013.5.

HEMPE, J.K.; LAUXWN, R.C.; SAVAGE, J.E. Rapid determination of egg weight and specific gravity using a computerized data collection system. **Poultry Science**, v.67, p.902-907, 1988.

ISHAK, K., et al. Histological grading and staging of chronic hepatitis. **Journal of Hepatology**, v. 22, p. 696-699, 1995.

ISLAM, Z. et al. Effect of Organic Acids Blend, Micro- Encapsulated Phyto-Essential Oils Individually or in Combination on Growth Performance, Gut Health and Nutrients Utilization of Broilers. **Pakistan Journal of Zoology**, v. 54, n. 5, p. 2391–2399, 2022.

IZUDDIN, W. I.; LOH, T. C.; AKIT, H.; NAYAN, N.; NOOR, A. M.; FOO, H. L. Influence of Dietary Palm Oils, Palm Kernel Oil and Soybean Oil in Laying Hens on Production Performance, Egg Quality, Serum Biochemicals and Hepatic Expression of Beta-Carotene, Retinol and Alpha-Tocopherol Genes. **Animals : an open access journal from MDPI**, v. 12, n. 22, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani12223156>

JASIM, M. S.; TAHAN, A. Y. Effect of supplementation of probiotic and citric acid to laying hens diet on eggs quality traits". **iraqi journal of agricultural sciences**, v. 48, n. 2, 2017. DOI: [10.36103/ijas.v48i2.426](https://doi.org/10.36103/ijas.v48i2.426).

JADHAO, G. M.; SAWAI, D.; REWATKAR, H. N.; KOLHE, R.; BANSOD, A.; NANDESHWAR, J. Effect of organic acids with probiotic supplementation on immunity and blood biochemical status of broiler chicken. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 8, n. 02, p. 1952-1959, 2019. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.802.227>

JOHNSON, C. N.; ARSENAULT, R. J.; PIVA, A.; GRILLI, E.; e SWAGGERTY, C. L. A microencapsulated feed additive containing organic acids and botanicals has a distinct effect on proliferative and metabolic related signaling in the jejunum and ileum of broiler chickens. **Frontiers in physiology**, v. 14, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1147483>

KELL, G.S. Density, thermal expansivity, and compressibility of liquid water from 0°C to 150°C: correlations and tables for atmospheric pressure and saturation reviewed and expressed on 1968 temperature scale. **Journal of Chemical and Engineering Data**, v.20, p.97-105, 1975.

KHAN, R. U. et al. Prospects of organic acids as safe alternative to antibiotics in broiler chickens diet. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 22, p. 32594–32604, 2022.

KHAN, S. H.; IQBAL, J. Recent advances in the role of organic acids in poultry nutrition. **Journal of Applied Animal Research**, v. 44, n. 1, p. 359–369, 2016.

KHAN, S.; MOORE, R. J.; STANLEY, D.; CHOUSALKAR, K. K. The Gut Microbiota of Laying Hens and Its Manipulation with Prebiotics and Probiotics To Enhance Gut Health and Food Safety. **Applied and environmental microbiology**, v. 86, n. 13, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.00600-20>

KOLANI, A. et al. Effects of Dietary Palm Oil on Production Performance and Serum Parameters of Laying Hens. **International Journal of Poultry Science**, v. 18, p. 1-6, 2019. DOI: [10.3923/ijps.2019.1.6](https://doi.org/10.3923/ijps.2019.1.6)

KUNZ, A. et al. **Manejo Ambiental na Avicultura**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves. v. 149, 2011.

LI, D.F. Interrelationship between hypersensitivity to soybean proteins and growth performance in early-weaned pigs. **Journal of Animal Science**, v.69, p. 4062–4069, 1991.

LÜCKSTÄDT, C. Acidifiers in animal nutrition: A guide for feed preservation and acidification to promote animal performance. **Nottingham: Nottingham University Press**, 2007.

MACARI, M.; LUNEDO, R.; PEDROSO, A. A. Microbiota intestinal de aves. In: MACARI, M.; MENDES, A.A.; MENTEN, J.F.; NAAS, I.A. **Produção de frango de corte**, p. 300-319, 2014.

MACARI, M.; MAIORKA, A. **Fisiologia das aves comerciais**. Jaboticabal: Funep, PROL Editora Gráfica, 806 f. 2017.

