

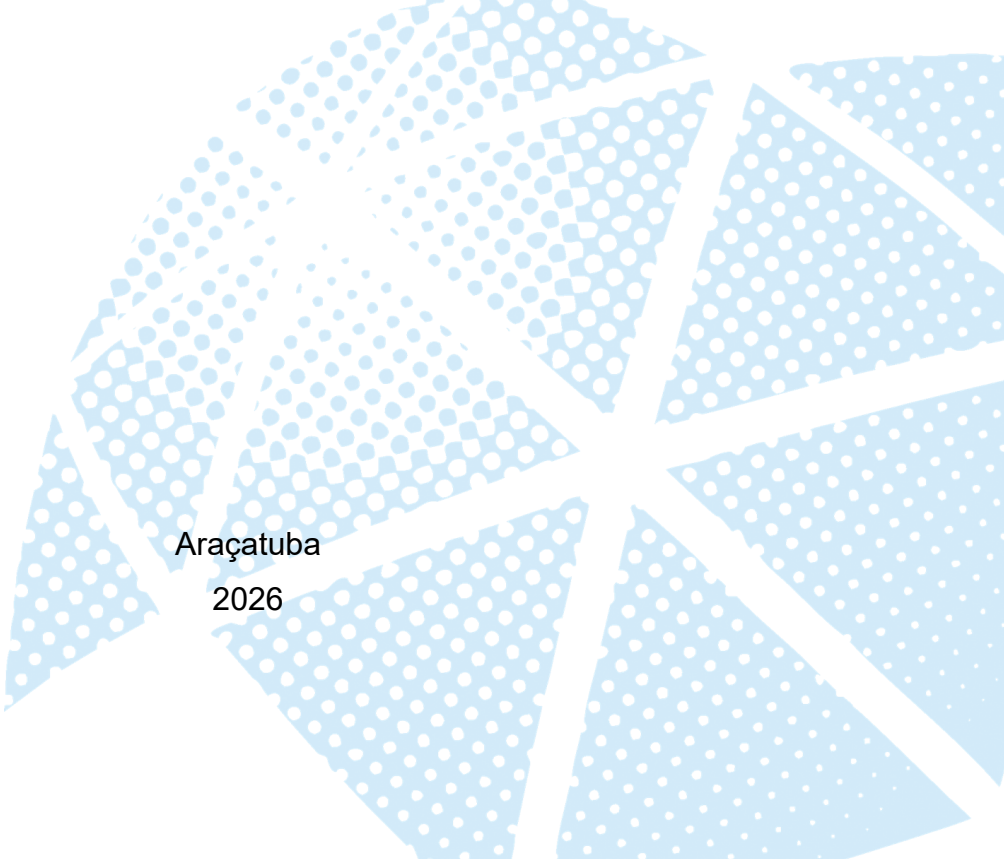
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
Faculdade de Medicina Veterinária - Campus de Araçatuba

CAMILA PEDROZO RODRIGUES FURLAN

**INGESTÃO DE ÁGUA E RELAÇÃO ENTRE CONSUMO E
DISPONIBILIZAÇÃO DE PROTEÍNA E ENERGIA NA PRODUÇÃO DE
FRANGO DE CORTE: REVISÃO SISTEMÁTICA E METANÁLISE**

Araçatuba

2026



CAMILA PEDROZO RODRIGUES FURLAN

**INGESTÃO DE ÁGUA E RELAÇÃO ENTRE CONSUMO E
DISPONIBILIZAÇÃO DE PROTEÍNA E ENERGIA NA PRODUÇÃO DE
FRANGO DE CORTE: REVISÃO SISTEMÁTICA E METANÁLISE**

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Medicina Veterinária, Araçatuba, para obtenção do título Doutora em Ciência Animal.

Área de Concentração: Medicina Veterinária Preventiva e Produção Animal.

Orientadora: Prof. Dra. Marina Rufino Salinas Fortes

Coorientadores: Prof. Dr. Marcos Franke Pinto e Prof. Dr. Max José de Araujo Faria Junior

Araçatuba

2026

F985i

Furlan, Camila Pedrozo Rodrigues

Ingestão de água e relação entre consumo e disponibilização de proteína e energia na produção de frango de corte : revisão sistemática e metanálise /

Camila Pedrozo Rodrigues Furlan. -- Araçatuba, 2026

93 f. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Medicina Veterinária, Araçatuba

Orientadora: Marina Rufino Salinas Fortes

Coorientador: Marcos Franke Pinto ; Max José de Araujo Faria Junior

1. Frango de corte. 2. Água. 3. Proteína. 4. Energia. 5. Consumo. I. Título.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A presente pesquisa, desenvolvida por meio de revisão sistemática e metanálise, investiga o índice de ingestão de água e o balanço de entrada e saída de energia e proteína na produção de frangos de corte, evidenciando a baixa eficiência desses fluxos sob a ótica da sustentabilidade. O impacto esperado desta investigação manifesta-se principalmente na ampliação e organização do conhecimento disponível sobre o tema, com reflexos científicos, técnicos, sociais, econômicos, educacionais, culturais e ambientais.

Do ponto de vista científico, o estudo contribui para o avanço do conhecimento ao consolidar, de forma quantitativa e metodologicamente rigorosa, evidências dispersas na literatura, oferecendo uma base robusta para futuras pesquisas em nutrição animal, eficiência produtiva e avaliação de impactos ambientais. No âmbito técnico, os índices apresentados oferecem suporte científico para futuras discussões voltadas ao aumento da eficiência e da sustentabilidade da cadeia produtiva avícola.

Sob a perspectiva social e econômica, a pesquisa insere-se no contexto da crescente demanda populacional por alimentos e do consequente aumento da pressão sobre os sistemas de produção de proteína animal, especialmente em relação ao uso de recursos naturais e aos custos associados à produção. Ao reunir e quantificar evidências sobre o uso de água e o balanço energético e proteico na produção de frangos de corte, o estudo oferece informações relevantes para a compreensão dos desafios enfrentados pela cadeia produtiva diante da necessidade de ampliar a oferta de alimentos de forma ambientalmente responsável e economicamente viável.

No campo educacional e cultural, o trabalho está de acordo a uma cultura científica orientada pela sustentabilidade, favorecendo a formação de profissionais e pesquisadores com visão crítica sobre o uso de recursos naturais e os impactos ambientais associados à produção de proteína animal.

O caráter inovador do estudo reside na integração de indicadores de consumo hídrico, energético e proteico por meio de metanálise, abordagem ainda pouco explorada de forma conjunta na literatura, especialmente no contexto da produção de frangos de corte.

A pesquisa apresenta relevante potencial de internacionalização, uma vez que a produção avícola e os desafios relacionados à eficiência no uso de recursos naturais constituem temas globais, discutidos em diferentes realidades produtivas e alinhados às agendas internacionais de sustentabilidade, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Simultaneamente, seus resultados possuem forte inserção local, regional e

nacional, ao fornecerem evidências científicas que podem ser utilizadas para o aprimoramento de políticas públicas e de estratégias de produção voltadas à sustentabilidade da produção agropecuária.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research, developed through a systematic review and meta-analysis, investigates water intake rates and the balance between energy and protein inputs and outputs in broiler production, highlighting the low efficiency of these flows from a sustainability perspective. The expected impact of this investigation is primarily reflected in the expansion and organization of the available knowledge on the subject, with scientific, technical, social, economic, educational, cultural, and environmental implications.

From a scientific standpoint, the study contributes to the advancement of knowledge by consolidating, in a quantitative and methodologically rigorous manner, evidence scattered throughout the literature, thereby providing a robust foundation for future research in animal nutrition, production efficiency, and environmental impact assessment. In technical terms, the indices presented offer scientific support for future discussions aimed at improving efficiency and sustainability within the poultry production chain.

From a social and economic perspective, this research is framed within the context of the growing global demand for food and the resulting increase in pressure on animal protein production systems, particularly regarding the use of natural resources and the costs associated with production. By compiling and quantifying evidence on water use and the energy and protein balance in broiler production, the study provides relevant information for understanding the challenges faced by the production chain in meeting the need to expand food supply in an environmentally responsible and economically viable manner.

In the educational and cultural domains, the work aligns with a scientific culture oriented toward sustainability, fostering the training of professionals and researchers with a critical perspective on the use of natural resources and the environmental impacts associated with animal protein production.

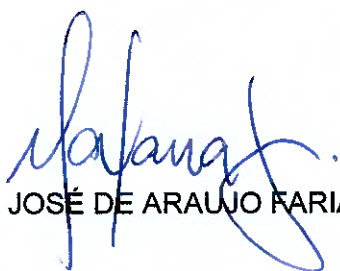
The innovative character of the study lies in the integration of indicators of water, energy, and protein consumption through meta-analysis—an approach that has so far been scarcely explored in an integrated manner in the literature, particularly in the context of broiler production.

The research presents significant potential for internationalization, as poultry production and the challenges related to the efficient use of natural resources constitute global issues, discussed across diverse production realities and aligned with international sustainability agendas, such as the Sustainable Development Goals (SDGs). At the same time, its results have strong local, regional, and national relevance, as they provide scientific

evidence that can be used to improve public policies and production strategies aimed at enhancing the sustainability of agricultural production.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE CAMILA PEDROZO RODRIGUES FURLAN, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL, DA FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA - CÂMPUS DE ARAÇATUBA.

Aos 20 de fevereiro de 2026, às 14h30min, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de CAMILA PEDROZO RODRIGUES FURLAN, intitulada "Ingestão de água e relação entre consumo e disponibilização de proteína e energia na produção de frango de corte: revisão sistemática e metanálise". A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Associado MAX JOSÉ DE ARAUJO FARIA JUNIOR (Participação Presencial) do(a) Departamento de Produção e Saúde Animal / UNESP / Câmpus de Araçatuba - FMVA, Prof. Ass. Dr. ANTONIO CARLOS DE LAURENTIZ (Participação Virtual) do(a) Departamento de Biologia e Zootecnia / UNESP / Câmpus de Ilha Solteira - FEIS, Profa. Dra. DEISE DEOLINDO SILVA (Participação Virtual) do(a) Curso de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas / Faculdade de Tecnologia de Garça - FATEC, Após a exposição pela doutoranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: Aprovada. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.



Prof. Associado MAX JOSÉ DE ARAUJO FARIA JUNIOR

Dedico esta tese aos meus filhos, Artur e Antonella,
para que lhes sirva de inspiração e para que vejam, no estudo, o
caminho para a liberdade e para a realização dos seus sonhos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concedido saúde, força e perseverança para concluir esta jornada.

Aos meus orientadores, Marcos, Marina e Max, pela confiança, atenção e ensinamentos compartilhados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo aporte financeiro para a realização deste trabalho.

Aos docentes e funcionários da instituição, pelo compromisso com a formação acadêmica de excelência, pela colaboração, atenção e profissionalismo.

Aos meus filhos, Artur e Antonella, por serem a razão maior de cada esforço e a inspiração mais bonita desta caminhada.

Ao meu marido, Alessandro, pelo amor, incentivo e parceria incondicionais.

Aos meus pais, Nelson e Antonia, pelo amor, pelos valores transmitidos e pelo constante incentivo aos estudos.

Ao meu irmão, Rodrigo, pelo carinho e pelas palavras de ânimo e escuta.

À minha família e aos meus amigos, por estarem sempre ao meu lado.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“O que somos é consequência do que pensamos.”
Buda

RESUMO

A crescente demanda por carne de frango impõe à cadeia produtiva o desafio de ampliar a oferta de alimentos de forma economicamente viável e ambientalmente sustentável. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo quantificar o índice de ingestão de água para dessedentação e avaliar o balanço de entrada e saída de energia e proteína na produção de frangos de corte, de modo a ampliar a compreensão da eficiência do sistema produtivo sob a ótica da sustentabilidade. Para tal, foram conduzidas duas revisões sistemáticas independentes seguidas de metanálises, sendo a primeira destinada à análise do consumo de água e a segunda à avaliação do consumo de energia e proteína no processo produtivo. A síntese quantitativa dos dados revelou que, em média, 3,26 litros de água são ingeridos para dessedentação por quilograma de carne produzida, embora esse valor se amplie significativamente quando considerada a totalidade da cadeia produtiva. Observou-se, adicionalmente, que o sistema produtivo demanda, em média, 862 g de proteína e 13.279 kcal de energia para a produção de 207 g de proteína e 2.849 kcal de energia na forma de tecido muscular da parte comestível da carne, evidenciando a magnitude dos fluxos de entrada e saída de nutrientes no processo produtivo. Esses resultados reforçam a importância da mensuração dos fluxos de água, energia e proteína como instrumento para a avaliação crítica da eficiência produtiva e dos impactos ambientais associados à produção de frangos de corte, contribuindo para o avanço do conhecimento científico e para o debate sobre a sustentabilidade da produção de proteína animal, especificamente, da proveniente da carne de frango de corte.

Palavras-chave: frango de corte; água; proteína; energia; consumo; produção.

ABSTRACT

The growing demand for chicken meat poses a major challenge to the production chain, requiring the expansion of food supply in an economically viable and environmentally sustainable manner. In this context, the present study aimed to quantify water intake for drinking and to evaluate the balance between energy and protein inputs and outputs in broiler production, in order to enhance the understanding of production system efficiency from a sustainability perspective. To this end, two independent systematic reviews followed by meta-analyses were conducted, the first focusing on water consumption and the second on the evaluation of energy and protein consumption in the production process.

The quantitative synthesis of the data revealed that, on average, 3.26 liters of water are ingested for drinking per kilogram of meat produced, although this value increases substantially when the entire production chain is considered. Additionally, the production system requires, on average, 862 g of protein and 13.279 kcal of energy to produce 207 g of protein and 2.849 kcal of energy in the form of muscle tissue, highlighting the magnitude of nutrient input and output flows within the production process. These results reinforce the importance of measuring water, energy, and protein flows as a tool for the critical assessment of production efficiency and the environmental impacts associated with broiler production, contributing to the advancement of scientific knowledge and to the debate on the sustainability of animal protein production, particularly that derived from broiler chicken meat.

Keywords: broiler chicken; water; protein; energy; consumption; production.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Perguntas PICO para os estudos.....	41
Quadro 2 - Sentenças de buscas por bases de dados para Estudo 1.	43
Quadro 3 - Sentenças de buscas por bases de dados para Estudo 2.	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Fluxo de seleção de artigos para a revisão - Estudo 1.	45
Figura 2 -	Fluxo da seleção de artigos para a revisão - Estudo 2.	50
Figura 3 -	Gráfico de funil para o risco de viés para o consumo de água por peso.....	56
Figura 4 -	Gráfico de floresta com média e intervalo de confiança (95%) para consumo de água por quilo de carne de frango produzido (L/kg).	57
Figura 5 -	Diagrama de dispersão para consumo de água versus peso do frango de corte.	59
Figura 6 -	Gráficos de funil e p-valores obtidos pelo teste de Egger para avaliação do viés para ração média consumida diariamente (a), conversão alimentar (b), proteína média consumida diariamente (c), proteína média produzida diariamente (d), energia média consumida diariamente (e) e energia média produzida diariamente (f).	62
Figura 7 -	Gráficos de floresta com média e intervalo de confiança (95%) para ração média consumida diariamente (a), conversão alimentar (b), proteína média consumida diariamente (c), proteína média produzida diariamente (d), energia média consumida (e) e energia média produzida (f).	66
Figura 8 -	Totais médios de proteína consumida e produzida.	72
Figura 9 -	Totais médios de energia consumida e produzida.	73
Figura 10 -	Médias de proteína consumida, proteína produzida e razão proteica por dia na produção de frango de corte.	75
Figura 11 -	Médias de energia consumida, energia produzida e razão energética por dia na produção de frango de corte.	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações dos artigos selecionados no Estudo 1.....	55
Tabela 2 - Informações dos artigos selecionados no Estudo 2.....	59
Tabela 3 - Avaliação de heterogeneidade entre os estudos.	65
Tabela 4 - Medidas resumo para variáveis analisadas no Estudo 2.	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGRIS	<i>International System for Agricultural Science and Technology</i>
BDPA	Base de dados da Pesquisa Agropecuária
BVS-Vet	Biblioteca Virtual em Saúde, Medicina Veterinária e Zootecnia
CA	Conversão Alimentar
CABI	<i>Centre for Agriculture and Bioscience International</i>
CAP	Consumo de Água por Peso
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEP	Consumo de Energia por Peso
CPP	Consumo de Proteína por Peso
CO ₂	Gás Carbônico
DECS	Descritores em Ciências da Saúde
EB	Energia Bruta
EL	Energia Líquida
EM	Energia Metabolizável
EMA	Energia Metabolizável Aparente
EMAn	Energia Metabolizável Aparente corrigida pelo Nitrogênio
EPd	Energia produzida diariamente
EPt	Energia produzida total
g	Gramas
GPd	Ganho de Peso diário
kcal	Quilocaloria
kg	Quilograma
L	Litro
MESH	<i>Medical Subject Headings</i>
MJ	Megajoule
ml	Mililitro

NH ₃	Amônia
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PICO	População, Intervenção, Comparação e Desfecho (<i>Outcome</i>)
PF	Peso Final
PPd	Proteína Produzida diariamente
PPt	Proteína Produzida total
RE	Razão energética
RP	Razão proteica
TACO	Tabela Brasileira de Composição de Alimentos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	CONSUMO DE ÁGUA NA PRODUÇÃO DE FRANGO DE CORTE.....	23
2.1.1	Consumo direto de água pelas aves	23
2.1.2	Consumo indireto de água pelas aves	26
2.1.3	Relação entre consumo de água na produção de frango de corte e meio ambiente	27
2.2	CONSUMO DE ENERGIA E PROTEÍNA NA PRODUÇÃO DE FRANGO DE CORTE.....	30
2.2.1	Consumo de energia na produção de frango de corte.....	31
2.2.2	Consumo de proteína na produção de frango de corte	32
2.2.3	Relação entre consumo de energia e proteína na produção de frango de corte e meio ambiente.....	33
2.3	REVISÃO SISTEMÁTICA.....	36
2.3.1	Etapas da revisão sistemática.....	36
2.4	METANÁLISE.....	38
3	MÉTODOS	41
3.1	ESTUDO 1: CONSUMO DE ÁGUA NA PRODUÇÃO DE FRANGO DE CORTE.....	42
3.1.1	Critérios de elegibilidade	42
3.1.2	Fontes de informação.....	42
3.1.3	Busca	42
3.1.4	Seleção dos estudos	44
3.1.5	Processo de coleta de dados.....	44
3.1.6	Lista dos dados.....	44
3.1.7	Medidas de sumarização	46
3.1.8	Risco de viés em cada estudo.....	47
3.1.9	Avaliação de heterogeneidade	47
3.2	ESTUDO 2: CONSUMO DE PROTEÍNA E ENERGIA	48
3.2.1	Critérios de elegibilidade	48
3.2.2	Fontes de informação.....	48

3.2.3	Busca	48
3.2.4	Seleção dos estudos	49
3.2.5	Processo de coleta de dados.....	50
3.2.6	Lista dos dados	50
3.2.7	Medidas de sumarização	53
3.2.8	Risco de viés em cada estudo	54
3.2.9	Avaliação de heterogeneidade	54
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
4.1	ESTUDO 1: CONSUMO DE ÁGUA	55
4.2	ESTUDO 2: CONSUMO DE PROTEÍNA E ENERGIA	59
5	CONCLUSÃO	77
6	PROPOSIÇÕES FUTURAS	78
	REFERÊNCIAS	80
	APÊNDICE A – PUBLICAÇÃO ORIGINADA.....	93

1 INTRODUÇÃO

A produção pecuária é um dos setores mais importantes do mundo no que diz respeito à economia, à segurança alimentar e aos meios de subsistência das pessoas (Hoque *et al.*, 2022). Fornecer alimentos de alta qualidade e de maneira ambientalmente sustentável para a crescente população mundial com recursos naturais limitados é um desafio para a pecuária (Castro *et al.*, 2023). O Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas estima que a população mundial cresça de 8,6 bilhões em 2030 para 9,8 bilhões em 2050 e, consequentemente, é esperado que a oferta alimentar necessite aumentar em 60% (Hiltz *et al.*, 2021). O crescimento acelerado e contínuo da população projetado para as próximas décadas elevará a demanda de alimentos em geral, o consumo mundial de carnes deve crescer 47,9 milhões de toneladas até 2034, e a carne de frango será a principal responsável por esse crescimento, com um aumento estimado em torno de 21% até 2034 (Organisation for Economic Co-operation and Development - OECD; Food and Agriculture Organization - FAO, 2025).

A carne e os ovos de aves oferecem um potencial considerável para satisfazer as necessidades alimentares humanas. Por um lado, existe uma demanda crescente por produtos de origem animal, mas, por outro, é importante considerar a contribuição negativa da produção pecuária para o meio ambiente. O sistema de produção avícola necessita fornecer alimentos suficientes, acessíveis e nutritivos para atender às expectativas dos consumidores, mas sem desconsiderar os aspectos sociais, econômicos e ambientais da sustentabilidade. Portanto, esforços foram e continuarão sendo realizados visando à melhoria da cadeia produtiva avícola (Castro *et al.*, 2023).

O processo produtivo da carne de frango possui relação direta com a disponibilidade de recursos hídricos, pois os frangos necessitam de grande quantidade de água para seu desenvolvimento (Saath; Fachinello, 2018). A água, além de ser um nutriente essencial para a vida, está envolvida em muitas funções fisiológicas importantes do organismo do animal (Soares *et al.*, 2007). Esse recurso finito e cada vez mais escasso, normalmente, é oferecida sem restrições para os frangos que, além de ser usado para dessedentação, também é empregado na produção da ração animal; como insumo para lavar instalações ou equipamentos, resfriar o ambiente, retirar dejetos, vacinação e no processo de industrialização da carne (Palhares, 2017). Portanto, a reflexão sobre gastos excessivos de água e a busca pelo uso consciente na produção de frango de corte são importantes porque melhoraria significativamente a eficiência e a sustentabilidade da produção e ajudariam a economizar

água potável para outros usos sociais (Aggrey *et al.*, 2023).

Além da água, outros elementos fundamentais na dieta do frango de corte são a proteína bruta e a energia, pois, em concentrações adequadas, são capazes de melhorar o desempenho produtivo e a qualidade da carcaça. Entretanto, estes são os componentes mais caros da ração na dieta do frango de corte e, além disso, sua redução pode gerar diminuição na excreção de nitrogênio e emissão de amônia e, conseqüentemente, minimizar o impacto ambiental da produção avícola (Liu; Castro; Kim, 2023). Assim sendo, o interesse em reduzir o teor destas substâncias nas dietas de frango de corte vem, principalmente, por questões ambientais (Alfonso-Avila *et al.*, 2022).

Há, no campo da medicina veterinária e zootecnia, muitos estudos científicos que trazem informações relacionadas ao consumo de água e quantidade de proteína e energia presentes na dieta na produção de frango de corte com foco em avaliar o desempenho produtivo desses animais ao consumirem água ou rações suplementadas com diferentes substâncias. Entretanto, estudos que relacionem o consumo de água, proteína ou energia com a sustentabilidade ambiental são encontrados em menor número.

Portanto, dar transparência quanto à quantidade de água ingerida pelo animal para a produção de carne de frango; à relação entre proteína consumida versus produzida e à relação entre energia consumida *versus* produzida são os objetivos deste estudo. Importante ressaltar que analisaremos o consumo de água apenas quanto à ingestão pelos frangos de corte, não abordaremos o consumo nas dimensões de produção de ração ou como insumo (lavar instalações ou equipamentos, resfriar ambiente retirar dejetos e outros destinos de uso).