MADLALA, T.; OKPEKU, M.; ADELEKE, M. A. Understanding the interactions between *Eimeria* infection and gut microbiota, towards the control of chicken coccidiosis: a review. Comprendre l'interaction entre l'infection à *Eimeria* et le microbiote intestinal pour lutter contre la coccidiose du poulet : une synthèse. **Parasite** (Paris, France), v. 28, n. 48. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1051/parasite/2021047>

MAIORKA, A. **Impacto da saúde intestinal na produtividade avícola**. Anais do V Simpósio Brasil Sul de Avicultura. Chapecó, Santa Catarina, Brasil, p. 26–41, 2004.

MENTEN, J. F. M.; LOMGO, F. A.; VIOLA, E. S.; RIZZO, P. V. **Antibióticos, ácidos orgânicos e óleos essenciais na nutrição de monogástricos**. In: SAKOMURA, N. K.; SILVA, J. H. V.; COSTA, F. G. P.; FERNANDES, J. B. K.; HAUSCHILD, L. (org.). Nutrição de Não Ruminantes. Jaboticabal: Funep, p. 511-536, 2014.

MIAO, S.; HONG, Z.; JIAN, H.; XU, Q.; LIU, Y.; WANG, X.; ZOU, X. Alterations in intestinal antioxidant and immune function and cecal microbiota of laying hens fed on coated sodium butyrate supplemented diets. **Animals**, v. 12, n. 5, 2022.

MICHELS, J.; et al. In vitro degradation and in vivo passage kinetics of carvacrol, thymol, eugenol and trans-cinnamaldehyde along the gastrointestinal tract of piglets. **J. Sci. Food Agric.** v. 88, p. 2371–2381, 2008.

MIGLIORINI, M. J.; BOIAGO, M. M.; STEFANI, L. M.; ZAMPAR, A.; ROZA, L. F.; BARRETA, M.; ARNO, A.; ROBAZZA, W. S.; GIURIATTI, J.; GALVÃO, A. C.; BOSCATTO, C.; PAIANO, D.; DA SILVA, A. S.; DE C. TAVERNARI, F. Oregano essential oil in the diet of laying hens in winter reduces lipid peroxidation in yolks and increases shelf life in eggs, **Journal of Thermal Biology**, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.102409>

MORAIS, L. A. S. de. Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. **Horticultura brasileira**, v. 27, n. 2, 2009.

MOHARRERI, M.; VAKILI, R.; OSKOUEIAN, E.; RAJABZADEH, G. Phytobiotic role of essential oil-loaded microcapsules in improving the health parameters in *Clostridium perfringens*-infected broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*, v. 20, n. 1, p. 2075-2085, 2021. DOI: 10.1080/1828051X.2021.1993093

NABUUS, M.J.A. Microbiological, structural and function changes of the small intestine of pigs at weaning. *Pigs News and Information*, Oxfordshire, v.16, n.3, p.93-97, Sep.1995.

NITISH, J.; YADAV, S. B.; THI, T. H. V.; DRAGANA, S.; KAPIL, C.; ROBERT, J. M. The temporal fluctuations and development of faecal microbiota in commercial layer flocks. *Animal Nutrition*, v. 15, p. 197-209, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.07.006>.

NUTRIENT REQUIREMENTS OF SWINE (NRC). 11.ed. Washington, DC: **National Academy**, 2012. 400p

ORTIZ, R.W. P. **Estudo da síntese química do ácido dl-málico por hidratação do ácido fumárico**. 2018. 115 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2018.

ORZUNA-ORZUNA, J. F., LARA-BUENO, A. Essential Oils as a Dietary Additive for Laying Hens: Performance, Egg Quality, Antioxidant Status, and Intestinal Morphology: A Meta-Analysis. *Agriculture*, v. 13, n. 7, 1294, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13071294>

PARK, S. Y. et al. Effect of storage condition on bone breaking strength and bone ash in laying hens at different stages in production cycles. *Poultry Science*. v. 82, p. 1688–1691. 2003.

PEEBLES, E. D.; MCDANIEL, C. D. Practical manual for understanding the shell structure of broiler hatching eggs and measurements of their quality. *Mississippi Agric. e Forestry Experiment Station*, 2004.

PEREIRA, B. B. et al. **Aditivos alimentares: conceitos, aplicações e toxicidade**. Monte Carmelo, MG: Ed. FUCAMP, 2013. E-book. Disponível em: <https://www.unifucamp.edu.br/wpcontent/uploads/2019/06/editora-fucamp-livro-boscolli-3-2019.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2023.