As perguntas que nortearão o estudo são: “qual a quantidade de água ingerida pelo frango de corte por quilograma de carne produzida?” e “quanto é consumido e quanto é produzido de proteína bruta e de energia na produção de frango de corte?”. Para respondê-las, utilizaremos a revisão sistemática e a metanálise, técnica estatística que busca combinar resultados de trabalhos de estudos distintos, mas relacionados, em uma mesma condição de comparação, criando um índice geral para consolidar os resultados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONSUMO DE ÁGUA NA PRODUÇÃO DE FRANGO DE CORTE

A água é um recurso essencial e estratégico na produção avícola, sendo consumida de maneira direta e indireta. O consumo direto refere-se ao volume ingerido pelos frangos ao longo do ciclo produtivo e o consumo indireto refere-se ao volume necessário para manejo das instalações, produção de insumos (como ração) e processos industriais de abate e processamento (Gerbens-Leenes; Mekonnen; Hoekstra, 2013).

2.1.1 Consumo direto de água pelas aves

Frangos de corte apresentam uma taxa metabólica elevada, com rápido ganho de peso e alta eficiência alimentar, o que aumenta sua demanda hídrica, estima-se que os frangos consomem duas vezes mais água do que alimento, embora esta proporção possa ser maior em temperaturas elevadas. O aumento da produtividade e da eficiência alimentar observados nas linhagens modernas pode levar a uma maior demanda hídrica absoluta, mesmo com melhora na conversão de ração (Aggrey *et al.*, 2023).

A água desempenha múltiplas funções fisiológicas no organismo do animal, entre elas, regulação térmica corporal; digestão dos alimentos; absorção dos nutrientes no trato digestório; translocação dos compostos químicos no organismo; secreção de hormônios, enzimas e outras substâncias bioquímicas e equilíbrio osmótico com manutenção da pressão osmótica dentro e fora da célula (Lima; Pioczcovski, 2010). As galinhas podem sobreviver até 30 dias sem alimento, suportam a perda de 98% da gordura e 50% da proteína do corpo, no entanto, morrem quando perdem 20% da água presente em seu organismo (Vohra, 1980 *apud* Soares, 2010).

Devido ao papel essencial que a água desempenha na saúde e no desempenho do organismo das aves, para se atingir um desempenho ótimo, é essencial fornecer, em qualquer fase da criação, água abundante, limpa, fresca e sem contaminantes químicos ou biológicos (Barbosa *et al.*, 2015). Alterações bruscas no consumo de água requerem avaliação das causas, pois, caso o consumo esteja aquém do esperado, o desempenho das aves pode ser prejudicado (El Sabry *et al.*, 2023).

Diversos fatores influenciam o total de água consumida e o conhecimento desses é essencial para identificar pontos críticos de uso e desenvolver estratégias de mitigação. Entre

os fatores mais significativos, temos:

- a) **idade das aves:** o consumo de água é diretamente relacionado com a idade das aves. Segundo Aggrey *et al.* (2023), a demanda cresce com a idade em função do aumento de massa corporal e consumo de ração;
- b) **sexo das aves:** machos apresentam ingestão hídrica superior às fêmeas desde os primeiros dias de vida, conforme relatado na literatura. Contudo, essa variação no consumo não decorre apenas do sexo em si, mas está diretamente associada às diferenças no peso corporal e na composição dos tecidos entre machos e fêmeas em uma mesma idade. Aves com maior proporção de tecido adiposo tendem a apresentar menor teor de água na carcaça. Adicionalmente, o maior consumo de proteína observado em machos intensifica suas exigências metabólicas, elevando consequentemente a demanda por água (Viola *et al.*, 2011);
- c) **temperatura do ambiente:** a temperatura do ambiente tem um efeito direto sobre o consumo de água em aves, uma vez que o mecanismo de dissipação de calor em aves homeotérmicas baseia-se amplamente na perda de água por meio da respiração. Com o aumento da temperatura ambiente, a necessidade de ingestão hídrica também cresce, pois as aves precisam repor a água perdida durante a regulação térmica. Em condições de calor, o consumo de água pode ser significativamente maior em comparação com situações de temperatura amena, enquanto temperaturas mais baixas tendem a reduzir essa ingestão. Estudos sobre padrões de consumo de água em frangos demonstram que, em ambientes de temperaturas elevadas, há um aumento marcante na ingestão hídrica em função do estresse térmico e da maior demanda por termorregulação (Cuadrado; Dridi, 2024);
- d) **tipo de ração e teor de sódio/proteína:** de acordo com estudos clássicos de fisiologia nutricional, qualquer nutriente que eleve a excreção renal de minerais tende também a aumentar a necessidade de ingestão de água. Em produções avícolas, isso é especialmente observado em dietas com concentrações elevadas de sódio ou potássio, que estão correlacionadas com maior consumo hídrico pelas aves. Dessa forma, o ajuste do perfil mineral da dieta pode ser utilizado como uma estratégia de manejo para influenciar a ingestão de água. Além disso, a composição proteica da ração afeta diretamente os padrões de consumo de água, uma vez que dietas ricas em

proteína aumentam a formação de ácido úrico e exigem mais água para a sua excreção, resultando em maiores volumes de água ingerida. Estudos indicam que incrementos na proteína dietética estão associados a aumentos proporcionais no uso de água pelas aves (Leeson; Summers, 2005);

- e) **tipo de bebedouro utilizado:** a maneira como a água é disponibilizada e manejada na granja exerce influência significativa sobre o padrão de consumo hídrico das aves. Sistemas de bebedouros projetados para reduzir perdas e desperdícios, como os do tipo *nipple* (ou bebedouro de bico), também permitem um monitoramento mais preciso do volume ingerido (Viola *et al.*, 2011). Togashi *et al.* (2008) observaram que bebedouros tipo taça resultaram em um consumo superior da ordem de 35 ml/ave/dia, comparados às aves que utilizavam bebedouros tipo *nipple*, devido, em parte, ao desperdício (água derramada e contabilizada). Estudos comparativos indicam que o tipo de equipamento utilizado pode alterar consideravelmente o consumo de água, sendo observado, por exemplo, que bebedouros tipo *nipple* normalmente resultam em menores volumes de ingestão em relação a outros modelos, como bebedouros tipo taça, que tendem a favorecer maior ingestão diária per capita. Essas diferenças podem estar ligadas ao acesso à água, facilidade de uso e desperdício associado ao desenho do bebedouro, o que evidencia a importância do manejo adequado e da escolha do sistema de fornecimento no controle da ingestão hídrica em frangos de corte (Bruno *et al.*, 2011);
- f) **genética da ave:** a constituição genética das aves influencia diretamente o consumo de água em frangos de corte. Linhagens modernas, selecionadas para rápido ganho de peso e elevada eficiência alimentar, apresentam maior ingestão de água, uma vez que o aumento do consumo de alimento e crescimento corporal eleva as necessidades de água para suportar processos metabólicos, termorregulação e excreção. Além disso, diferenças entre linhagens podem alterar o balanço hídrico, pois algumas apresentam maior tendência a perdas de água por mecanismos fisiológicos específicos (Viola *et al.*, 2011);
- g) **densidade de alojamento:** a densidade de alojamento e as condições ambientais dos galpões influenciam significativamente o consumo de água. Elevadas densidades de aves podem causar estresse térmico, aumento da

temperatura corporal e competição por recursos, elevando a necessidade hídrica (Gholami *et al.*, 2020);

- h) **qualidade microbiológica e mineral da água:** a natureza físico-química e microbiológica da água tem impacto direto sobre a ingestão hídrica dos frangos. Altos níveis de sais minerais, pH inadequado ou contaminação por microrganismos patogênicos tornam a água menos palatável, podem desencadear doenças e interferir no desempenho; aves podem reduzir ou alterar o padrão de consumo em resposta à qualidade da água. A presença de biofilmes e contaminantes também pode limitar o fluxo em sistemas de bebedouros e favorecer a proliferação de bactérias, exigindo monitoramento e tratamentos adequados (Ebrahimi *et al.*, 2024);
- i) **nível de automação e manejo da granja:** práticas de manejo e níveis de automação influenciam o consumo de água de forma indireta, ao otimizar a distribuição, qualidade e acesso à água. Sistemas automatizados de distribuição hídrica e monitoração permitem detectar variações no consumo, reduzir desperdícios e manter condições ideais de pressão e fluxo. Além disso, um manejo eficiente minimiza estresse, melhora a saúde e bem-estar das aves e favorece o uso racional da água como recurso (Barbosa *et al.*, 2015).

2.1.2 Consumo indireto de água pelas aves

Na produção de frango de corte, além da água ingerida pela ave, é necessário volume de água para:

- a) **higienização e biossegurança:** a lavagem e desinfecção dos galpões entre lotes é um componente essencial para reduzir a pressão de patógenos. O volume consumido pode variar entre propriedades, mas normalmente situa-se entre 3 e 6 litros de água por ave produzida. Esse gasto inclui limpeza de bebedouros, comedouros, cortinas, equipamentos e piso (Barbosa *et al.*, 2015);
- b) **resfriamento:** em sistemas que utilizam resfriamento evaporativo, nebulizadores ou aspersores, há consumo adicional destinado ao controle de temperatura interna do galpão. Esse uso é especialmente relevante em regiões tropicais ou em períodos de forte calor. O gasto total durante o ciclo

pode alcançar 1 a 3 litros de água por frango (Lin *et al.*, 2018);

- c) **processamento industrial:** a etapa de abate e processamento é um dos pontos de maior utilização hídrica da cadeia. Na indústria, a água é aplicada em diversos processos, entre eles, escalda e depenagem, evisceração, lavagem de carcaças, pré-resfriamento ou resfriamento por imersão, higienização de equipamentos e superfícies, produção de gelo e outras finalidades. Aponta-se que o consumo industrial pode variar entre 18,9 e 37,8 litros/frango, representando parcela expressiva do total de água utilizada na produção avícola (National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods - NACMCF, 2022);
- d) **produção de insumos como ração e vacinas:** muito do consumo de água para produção de aves de corte se dá no cultivo dos grãos utilizados para produção da ração dos frangos de corte. Portanto, a gestão hídrica da atividade pecuária está intimamente relacionada à gestão hídrica da atividade agrícola, quanto mais eficiente for a agricultura no uso da água, menor será a quantidade de água utilizada para a produção das proteínas animais (Palhares, 2017).

2.1.3 Relação entre consumo de água na produção de frango de corte e meio ambiente

A disponibilidade de água doce está entre os desafios ambientais mais críticos do século XXI. O crescimento populacional que resulta no aumento da demanda por alimentos, energia e recursos naturais; a competição entre setores (agrícola, energético, industrial e urbano) pelo uso da água; a contaminação de rios, lagos e aquíferos por esgoto doméstico, resíduos industriais, fertilizantes e agrotóxicos; a ocupação de nascentes, desmatamento, erosão e assoreamento que comprometem a dinâmica dos ecossistemas aquáticos e as mudanças climáticas com aumento de temperatura, frequência e intensidade de secas e estiagens prolongadas e alterações na distribuição espacial e temporal das chuvas são fatores que têm pressionado os sistemas hídricos globais a níveis sem precedentes, acarretando na escassez hídrica (El Sabry *et al.*, 2023).

A escassez hídrica ocorre quando a demanda por água supera a disponibilidade natural e a capacidade de suprimento, o que pode ocorrer por limitações físicas de recursos ou por fatores socioeconômicos e de gestão. A disponibilidade de água adequada não depende apenas da quantidade total, mas também da qualidade, localização geográfica e infraestrutura

para seu uso e distribuição (Silva; Pereira, 2019). No contexto global, apenas cerca de 2,5% da água do planeta é doce, e uma parcela ainda menor está em forma acessível para usos humanos, como rios e lagos (Silva; Pereira, 2019). O Brasil, por sua vez, detém aproximadamente 12% dos recursos hídricos doces do mundo, apesar de desafios relacionados à sua distribuição e gestão em nível regional (Organisation for Economic Co-Operation and Development - OECD, 2015).