PESSOA, R. A. S. **Nutrição Animal - Conceitos Elementares**. Editora Saraiva, 2014. E-book. ISBN 9788536521671. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536521671/>. Acesso em: 08 dez. 2023.

PINHEIRO, S. G.; COSTA, F. G. P.; GUERRA, R. R.; GIVISIEZ, P. E. N.; ABREU, C. G. de; DANTAS, L. da S.; LIMA, M. R. de; CAVALCANTE, D. T.; CARDOSO, A. S. Metabolizable energy and sulfur amino acid for laying hens in the first production cycle. Research, Society and Development, [S. I.], v. 9, n. 8, p. e344984895, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i8.4895. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/4895>. Acesso em: 12 jan. 2024.

PIRES, M.; LEANDRO, N.; OLIVEIRA, H.; JACOB, D.; CARVALHO, F.; STRINGHINI, J.; CARVALHO, D.; ANDRADE, C. Effect of Dietary Inclusion of Protected Sodium Butyrate on the Digestibility and Intestinal Histomorphometry of Commercial Laying Hens. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 23, n. 2, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2020-1406>

RAMIREZ, S. Y.; PEÑUELA-SIERRA, L. M.; OSPINA, M. A. Effects of oregano (*Lippia origanoides*) essential oil supplementation on the performance, egg quality, and intestinal morphometry of Isa Brown laying hens. **Veterinary world**, v. 14, n. 3, p. 595–602, 2021. DOI: <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.595-602>

REECE, W. O. **Dukes | Fisiologia dos Animais Domésticos**, 13^a edição. Grupo GEN, 2017. E-book. ISBN 9788527731362. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788527731362/>. Acesso em: 08 dez. 2023.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: composição dos alimentos e exigências nutricionais**. 4. ed., Viçosa: UFV, 403p, 2017.

ROWE, W. O.; REECE, E. W. **Anatomia Funcional e Fisiologia dos Animais Domésticos**. Grupo GEN, 2020. E-book. ISBN 9788527736886. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788527736886/>. Acesso em: 08 dez. 2023.

SAKOMURA, N. K.; SILVA, J. H. V.; COSTA, F. G. P.; FERNANDES, J. B. K.; HAUSCHILD, L. **Nutrição de não ruminantes**. Jaboticabal: Funep, 678 f. 2014.

SAMINATHAN, M.; MOHAMED, W. N. W.; NOH, A. M. D.; IBRAHIM, N. A.; FUAT, M. A.; DIAN, N. L. H. M.; RAMIAH, S. K. Potential of feeding crude palm oil and co-products of palm oil milling on laying hens' performance and egg quality: A review. **Journal of Oil Palm Research**, v. 32, n. 4, p. 547-558, 2020. DOI:10.21894/jopr.2020.0059

SANTOS, R. R.; SEGURA, C. J.; SARMIENTO, F. L. Egg quality during storage of eggs from hens fed diets with crude palm oil. **Revista MVZ Córdoba**, v. 24, n. 3, 2019.

SEEDOR, J. G. et al. The biophosphonate alendronate (MK – 217) inhibits bone loss due to ovariectomy in rats. **Journal of Bone and Mineral Research**, v. 6, n.4, p. 339-346. 1991.

SHAHIR, M; MOHAMADI, M.; GHAZI, S.; AFSARIAN, O.; MORADI, S. Effects of probiotic and calcium butyrate on production performance, egg quality, blood parameters and immune response in laying hens. **Journal of Veterinary Research**. v. 67, p. 313-323, 2012.

SILVA, E. I. C. **Anatomia e Fisiologia das Aves Domésticas-Anatomia da Galinha**. Instituto Federal de Pernambuco – Campus Belo Jardim. 2020.

SILVA, T. R. et al. **Acidificantes como aditivos em dietas de animais não ruminantes**. In: XI AMOSTRA CIENTÍFICA FAMEZ/UFMS, 11., 2018, Campo Grande. Anais... Campo Grande: XI MOSTRA FAMEZ, 2018.

SOBCZAK, A.; KOZŁOWSKI, K. Effect of dietary supplementation with butyric acid or sodium butyrate on egg production and physiological parameters in laying hens. **Archiv für Geflügelkunde**. v. 80, 2016. DOI: 10.1399/eps.2016.122.