A escassez hídrica tende a se intensificar nas próximas décadas, pressionando recursos cada vez mais limitados e gerando custos adicionais de produção, redução de margens de lucro e a necessidade de investimentos em infraestrutura hídrica, o que representa um dos principais fatores limitantes para o desenvolvimento de setores econômicos como agricultura, indústria e urbano (World Bank, 2022). Modelos e projeções globais indicam que até 2050 uma parcela significativa do Produto Interno Bruto de vários países estará exposta a altos níveis de estresse hídrico, com efeitos diretos sobre a segurança alimentar, renda agrícola e estabilidade econômica (World Resources Institute - WRI, 2023). A falta de água suficiente e de qualidade também suscita problemas de saúde pública e racionamentos urbanos, associados a doenças transmitidas pela água e insegurança alimentar (Zimmermann *et al.*, 2025). Em situações extremas, a redução de recursos hídricos contribui para a migração forçada de populações vulneráveis, ampliando desafios sociais e pressionando serviços urbanos (International Organization for Migration - IOM, 2021).

Regiões que dependem fortemente da água para irrigação ou produção pecuária podem enfrentar dificuldades econômicas graves e intensificação das desigualdades sociais, uma vez que a escassez hídrica impacta negativamente a produtividade agrícola, os rendimentos e a estabilidade econômica (Biswas *et al.*, 2025). Em sistemas intensivos, como avicultura, a escassez hídrica pode comprometer critérios sanitários, eficiência produtiva e competitividade no mercado internacional e pode ser um dos principais fatores limitantes para sua expansão (El Sabry *et al.*, 2023). Portanto, é extremamente importante que governos, indústrias, produtores rurais e sociedade civil adotem estratégias integradas de mitigação, tecnologias de uso eficiente e políticas públicas robustas. A sobrevivência dos sistemas produtivos — incluindo a avicultura — dependerá da capacidade de adaptação e inovação diante desse cenário.

2.1.3.1 *Medidas para reduzir o impacto ambiental do uso de água na produção de frango de corte*

A avicultura intensiva, quando conduzida sem manejo eficiente da água, pode contribuir para a poluição hídrica, intensificar a pressão sobre os recursos hídricos e ampliar riscos à saúde humana e ambiental. A expansão global da produção avícola ocorre em um cenário de crescente escassez de água, exigindo soluções produtivas que reduzam a demanda hídrica e os impactos ambientais. O setor enfrenta desafios como a competição por água com outras cadeias agropecuárias e setores urbanos, os efeitos das mudanças climáticas e de eventos extremos sobre a disponibilidade hídrica, a crescente exigência por certificações ambientais, a necessidade de modernização das plantas industriais e a pressão por sustentabilidade imposta por consumidores e mercados internacionais (Biswas *et al.*, 2025). Diante desse cenário, tornam-se essenciais medidas para garantir sustentabilidade hídrica da produção avícola:

- a) monitoramento contínuo do consumo de água pelas aves e por lote, para detectar desperdícios, vazamentos, regulação inadequada de bebedouros e pressão da água, com uso de sensores inteligentes (Viola *et al.*, 2011);
- b) uso de tecnologias e sistemas de fornecimento eficientes, como por exemplo, bebedouros tipo *nipple* que reduzem desperdícios (Viola *et al.*, 2011);
- c) reúso de água tratada em processos não sensíveis e/ou captação e utilização da água da chuva, medida que traz, entre seus benefícios, a redução do consumo da água potável da propriedade; contribuindo com a auto-suficiência e com a postura ambientalmente correta no meio rural. A implementação deste sistema constitui alternativa para a dessedentação de aves, porém requer planejamento e obediência a critérios indispensáveis (Rodrigues; Wander; Sousa, 2025);
- d) avaliação da qualidade da água de bebida para assegurar saúde e desempenho das aves (Ebrahim *et al.*, 2024);
- e) adoção de práticas de “pegada hídrica” e Análise de Ciclo de Vida, ou seja, estimar o consumo de água incorporada nos insumos (ração, energia, serviços), no ciclo de vida da carne, e não apenas o consumo direto. Isso permite identificar os maiores pontos de consumo hídrico e orientar políticas de gestão e mitigação (Hargitai; Sebestyén; Somogyi, 2024);

- f) incentivo à inovação genética ou manejo zootécnico que melhore a eficiência de conversão de água por peso produzido da ave sem comprometer seu bem-estar, ou seja, aves que produzam mais carne por unidade de água consumida (El Sabry *et al.*, 2023);
- g) recirculação de água em processos industriais, adoção de tecnologias de baixo desperdício, tratamento de efluentes e manejo adequado de resíduos desempenham papel crucial na redução do consumo total (Campeol *et al.*, 2025).

O consumo de água na produção de frangos de corte é resultado da integração de múltiplas etapas da cadeia. Compreender os volumes utilizados, suas variabilidades e suas interdependências é essencial para o desenvolvimento de estratégias de uso racional do recurso e para a construção de modelos de produção mais sustentáveis. O avanço tecnológico, associado ao manejo preciso, representa a base para que o setor avícola continue competitivo e ambientalmente responsável. Assim, estudos aprofundados sobre o consumo hídrico tornam-se fundamentais não apenas para fins acadêmicos, mas também para o planejamento e inovação dentro da cadeia produtiva (Carra *et al.*, 2020).

2.2 CONSUMO DE ENERGIA E PROTEÍNA NA PRODUÇÃO DE FRANGO DE CORTE

O desempenho produtivo de frangos de corte é fortemente determinado pela oferta e pela qualidade da energia e das proteínas na dieta, a relação energia e proteína é um dos principais determinantes da eficiência produtiva e do custo de produção, constituindo cerca de 90% do custo total das dietas para frangos de corte (Musigwa *et al.*, 2024).

Os efeitos produtivos do consumo de energia e proteína na produção de frango de corte estão relacionados ao ganho de peso, conversão alimentar, composição corporal e qualidade da carcaça do animal (Sadeghi *et al.*, 2024). Dietas com níveis energéticos demasiado elevados, apesar de elevarem o ganho potencial, aumentam o custo da ração por unidade de energia, enquanto dietas com proteínas acima das exigências podem elevar de forma desproporcional os gastos sem melhorar a produtividade, devido à excreção de nitrogênio ineficientemente utilizada pelo organismo das aves. Ou seja, níveis excessivos desses elementos podem levar a consequências econômicas e ambientais negativas, enquanto quantidades insuficientes prejudicam o crescimento e a eficiência alimentar (Musigwa *et al.*, 2024). Portanto, o ajuste preciso da densidade energética e proteica das dietas é essencial para alcançar elevado desempenho zootécnico e sustentabilidade nos sistemas avícolas

modernos.

2.2.1 Consumo de energia na produção de frango de corte

A energia constitui possui relevância quantitativa nas dietas de frangos de corte, sendo determinante para o crescimento, manutenção, eficiência produtiva e viabilidade econômica dos sistemas avícolas (Rostagno, 2017). A energia ingerida é utilizada para sustentar funções vitais, como respiração, circulação, termorregulação e atividade metabólica basal. Após o atendimento dessas necessidades básicas, a energia remanescente é direcionada à deposição de tecidos corporais, principalmente músculo e, secundariamente, gordura (Aviagen, 2022).

Além disso, a densidade energética da dieta exerce forte influência sobre o consumo voluntário de ração. Frangos ajustam naturalmente sua ingestão para atender suas necessidades energéticas; assim, dietas com maior concentração de energia promovem redução do consumo de ração, enquanto dietas menos energéticas induzem maior ingestão. Esse mecanismo afeta diretamente a eficiência alimentar, a taxa de crescimento e o custo de produção (Khalil *et al.*, 2023). A energia também regula a eficiência de utilização da proteína e dos aminoácidos. Quando a dieta apresenta suprimento energético insuficiente, parte da proteína ingerida passa a ser utilizada como fonte de energia, reduzindo sua disponibilidade para deposição muscular e comprometendo o desempenho produtivo. Em contrapartida, excesso de energia em relação à proteína favorece deposição de gordura, prejudicando a conversão alimentar e a qualidade da carcaça (Rostagno, 2017).

Do ponto de vista produtivo, dietas adequadamente balanceadas em energia permitem que os frangos atinjam mais rapidamente o peso de abate, reduzindo o tempo de criação, o consumo total de ração e os custos associados à ambiência, como aquecimento, ventilação e iluminação. Portanto, o correto fornecimento de energia está diretamente associado à eficiência biológica e econômica da produção (Aviagen, 2022).

Há diferentes sistemas energéticos para a avaliação energética de rações para animais. Entre eles, temos a energia bruta (EB), a energia metabolizável (EM), a energia metabolizável aparente (EMA) e a energia metabolizável aparente corrigida pelo nitrogênio (EMAn). A EB é o total de energia contida no alimento. Porém, nem toda EB consumida é retida pelo animal, pois ocorrem perdas nas fezes, na urina, gases e calor. Com base nessas perdas, outros tipos de energia foram definidos, como a energia metabolizável (EM), que é comumente utilizada nas formulações comerciais das rações como base para balanceamento

energético na nutrição avícola. A EM é a diferença entre a ingestão de EB e as perdas fecais, urinárias e gasosas e é usado como um conceito abrangente, enquanto EMA e EMAn são definições operacionais obtidas experimentalmente (Noblet *et al.*, 2024). A EMA é forma mais simples e amplamente utilizada de determinação da EM em aves e é calculada com base na diferença entre a energia bruta ingerida e a energia bruta excretada. O termo “aparente” é utilizado porque a EMA não corrige a energia proveniente de perdas endógenas, como células descamadas do intestino, secreções digestivas e compostos nitrogenados endógenos. Parte da energia excretada não vem diretamente do alimento e sim do metabolismo do próprio animal, mas entram no cálculo, subestimando o real valor energético do ingrediente, ou seja, fazendo a energia parecer menor do que realmente é (Khalil *et al.*, 2023). A EMAn ajusta a EMA para um balanço nitrogenado nulo, corrigindo a energia associada à retenção ou excreção de nitrogênio e, com isso, elimina variações relacionadas ao nível de proteína da dieta e à taxa de crescimento da ave, permitindo comparações mais precisas entre ingredientes e dietas (Rostagno, 2017). Historicamente, a avicultura utiliza mais EM ou EMAn por praticidade, porém, a energia líquida (EL) – que é a diferença entre a ingestão de EM e o incremento de calor - vem ganhando espaço em pesquisas modernas porque melhora a previsão de desempenho, reflete melhor a eficiência metabólica dos nutrientes e permite formulações mais sustentáveis e precisas (Noblet *et al.*, 2024).

2.2.2 Consumo de proteína na produção de frango de corte

A proteína constitui um dos principais componentes nutricionais das dietas de frangos de corte, sendo essencial para o crescimento, manutenção e desempenho produtivo das aves. Seu consumo adequado é determinante para a deposição de tecido muscular, desenvolvimento de órgãos, síntese enzimática, produção de hormônios e funcionamento do sistema imunológico. Em sistemas intensivos de produção, o correto suprimento proteico influencia diretamente a eficiência zootécnica e a rentabilidade da atividade (Rostagno, 2017). Tradicionalmente, as dietas são formuladas com base no teor de proteína bruta (PB).

Na produção de frangos de corte, a principal forma de obtenção de proteína ocorre por meio da ingestão de proteína dietética, fornecida principalmente pelas rações formuladas à base de ingredientes vegetais proteicos, com destaque para o farelo de soja, que representa a principal fonte de proteína na alimentação avícola em nível mundial devido ao seu elevado teor proteico, excelente perfil de aminoácidos e alta digestibilidade para aves, entretanto, outros ingredientes proteicos, como farelo de algodão, farinha de insetos e subprodutos

agroindustriais possam ser utilizados. O consumo dessa proteína permite o fornecimento dos aminoácidos necessários para o crescimento, manutenção e produção de tecidos corporais, especialmente o tecido muscular, que constitui o principal produto comercial da cadeia avícola (Rostagno, 2017).

Após a ingestão, a proteína dietética sofre digestão no trato gastrointestinal, sendo hidrolisada em peptídeos e aminoácidos livres pelas enzimas digestivas. Esses aminoácidos são absorvidos pela mucosa intestinal e utilizados na síntese proteica corporal, formação de enzimas, hormônios, anticorpos e outras moléculas essenciais ao metabolismo das aves. O frango não é capaz de sintetizar aminoácidos essenciais em quantidades suficientes para atender às suas exigências fisiológicas. Assim, esses aminoácidos devem ser obrigatoriamente fornecidos pela dieta. Dessa forma, a alimentação representa a via exclusiva e determinante de fornecimento de proteína ao frango de corte (Alabi; Adedokun, 2024).

O consumo inadequado de proteína compromete o desempenho das aves. Deficiência proteica reduz o ganho de peso, prejudica a conversão alimentar e limita a deposição de músculo. Em contrapartida, o excesso de proteína não melhora o desempenho, sendo metabolicamente ineficiente, pois o nitrogênio excedente é desaminado e excretado, elevando os custos da dieta e aumentando a carga de nitrogênio no ambiente (Araújo *et al.*, 2024).

2.2.3 Relação entre consumo de energia e proteína na produção de frango de corte e meio ambiente

A produção intensiva de frangos de corte, embora eficiente em fornecer proteína animal para alimentação humana, também gera impactos ambientais significativos que ocorrem ao longo de toda a cadeia produtiva, desde a produção de ingredientes para ração até a gestão de resíduos e incluem emissão de gases com efeito estufa, poluição atmosférica por amônia, eutrofização e uso de recursos naturais (Pacheco; Moita Neto; Silva, 2022). Portanto, a produção moderna de frangos de corte enfrenta o desafio de manter elevado desempenho, controlar custos nutricionais e reduzir impactos ambientais. Nesse cenário, o consumo de proteína e energia assume papel central, pois representa os principais componentes da formulação e está diretamente relacionado às emissões de nitrogênio, ao uso de recursos naturais e à eficiência metabólica (Rostagno, 2017).

Uma das principais fontes de impacto ambiental da avicultura está ligada à produção de ração, que representa a maior parte da energia e da proteína consumidas pelos

frangos. Ingredientes como milho e farelo de soja — que fornecem, respectivamente, energia e proteína — têm impactos ambientais associados à sua produção agrícola, como uso intensivo de solo e água, emissões de gás carbônico (CO₂) e poluição por fertilizantes e pesticidas. Estudos que avaliam a produção de ração por meio da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida indicam que os maiores impactos ambientais estão associados justamente ao uso de ingredientes de alto conteúdo energético e proteico, em especial quando estes são transportados por longas distâncias ou advêm de sistemas agrícolas com alta intensidade de insumos químicos e conversão de uso do solo (Pacheco; Moita Neto; Silva, 2022).

O consumo de proteína na dieta dos frangos de corte tem implicações ambientais relevantes porque grande parte do nitrogênio presente nessa proteína não é retido pelos animais e é excretada. Estimativas mostram que aves podem excretar entre 40% e 60% do nitrogênio ingerido, e uma parte significativa desse nitrogênio é perdida por volatilização como amônia (NH₃), que contribui para a formação de partículas finas na atmosfera, acidificação do solo e eutrofização de corpos d'água. A amônia é um poluente atmosférico importante e está associada tanto à qualidade do ar nas proximidades de granjas quanto à degradação ambiental mais ampla (Rauglaudre *et al.*, 2023).

Além disso, a produção de energia utilizada na fabricação, transporte e processamento de ingredientes de ração contribui de forma importante para as emissões de gases com efeito estufa. Embora a emissão de gases com efeito estufa por frangos seja, em termos comparativos, menor do que em sistemas de produção de carne bovina, a magnitude absoluta ainda é relevante devido às quantidades produzidas globalmente e ao uso intensivo de fontes energéticas fósseis na agricultura e na logística da cadeia alimentar (Attia *et al.*, 2024).

Em síntese, os impactos ambientais relacionados ao consumo de energia e proteína na produção de frangos de corte decorrem principalmente da produção de ração e da excreção de nitrogênio não metabolizado (Pacheco; Moita Neto; Silva, 2022).

2.2.3.1 Medidas para reduzir o impacto ambiental do uso de energia e proteína na produção de frango de corte

Entre as principais medidas para reduzir o impacto ambiental do uso de energia e proteína nas dietas de frangos de corte envolvem:

- a) **redução do nível de proteína bruta com balanceamento de aminoácidos digestíveis:** dietas com níveis reduzidos de proteína, desde que balanceada

com aminoácidos essenciais ou sintéticos para atender às exigências nutricionais das aves, resultam em menor excreção de nitrogênio e em consequente redução de emissão de amônia e óxidos de nitrogênio, além de diminuir a necessidade de utilização de farelo de soja, um ingrediente associado a impactos ambientais elevados devido ao desmatamento e ao uso intensivo de fertilizantes na sua produção (Alabi; Adedokun, 2024). Além disso, esses programas nutricionais de baixo teor de proteína são frequentemente associados à melhoria na eficiência de utilização de aminoácidos, dado que a inclusão de aminoácidos cristalinos permite formular dietas com menor proteína bruta sem comprometer o desempenho zootécnico das aves, reduzindo assim a quantidade de nitrogênio excretado por unidade de proteína depositada no organismo. Essa redução nas perdas nitrogenadas melhora a qualidade do ambiente no interior e arredores das instalações de criação, além de reduzir efeitos negativos sobre a atmosfera e a água (Rauglaudre *et al.*, 2023);

- b) **uso de enzimas exógenas e aditivos nutricionais:** a suplementação nutricional com enzimas exógenas e ingredientes alternativos (como por exemplo, xilanase, fitase, protease, amilase) permite uma melhoria no aproveitamento da proteína e da energia dos ingredientes, reduzindo as quantidades necessárias de insumos de alto impacto ambiental e diminuindo as perdas de nutrientes no ambiente (Salahi *et al.*, 2025);
- c) **formulação de dietas com ingredientes de menor impacto:** a adoção de fontes alternativas de proteína com ingredientes locais ou mais sustentáveis, como proteína de insetos, algas ou proteínas microbianas, pode contribuir para a redução da dependência de ingredientes tradicionais (milho e farelo de soja), diminuindo a pegada de carbono associada ao transporte e à produção agrícola intensiva (Matton *et al.*, 2025). Estudos recentes indicam que dietas formuladas com combinações ajustadas de energia e proteína podem manter desempenho produtivo semelhante ao padrão tradicional, enquanto reduzem a pegada ambiental da alimentação das aves;
- d) **estratégias de alimentação de precisão:** o uso de estratégias de alimentação de precisão que ajusta a composição energética e proteica das dietas conforme a fase de desenvolvimento das aves e pela genética (linhagens modernas de rápido crescimento têm exigências energéticas e

proteicas diferentes das linhagens antigas) pode aumentar a eficiência de utilização dos nutrientes e reduzir a quantidade total de ração necessária por quilograma de ganho de peso. Isso gera menor desperdício de nutrientes, redução nas emissões de nitrogênio e outros poluentes, além de melhorar a eficiência global de produção (Khalil *et al.*, 2023).

Essas práticas, quando associadas a manejo adequado de dejetos e avaliação do ciclo de vida dos ingredientes, contribuem para uma produção avícola mais sustentável, conciliando desempenho produtivo, eficiência econômica e responsabilidade ambiental.

2.3 REVISÃO SISTEMÁTICA

A revisão sistemática consiste em um método científico rigoroso de identificação, seleção, avaliação crítica e síntese de evidências disponíveis sobre uma questão de pesquisa claramente formulada. Diferentemente das revisões narrativas tradicionais, a revisão sistemática utiliza procedimentos explícitos e reprodutíveis, visando minimizar vieses e aumentar a confiabilidade dos resultados obtidos (Galvão; Pansani; Harrad, 2015).

Esse tipo de revisão é amplamente empregado nas ciências da saúde, ambientais, sociais e agrárias, pois permite integrar resultados de múltiplos estudos primários, oferecendo uma base sólida para a tomada de decisão científica e política. Segundo Higgins *et al.* (2022), a revisão sistemática é considerada o mais alto nível de evidência científica, especialmente quando associada à metanálise.

A principal contribuição da revisão sistemática está na sua capacidade de consolidar o conhecimento disponível sobre determinado tema, identificar lacunas científicas e orientar futuras pesquisas. Além disso, revisões sistemáticas subsidiam políticas públicas, diretrizes clínicas e decisões técnicas, fornecendo uma visão abrangente e crítica das evidências existentes (Roever, 2020).

Em áreas como produção animal, meio ambiente e saúde pública, esse tipo de revisão é essencial para avaliar impactos, eficiência de tecnologias e sustentabilidade de práticas produtivas, promovendo avanços científicos e sociais de maneira fundamentada.

2.3.1 Etapas da revisão sistemática

A condução de uma revisão sistemática envolve etapas bem definidas. Essas etapas asseguram transparência, reprodutibilidade e confiabilidade ao processo de revisão,

características fundamentais da ciência baseada em evidências.

Inicialmente, é necessário formular a pergunta de pesquisa. A definição clara e estruturada da pergunta de pesquisa constitui uma etapa essencial para o sucesso de uma revisão sistemática, pois orienta todas as fases subsequentes do estudo, desde a estratégia de busca até a síntese dos resultados. Entre os modelos mais amplamente utilizados para esse fim destaca-se a estratégia PICO, acrônimo para *População (P)*, *Intervenção (I)*, *Comparação (C)* e *Desfecho (Outcome – O)*. Segundo Santos, Pimenta e Nobre (2007), o uso da estratégia PICO possibilita a construção de perguntas de pesquisa específicas, direcionadas e operacionalizáveis, facilitando a identificação de descritores, a formulação de estratégias de busca e a seleção de estudos relevantes. A aplicação do modelo reduz ambiguidades, aumenta a precisão da revisão e contribui para a reprodutibilidade do método científico.

Segundo Roever (2020), os métodos da revisão sistemática envolvem os seguintes passos:

- a) **definição dos critérios de elegibilidade:** consiste na definição dos critérios de inclusão e exclusão dos estudos a serem selecionados;
- b) **busca sistematizada da literatura:** busca deve ser realizada em múltiplas bases de dados científicas. É necessário informar as bases de dados consultadas, os termos de busca e o período de pesquisa em que foram verificados os estudos;
- c) **seleção dos estudos:** entre os estudos identificados na busca sistematizada, os duplicados devem ser removidos. Em seguida, analisa-se título e resumo dos estudos e eliminam-se os que não atenderem aos critérios de inclusão. Por fim, os estudos remanescentes são analisados em sua totalidade e, novamente, excluem-se os que não atenderem aos critérios de elegibilidade;
- d) **coleta dos dados:** é necessário descrever quais dados foram extraídos, assim como as estatísticas sumárias demonstradas nos artigos;
- e) **avaliação da qualidade metodológica dos estudos incluídos:** a avaliação da qualidade metodológica dos estudos incluídos em uma revisão sistemática é a análise do risco de viés individual de cada estudo. Essa etapa permite identificar limitações metodológicas que podem comprometer a validade interna das evidências, assegurando maior confiabilidade às conclusões do estudo (Higgins *et al.*, 2022);
- f) **análise dos dados:** a análise dos dados pode assumir duas formas principais: qualitativa (narrativa) ou quantitativa (metanálise). Elas não são excludentes,

na prática, a revisão sistemática quase sempre contém uma síntese qualitativa e, quando possível, uma quantitativa.

A análise qualitativa ocorre quando os resultados dos estudos incluídos são organizados, comparados e interpretados de forma descritiva, sem a combinação estatística dos dados e é utilizada quando os estudos são muito heterogêneos, os dados são apresentados de forma incompatível para agregação estatística e os desfechos não podem ser padronizados. Nessa etapa, o pesquisador descreve características dos estudos, compara métodos, populações e contextos e discute tendências, convergências e divergências dos achados (Roever, 2020; Vieira, 2017).

A análise quantitativa é chamada de metanálise e pode ser realizada quando os estudos apresentam dados comparáveis e permite a combinação estatística dos resultados. Nesse caso, os dados extraídos dos estudos primários são padronizados, ponderados pelo tamanho amostral e pela variância e integrados por modelos estatísticos (efeitos fixos ou aleatórios). A metanálise produz estimativas combinadas de efeito, avaliação de heterogeneidade e análise de viés de publicação (Roever, 2020; Vieira, 2017).