SOLOMON, S. E. Egg and eggshell quality. London: Wolfe Publishing, 149 f., 1997.

SOLTAN, M. A. Effect of Dietary Organic Acid Supplementation on Egg Production, Egg Quality and Some Blood Serum Parameters in Laying Hens. **International Journal of Poultry Science**, v. 7, p. 613-621, 2008.

SONG, M.; JIAO, H.; ZHAO, J.; WANG, X.; LI, H.; WANG, P.; MA, B.; SUN, S.; LIN, H. Dietary Supplementation of Calcium Propionate and Calcium Butyrate Improves Eggshell Quality of Laying Hens in the Late Phase of Production. **The journal of poultry science**, v. 59, n. 1, p. 64–74, 2022. DOI: <https://doi.org/10.2141/jpsa.0200127>

STAMILLA, A.; et al. Effects of Microencapsulated Blends of Organics Acids (OA) and Essential Oils (EO) as a Feed Additive for Broiler Chicken. A Focus on Growth Performance, Gut Morphology and Microbiology. **Animals (Basel)**. v. 10, n. 3, p. 442. DOI: 10.3390/ani10030442.

VARGAS-RODRIGUEZ, L. M.; HERRERA, J. G.; MORALES, E. J.; ARCOS-GARCIA, J. L.; LOPEZ-POZOS, R.; RUELAS, G. Effect of Citric Acid, Phytase and Calcium in Diets of Laying Hens on Productive Performance, Digestibility and Mineral Excretion. **International Journal of Poultry Science**, v. 14, p. 222-228, 2015. DOI:10.3923/ijps.2015.222.228

VERTIPRAKHOV, V. G.; GROZINA, A. A.; BORISENKO, K.V. Effects of Biologically Active Substances on Blood's Biochemical Properties of Laying Hens in Pre- and Postprandial Phases. **Russ. Agricult. Sci.** v. 45, p. 470–473, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1068367419050185>

WANG, H.; et al. Effects of encapsulated essential oils and organic acids on laying performance, egg quality, intestinal morphology, barrier function, and microflora count of hens during the early laying period. **Poultry Science**. Ciência Avícola, v. 98, n. 12, 2019.

WANG, Y.; WANG, Y.; SU, C.; et al. Dietary cinnamaldehyde with carvacrol or thymol improves the egg quality and intestinal health independent of gut microbiota in post-peak laying hens. **Frontiers in Veterinary Science**. 2022. DOI: 10.3389/fvets.2022.994089.

WATANABE, G. C. A. **Anacardato de cálcio e suas associações com ácido cítrico na alimentação de poedeiras comerciais**. 2021. 101 f. Tese (Tese em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

WESLEY, R.; STADELMAN, W. Measurements of Interior Egg Quality. **Poultry Science**. v. 38, p. 474-481, 1959. DOI: 10.3382/ps.0380474.

WILKINSON, N.; HUGHES, R. J.; BAJAGAI, Y. S.; ASPDEN, W. J.; HAO VAN, T. T. MOORE RJ, STANLEY D. Reduced environmental bacterial load during early development and gut colonisation has detrimental health consequences in Japanese quail. **Helijon**. v. 16, n. 6, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03213>.

YANG, X. et al. Effects of encapsulated organic acids and essential oils on intestinal barrier, microbial count, and bacterial metabolites in broiler chickens. **Poultry Science**, v. 98, n. 7, p. 2858–2865, 2019.

YESILBAG, D.; COLPAN, I. Effects of Organic Acid Supplemented Diets on Growth Performance, Egg Production and Quality and on Serum Parameters in Laying Hens. **Revue De Médecine Vétérinaire**, v. 157, p. 280-284, 2006.

WALTON, K.D. et al. Vilification in the mouse: Bmp signals control intestinal villus patterning. **Development**, v. 143, p. 427-436, 2016.

ZHANG, L.; GE, J.; GAO, F. et al. Rosemary extract improves egg quality by altering gut barrier function, intestinal microbiota and oviductal gene expressions in late-phase laying hens. **J Animal Sci Biotechnol**, v. 14, n. 121, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40104-023-00>

ZHANG, Q.; ZHANG, K.; WANG, J.; BAI, S.; ZENG, Q.; PENG, H.; ZHANG, B.; XUAN, Y.; DING, X. Effects of coated sodium butyrate on performance, egg quality, nutrient digestibility, and intestinal health of laying hens. **Poultry science**, v. 101, n. 9, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102020>