2.4 METANÁLISE

A metanálise consiste em um procedimento estatístico que integra quantitativamente os resultados de múltiplos estudos independentes que investigam uma mesma questão de pesquisa, produzindo uma estimativa combinada do efeito de uma intervenção, associação ou fenômeno. Esse método amplia o poder estatístico das análises, aumenta a precisão das estimativas e permite a identificação de padrões consistentes ou divergentes entre os estudos incluídos, constituindo uma das principais ferramentas da ciência baseada em evidências (Borenstein *et al.*, 2009; Hedges; Olkin, 1985).

Diferentemente da síntese qualitativa, a metanálise possibilita avaliar a magnitude do efeito de forma objetiva e mensurável, além de explorar fontes de variação entre os resultados, como diferenças metodológicas, características populacionais e contextos experimentais (Higgins *et al.*, 2022). Assim, a metanálise fornece uma visão integrada do conhecimento científico disponível, reduzindo incertezas e apoiando decisões técnicas e políticas fundamentadas.

A condução de uma metanálise envolve etapas estruturadas que garantem robustez, transparência e rigor científico às evidências produzidas. As etapas incluem a definição clara da pergunta de pesquisa, a seleção criteriosa dos estudos, a extração

padronizada de dados, a avaliação do risco de viés, a análise da heterogeneidade e a escolha do modelo estatístico mais adequado.

Os principais modelos utilizados são o modelo de efeitos fixos e o modelo de efeitos aleatórios e a escolha pelo modelo adequado depende da suposição adotada acerca da distribuição do verdadeiro efeito entre os estudos incluídos. No modelo de efeitos fixos, assume-se que todos os estudos estimam um único efeito verdadeiro comum, sendo as diferenças observadas entre eles atribuídas exclusivamente ao erro amostral (variabilidade intraestudo). Nesse modelo, considera-se que os estudos são funcionalmente idênticos do ponto de vista metodológico e populacional, e o efeito combinado representa a melhor estimativa desse efeito único. Por outro lado, o modelo de efeitos aleatórios parte do pressuposto de que os estudos não compartilham um único efeito verdadeiro, mas sim que cada estudo estima efeitos verdadeiros distintos, distribuídos em torno de uma média geral. Nesse caso, além da variabilidade intraestudo, incorpora-se a variabilidade entre estudos (heterogeneidade), representada pela variância entre estudos. Assim, o modelo de efeitos aleatórios tende a produzir intervalos de confiança mais amplos e estimativas mais conservadoras quando há heterogeneidade (Borenstein *et al.*, 2009). A decisão sobre qual modelo utilizar deve considerar tanto critérios estatísticos — como os valores de I^2 e o teste Q de Cochran — quanto aspectos conceituais relacionados às diferenças metodológicas, populacionais e contextuais entre os estudos incluídos. Em situações nas quais há evidência de heterogeneidade moderada ou elevada, recomenda-se a adoção do modelo de efeitos aleatórios, por oferecer uma estimativa mais realista do efeito médio na presença de variabilidade entre estudos (Higgins *et al.*, 2022).

Na metanálise, é fundamental avaliar a presença de viés de publicação, fenômeno que ocorre quando estudos com resultados estatisticamente significativos possuem maior probabilidade de serem publicados do que estudos com resultados nulos ou negativos. A investigação desse tipo de viés é comumente realizada por meio da construção de gráficos de funil e pela aplicação do teste de Egger, que avalia assimetrias estatísticas no gráfico de funil, indicando possível influência de viés de publicação (Egger *et al.*, 1997). O gráfico de funil representa a relação entre o tamanho do efeito dos estudos e sua precisão, sendo esperada uma distribuição simétrica na ausência de viés. Assimetrias relevantes podem indicar viés de publicação, viés de seleção ou heterogeneidade não explicada entre os estudos (Sutton *et al.*, 2000).

Outro componente essencial da avaliação de qualidade na metanálise refere-se à análise da heterogeneidade entre os estudos incluídos, que corresponde ao grau de variação

dos resultados além do esperado pelo acaso. A heterogeneidade é avaliada estatisticamente por meio do teste Q de Cochran, que verifica se as diferenças observadas entre os efeitos estimados dos estudos são maiores do que aquelas atribuíveis à variabilidade amostral, e pela estatística I^2 , que quantifica a proporção da variabilidade total dos resultados atribuível à heterogeneidade real e não ao erro aleatório (Higgins *et al.*, 2003). Valores de I^2 próximos de 25% indicam baixa heterogeneidade, em torno de 50% heterogeneidade moderada e superiores a 75% heterogeneidade elevada, orientando a escolha entre modelos de efeitos fixos ou aleatórios e influenciando diretamente a interpretação dos resultados da metanálise (Higgins *et al.*, 2022).

Portanto, a metanálise representa uma abordagem metodológica essencial para a consolidação do conhecimento científico, proporcionando sínteses quantitativas robustas, transparentes e altamente informativas, especialmente quando integrada a uma revisão sistemática conduzida de forma rigorosa (Vieira, 2017).

3 MÉTODOS

A revisão sistemática representa uma forma rigorosa e padronizada para sintetizar os dados de múltiplos estudos primários e requer adequada definição da pergunta de pesquisa. Na literatura, há sugestões de que a pergunta da pesquisa seja decomposta utilizando-se a estratégia PICO, acrônimo para Paciente ou População, Intervenção, Comparação e “Outcomes” (desfecho) (Santos; Pimenta; Nobre, 2007). Neste estudo, as técnicas de revisão sistemática e metanálise foram realizadas em dois momentos, sendo um para analisar o consumo de água e o outro para analisar o consumo de proteína e energia na produção de frango de corte. As perguntas PICO para cada um desses estudos estão dispostas no Quadro 1.

Quadro 1 - Perguntas PICO para os estudos.

	P	I	C	O
Estudo 1	População	Intervenção	Comparação	Desfecho
Consumo de água	Frango de corte	Produção	-	Ingestão de água por quilograma de carne produzida
Pergunta PICO	Na produção de frango de corte, qual a quantidade de água ingerida pelo animal por quilograma de carne produzida?			
Estudo 2	População	Intervenção	Comparação	Desfecho
Consumo de proteína e energia	Frango de corte	Produção	-	Proteína e energia consumida e produzida
Pergunta PICO	Na produção de frango de corte, quanto é consumido e quanto é produzido de proteína e energia?			

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Para a busca bibliográfica de evidências na literatura, que facilitam e maximizam o alcance da pesquisa, seguimos a estrutura disposta em Roever (2020).

3.1 ESTUDO 1: CONSUMO DE ÁGUA NA PRODUÇÃO DE FRANGO DE CORTE

3.1.1 Critérios de elegibilidade

Como critérios de elegibilidade, utilizamos estudos publicados entre janeiro de 2018 a dezembro de 2023, em qualquer idioma e que possuísem dados quantitativos relacionados à ingestão de água e peso dos frangos de corte desde o seu primeiro dia de vida. Excluímos estudos que não atenderam a algum dos critérios de inclusão mencionados.

3.1.2 Fontes de informação

Para seleção dos estudos incluídos nesta revisão sistemática, pela ampla abrangência e por apresentarem assuntos relacionados ao tema animal, consultamos as bases de dados *Scopus*, *Web of Science*, *Centre for Agriculture and Bioscience International* (CABI), *International Information System for the Agricultural Sciences and Technology* (AGRIS), Bases de Dados da Pesquisa Agropecuária EMBRAPA (BDPA) e Biblioteca Virtual em Saúde, Medicina Veterinária e Zootecnia (BVS-Vet).

3.1.3 Busca

As bases de dados consultadas, exceto BVS-Vet, não possuem descritores próprios, portanto, para definição dos termos de busca, usamos descritores dos tesouros *Medical Subject Headings* (MESH) e Descritores em Ciências da Saúde (DECS), para população (frango de corte) e desfecho (consumo de água) da pergunta PICO e, por ser termo frequentemente utilizado nos artigos relacionados à produção comercial de frango, também inserimos as palavras “*broiler chicken*”. Para BVS-Vet, adotamos os descritores próprios da base. Utilizamos os operadores booleanos “OR” para palavras equivalentes e “AND” para seleção simultânea das palavras; as aspas duplas para pesquisar frases aproximadas e os asteriscos para selecionar termos próprios, plurais e variantes. Após testarmos algumas estratégias de busca, verificamos que obtivemos resultado mais sensível e específico ao buscar pelos termos relacionados ao “consumo de água” no título e ao “frango de corte” em título, resumo e palavras-chave para as bases *Scopus*, *Web of Science*, BDPA e BVS-Vet, enquanto que na base CABI, todos os termos foram buscados apenas no título e, na base AGRIS, em todos os campos.

Realizamos as buscas nas bases de dados em outubro de 2023, mas adotamos o método de atualização de pesquisa, onde o pesquisador foi alertado para novos estudos relacionados ao assunto publicados até dezembro de 2023 e, quando estes atenderam aos critérios de elegibilidade, foram incluídos no estudo.

As características de indexação mudam de acordo com a base pesquisada. Dessa forma, as sentenças de busca utilizadas para cada base são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Sentenças de buscas por bases de dados para Estudo 1.

Fonte	Sentença de busca	Itens
Scopus	(TITLE("water consumption" OR "water intake" OR "drinking") AND TITLE-ABS-KEY ("broiler chicken" OR "avian protein" OR "chicken")) AND PUBYEAR > 2017 AND PUBYEAR < 2024	136
<i>Web of Science</i>	“broiler chicke*” or “avian protei*” or “protei*, avian” or “chicke*” (All Fields) AND “water consumption” or “hydric consumption” or “water waste” or “drinkin*” or “water intake” (Title) 2018 em diante	108
CABI	[[Publication Title: "broile* production"] OR [Publication Title: "broile*"] OR [Publication Title: "poultry"] OR [Publication Title: "chicken meat"] OR [Publication Title: "chicke*"]] AND [[Publication Title: "water"] OR [Publication Title: "water intake"] OR [Publication Title: "drinking water"] OR [Publication Title: "water costs"]] AND [E-Publication Date: (01/01/2018 TO 12/31/2023)]	120
BVS-Vet	(tw:("chicken" OR "chickens" OR "frango" OR "frangos")) AND (ti:("water" OR "drinking water" OR "água")) AND year_cluster:("2018" OR "2019" OR "2020" or "2021" OR "2022" OR "2023")	13
AGRIS	[Anywhere: (“broiler chicke*” OR “avian protei*” OR “protei*”, "avian” OR “chicke*” OR "frang* de corte") AND (“water consumption” OR “hydric consumption” OR “water waste” OR “drinkin*” OR “water intake” OR "água")] 2018 a 2023	7
BDPA	((“broiler chicke*” OR “avian protei*” OR “protei*”, "avian” OR “chicke*” OR "frang* de corte") AND (titulo:“water consumption” OR “hydric consumption” OR “water waste” OR “drinkin*” OR “water intake” OR "água"))	2

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

3.1.4 Seleção dos estudos

Para seleção, primeiramente, identificamos e eliminamos os estudos duplicados. Na sequência, realizamos o rastreio de relevância do título e resumo e excluímos estudos que apresentaram assuntos diferentes do foco de interesse ou apenas informações de outras aves. Por último, analisamos os estudos remanescentes por completo e eliminamos os que não atenderam aos critérios de elegibilidade estabelecidos.

Selecionamos apenas estudos que apresentaram o consumo de água desde o primeiro dia de vida do frango para que fosse possível obter o consumo total ao longo da sua vida.

A revisão da literatura resultou em 394 artigos, dos quais 84 estavam duplicados e, portanto, removidos. Na sequência, revisamos os títulos e resumos dos estudos e excluímos 242 artigos, pois 219 apresentaram assuntos que não interessam neste estudo e 23 expuseram apenas dados de aves diferentes do frango de corte. Posteriormente, 68 artigos foram avaliados na íntegra, dos quais 58 foram excluídos por não atenderem aos critérios de elegibilidade. Ao final, 10 artigos foram incluídos na revisão sistemática e na metanálise, totalizando uma amostra de 1297 frangos (Figura 1).

3.1.5 Processo de coleta de dados

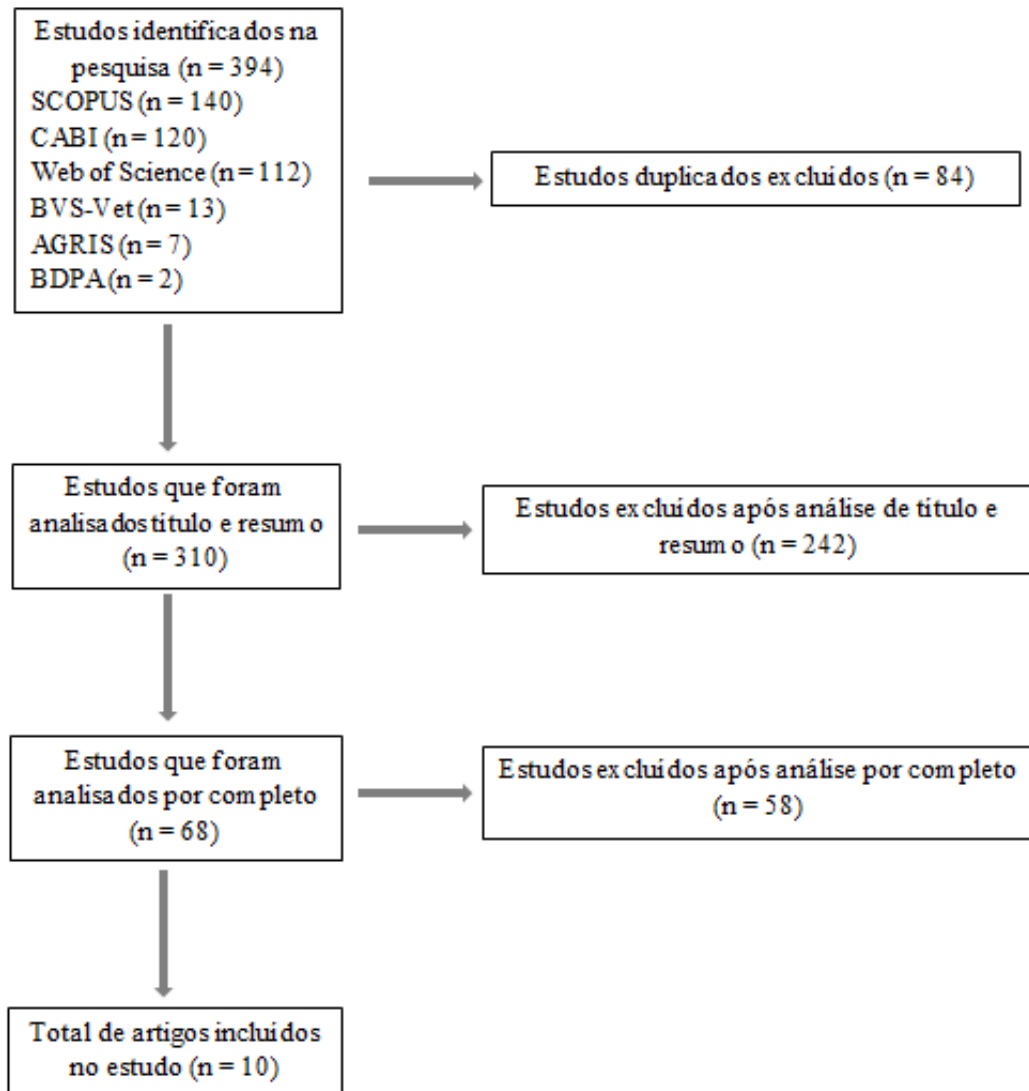
Entre os estudos encontrados, poucos abordaram exclusivamente o consumo de água pelos frangos de corte, a maioria tinha por objetivo comparar o desempenho do animal ao consumir água comum (considerado tratamento controle) e água suplementada com alguma substância. Como o foco deste estudo foi o consumo de água sem suplementação, coletamos dados de consumo de água e peso do frango de corte apenas dos animais que receberam o tratamento controle.

3.1.6 Lista dos dados

Coletamos as variáveis país originário da pesquisa, tamanho da amostra do experimento, tamanho da amostra do tratamento controle, linhagem, sexo, quantidade de água consumida, peso e ganho de peso do animal. Buscamos coletar também variáveis que podem afetar o consumo de água pelos frangos de corte, como temperatura ambiente, temperatura da água, umidade relativa do ar, qualidade da água e tipo de bebedouro, porém, pouquíssimos

artigos disponibilizaram tais informações na descrição do experimento realizado.

Figura 1 - Fluxo de seleção de artigos para a revisão - Estudo 1.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Para padronização dos dados coletados dos artigos incluídos, foram necessárias algumas transformações no conjunto de dados. São elas:

- a) **quantidade de água ingerida:** há estudos que apresentaram a quantidade de água ingerida pelo frango de corte em mililitros (ml) e outros em litros (L), a fim de padronizar, transformamos o consumo em ml para L, dividindo por 0,001. Além disso, há artigos que disponibilizam o consumo de água por dia e outros por fase de desenvolvimento. Para obter a quantidade de água diária, dividimos a quantidade de água consumida por período pelo número de dias do mesmo período. Para obtermos o consumo total de água, somamos as

quantidades consumidas por período ou por dia, dependendo da maneira que as informações foram disponibilizadas no artigo;

- b) **ganho de peso:** com relação ao ganho de peso, há estudos que apresentaram em gramas (g) e outros em quilogramas (kg), adotamos o ganho de peso em kg e convertemos de g para kg, dividindo os valores por 0,001. Alguns artigos disponibilizam o ganho de peso por dia e outros por fase de desenvolvimento do frango. Para obter ganho de peso diário, dividimos o ganho de peso do período pelo número de dias do respectivo período. Para os casos em que não foi informado, calculamos o peso final do frango a partir da soma do ganho de peso por período ou por dia.

3.1.7 Medidas de sumarização

Nos artigos, são apresentadas múltiplas estatísticas, com magnitudes ou forças variadas e, com uso da metanálise, gera-se uma medida padronizada para sumarização e interpretação, chamada “tamanho de efeito” (Vieira, 2017).

Visando sumarizar o consumo médio de água por quilo de frango produzido, utilizamos as variáveis “consumo total de água” e “peso final do frango” para criar uma nova variável, denominada “consumo de água por peso” (CAP) em L/kg, dada por (1).

$$CAP = \frac{\text{consumo de água}}{\text{peso do frango}} \quad (1)$$

A média e a variância da variável CAP foram calculadas por (2) e (3), respectivamente.

$$\overline{CAP} = \sum_{i=1}^d \frac{CAPd}{d} \quad (2)$$

$$CAP_{var} = \sum_{i=1}^d \frac{(CAPd - \overline{CAP})^2}{d - 1} \quad (3)$$

em que CAPd é o consumo de água por peso por dia e d é idade, em dias, que o frango foi abatido.

Estudos com frangos abatidos com idades diferentes não será problema para determinação do tamanho do efeito, pois consideramos o consumo de água desde seu primeiro dia de vida até a última data apresentada no artigo e o peso correspondente.

Utilizamos o gráfico de floresta para apresentar os resultados individuais de cada

estudo incluído e também da medida meta-analítica para a variável CAP. Na metanálise, usamos modelo de efeitos aleatórios, estimado pelo método DerSimonian-Laird, uma vez que os estudos incluídos apresentam variabilidade metodológica e populacional, inerente à produção avícola: diferentes linhagens, países, condições ambientais e técnicas de manejo.

Empregamos o coeficiente de correlação de Pearson, com nível de significância de 5%, e o diagrama de dispersão para verificar se existe associação entre consumo total de água e peso do frango de corte.

As análises estatísticas foram feitas por meio do software Jamovi versão 1.6.23 (função MAJOR) e Excel versão 2010.

3.1.8 Risco de viés em cada estudo

A análise do risco de viés é a avaliação da qualidade metodológica dos estudos e consiste em um dos fatores que diferencia a revisão sistemática das demais sínteses.

Utilizamos o gráfico de funil e o teste de Egger para analisar o risco de viés dos estudos, considerando nível de significância de 5%. No gráfico de funil, cada ponto representa um artigo, as linhas em forma de funil invertido indicam os intervalos sob a hipótese de ausência de viés de publicação. O teste de Egger apresenta como hipótese nula a afirmação de que não existe viés de publicação (Vieira, 2017).

3.1.9 Avaliação de heterogeneidade

Heterogeneidade entre os estudos é a quantidade de variabilidade entre os achados. Quando há alta heterogeneidade entre os estudos, há o questionamento sobre a validade de combinar resultados e a indicação de que seja investigada sua causa (Vieira, 2017). O teste Q de Cochran apresenta como hipótese nula a afirmação de que os estudos são homogêneos. A estatística I^2 é uma forma mais direta de verificar a existência de heterogeneidade por meio de proporção, valor de I^2 próximo de 0% indica não heterogeneidade entre os estudos e próximo a 75% indica alta heterogeneidade (Roever, 2020). Aplicamos a estatística I^2 e o teste Q de Cochran para avaliar a heterogeneidade entre os estudos selecionados.

3.2 ESTUDO 2: CONSUMO DE PROTEÍNA E ENERGIA

3.2.1 Critérios de elegibilidade

Como critérios de elegibilidade, utilizamos estudos, em qualquer idioma, publicados entre janeiro de 2021 a março de 2025 com frangos de corte de período de desenvolvimento de 42 dias e que disponibilizaram as quantidades de proteína e energia presentes na dieta e a quantidade de ração consumida pelos animais, ambas desde o primeiro dia de vida e por fase de desenvolvimento do frango para que, posteriormente, seja possível o cálculo da variabilidade. Excluimos estudos que não atenderam a algum dos critérios de inclusão mencionados ou que são revisões de outros trabalhos ou que não foi possível a tradução e/ou acesso ao conteúdo total.

3.2.2 Fontes de informação

Pela ampla abrangência e por apresentarem assuntos relacionados ao tema animal, consultamos as bases de dados Scopus e *Web of Science* para seleção dos estudos incluídos nesta revisão sistemática.

3.2.3 Busca

Para definição dos termos de busca, realizada em março de 2025, usamos descritores dos tesouros MESH e DECS para frango de corte, alimentação, proteína e energia e, por ser termo frequentemente utilizado nos artigos relacionados à produção comercial de frango, também inserimos as palavras “*broiler chicken*”. Para melhorar a busca, utilizamos os operadores booleanos “OR”, “AND”, aspas e asteriscos. Após testarmos algumas estratégias de busca, obtivemos resultado mais específico ao buscar pelos termos relacionados ao “frango de corte” e à “alimentação” em título e à “proteína” e “energia” em título, resumo e palavras-chave.

As características de indexação mudam de acordo com a base pesquisada. Dessa forma, as sentenças de busca utilizadas para cada base são apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Sentenças de buscas por bases de dados para Estudo 2.

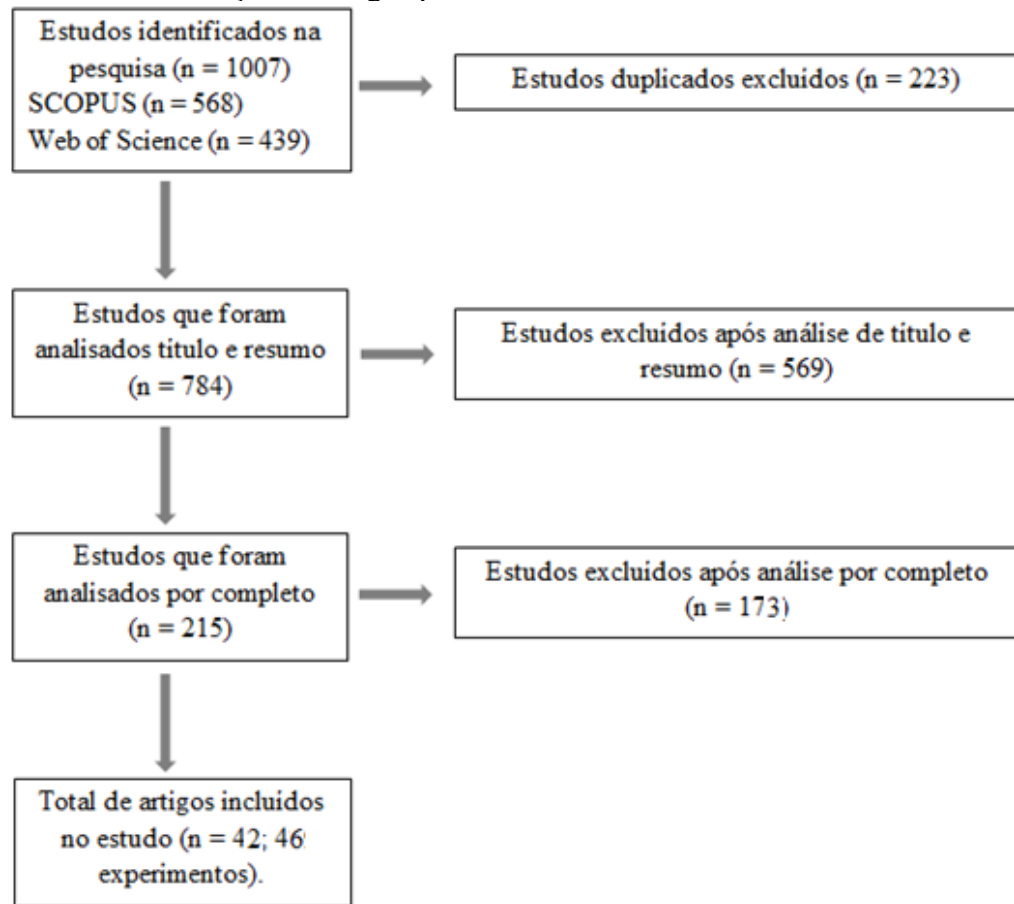
Fonte de informação	Sentença de busca	Itens encontrados
Scopus	((TITLE ("broiler chicke*" OR "chicke*" OR "poultry" OR "avian protein*") AND TITLE-ABS-KEY ("feed* efficiency" OR "poultry ration" OR "nutrition" OR "feed poultry") AND TITLE-ABS-KEY ("protein" OR "energy")) AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2026	568
<i>Web of Science</i>	"feeding" OR "feed" OR "nutrition" OR "ration" OR "food" OR "diet*" (Title) AND "chicken*" OR "poultr*" OR "broiler*" OR "avian*" (Title) AND "protein*" OR "energy" (Abstract) De 2021 a 2025	439

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

3.2.4 Seleção dos estudos

A revisão da literatura resultou em 1007 artigos, dos quais 223 estavam duplicados e, portanto, removidos. Na sequência, revisamos os títulos e resumos dos estudos e excluimos 569 artigos porque não apresentaram assuntos de interesse neste estudo ou expuseram apenas dados de aves diferentes do frango de corte ou consistia em revisão de outros trabalhos. Posteriormente, 215 artigos foram avaliados na íntegra, dos quais 173 foram excluídos por não atenderem aos critérios de elegibilidade. Ao final, 42 artigos foram incluídos na metanálise, sendo que dois deles apresentaram dois experimentos diferentes e um outro apresentou três experimentos diferentes, portanto, os resultados meta-analíticos obtidos são baseados nas informações provenientes de 46 experimentos realizados em diferentes países com um total de 7.131 frangos de corte (Figura 2).

Figura 2 - Fluxo da seleção de artigos para a revisão - Estudo 2.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

3.2.5 Processo de coleta de dados

Os estudos encontrados abordaram comparações entre o consumo de ração usual (considerado tratamento controle) com outras rações suplementadas com diferentes substâncias. A intenção deste estudo foi analisar o consumo de proteína e energia nas rações comumente utilizadas, portanto, coletamos dados apenas dos animais que receberam o tratamento controle.

3.2.6 Lista dos dados

Coletamos as variáveis coletadas país originário da pesquisa, tamanho da amostra do experimento, tamanho da amostra do tratamento controle, sexo, linhagem, quantidade de proteína presente na dieta por fase; quantidade de energia presente na dieta por fase; quantidade de ração consumida por fase; ganho de peso; peso inicial (quando disponibilizado); peso por fase (quando disponibilizado) e conversão alimentar (ração

consumida/ganho de peso). Era interesse coletar dados referentes à temperatura do local de experimento, porém, raros artigos disponibilizaram essa informação na descrição do experimento.

As unidades de medidas para as variáveis analisadas variam entre os artigos, a fim de obtermos medidas padronizadas, foram necessárias algumas transformações no conjunto de dados. São elas:

- a) **quantidade de proteína presente na dieta por fase:** há estudos que apresentam a quantidade de proteína em %/kg e outros em g/kg. Adotamos g/kg, transformamos %/kg em g/kg multiplicando a quantidade de proteína por 10;
- b) **quantidade de energia presente na dieta por fase:** há estudos que apresentam a quantidade de energia em kcal/kg e outros em MJ/kg. Adotamos kcal/kg, transformamos MJ/kg em kcal/kg, multiplicando a quantidade de energia por 238,85;
- c) **quantidade de ração consumida:** há estudos que apresentam a quantidade de ração consumida em gramas por dia e outros em gramas por fase de desenvolvimento do frango. Para obter a quantidade de ração diária, dividimos a quantidade de ração do período pelo número de dias do período. Para obter quantidade de ração por período, multiplicamos a quantidade de ração diária pelo número de dias do período;
- d) **ganho de peso:** há estudos que apresentam o ganho de peso em gramas por dia e outros em gramas por fase de desenvolvimento do frango. Para obter ganho de peso diário, dividimos o ganho de peso do período pelo número de dias do período. Para obter ganho de peso por período, multiplicamos o peso diário pelo número de dias do período;
- e) **peso inicial:** nos estudos que não foi informado, adotamos peso inicial igual a 40g, por ser o peso mais frequente nos demais estudos;
- f) **peso por fase:** nos estudos que não foi informado o peso do frango, somamos o ganho de peso de cada fase;
- g) **conversão alimentar (CA):** calculamos a CA para os estudos que não apresentaram essa estatística, dividindo a quantidade de ração consumida no período pelo ganho de peso no mesmo período.

A partir dos dados coletados, criamos outras variáveis para complementar o estudo, como proteína consumida diariamente (PCd), total de proteína consumida (PCt),

proteína produzida diariamente (PPd), total de proteína produzida (PPt), razão proteica (RP), consumo de proteína por peso (CPP), energia consumida diariamente (ECd), total de energia consumida (ECt), energia produzida diariamente (EPd), total de energia produzida (EPt), razão energética (RE) e consumo de energia por peso (CEP).

Para os cálculos referentes ao consumo (PCd, PCt, ECd e ECt), multiplicamos a quantidade de ração consumida no período pela quantidade de proteína ou energia presentes na ração no mesmo período, conforme apresentados nas fórmulas (4), (5), (6) e (7), respectivamente.

$$PCd = \text{Qtde. de ração consumida_dia} \times \text{Qtde. de proteína presente na ração_dia} \quad (4)$$

$$PCt = \text{Qtde. total de ração consumida} \times \text{Qtde. total de proteína presente na ração} \quad (5)$$

$$ECd = \text{Qtde. de ração consumida_dia} \times \text{Qtde. de energia presente na ração_dia} \quad (6)$$

$$ECt = \text{Qtde. total de ração consumida} \times \text{Qtde. total de energia presente na ração} \quad (7)$$

Para determinação das variáveis relacionadas à produção de proteína e de energia, utilizamos as informações disponibilizadas na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO (UNICAMP, 2011), a qual fornece dados referentes à fração comestível dos alimentos, incluindo teores de energia e proteína, e é amplamente utilizada como referência científica em estudos nas áreas de nutrição, saúde e ciência dos alimentos, e as informações apresentadas em Focus Management Group (2012) sobre o rendimento da carne desossada a partir do peso da carcaça eviscerada.

Segundo a TACO (UNICAMP, 2011), 100g do frango inteiro, com pele e cru, contém 16,4 g de proteína. Como o peso final do frango de corte inclui componentes não comestíveis, a massa final de carne destinada ao consumo humano foi estimada aplicando-se um fator de conversão correspondente ao rendimento médio de carne desossada em relação à carcaça, o qual, segundo dados de processamento industrial, situa-se, na média, em torno de 46,2% do peso da carcaça, variando conforme a massa viva e a eficiência de desossa adotada durante o processamento (Focus Management Group, 2012). Essa abordagem permitiu harmonizar a base de cálculo da massa produzida com a natureza dos dados nutricionais fornecidos pela TACO.

Portanto, o cálculo de PPd e de PPt são dados por (8) e (9), respectivamente.

$$PPd = GPd \times 0,164 \times 0,462 \quad (8)$$

$$PPt = PF \times 0,164 \times 0,462 \quad (9)$$

em que GPd é o ganho de peso diário; PF é o peso final do frango; 0,164 é a quantidade de proteína presente a cada grama de frango inteiro, com pele e cru e 0,462 é a proporção de rendimento médio da carne desossada a partir do peso da carcaça eviscerada.

Consideramos RP, a relação entre o total de proteína produzida e o total de proteína consumida (10) e por CPP, a razão entre o total de proteína consumida pelo peso final do frango produzido (11).

$$RP = \frac{PPt}{PCt} \quad (10)$$

$$CPP = \frac{PCt}{PF} \quad (11)$$

em que PCt é o total de proteína consumida, PPt é o total de proteína produzida e PF é o peso final do frango.

Segundo a TACO, em cada 100 g do frango inteiro, com pele e cru há 226 kcal de energia (UNICAMP, 2011). Logo, o cálculo de EPd e EPt são dados por (12) e (13), respectivamente.

$$EPd = GPd \times 2,26 \times 0,462 \quad (12)$$

$$EPt = PF \times 2,26 \times 0,462 \quad (13)$$

em que GPd é o ganho de peso diário; PF é o peso final do frango; 2,26 é a quantidade de energia presente a cada grama de frango inteiro, com pele e cru e 0,462 é a proporção de rendimento médio da carne desossada a partir do peso da carcaça eviscerada.

Consideramos RE, a relação entre o total de energia produzida e o total de energia consumida (14) e por CEP, a razão entre o total de energia consumida pelo peso final do frango produzido (15).

$$RE = \frac{EPt}{ECt} \quad (14)$$

$$CEP = \frac{ECt}{PF} \quad (15)$$

em que ECt é o total de energia consumida, EPt é o total de energia produzida e PF é o peso final do frango.

3.2.7 Medidas de sumarização

Por meio da metanálise, resumimos os dados coletados na média e intervalo de confiança com nível de significância de 5% para ração consumida diariamente, CA, proteína consumida diariamente (PCd), PPd, energia consumida diariamente (ECd) e EPd. Utilizamos o gráfico de floresta para apresentar estas estatísticas para os resultados individuais de cada estudo incluído e também da medida meta-analítica geral. Na metanálise, usamos modelo de efeitos aleatórios, estimado pelo método DerSimonian-Laird, uma vez que os estudos

incluídos apresentam variabilidade metodológica e populacional.

Para maior exploração dos dados, a análise estatística também abrangeu gráficos de linhas e de colunas e medidas resumo (média, mediana, desvio-padrão, mínimo e máximo).

As análises estatísticas foram efetuadas por meio dos *softwares* Jamovi versão 1.6.23 (função MAJOR) e Excel versão 2010.

3.2.8 Risco de viés em cada estudo

Para análise do risco de viés em cada estudo, usamos o gráfico de funil e o teste de Egger, considerando nível de significância de 5%.

3.2.9 Avaliação de heterogeneidade

Realizamos a avaliação da heterogeneidade entre os estudos por meio do teste Q de Cochran com nível de significância de 5% e da estatística I^2 .

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ESTUDO 1: CONSUMO DE ÁGUA

Os estudos incluídos e as variáveis coletadas estão listados na Tabela 1. Desses, apenas cinco mencionaram o tipo de bebedouro, dois informaram a temperatura ambiente, um apresentou a umidade relativa do ar e nenhum apresentou a temperatura ou a qualidade da água, portanto, por não haver artigos suficientes que detalham essas informações, essas variáveis não foram apresentadas na tabela.

Tabela 1 - Informações dos artigos selecionados no Estudo 1.

Artigo	País	n total	n controle	Linhagem	Sexo	Idade do abate (dias)	Consumo de água (L)	Peso final do frango (kg)	CAP (L/kg)
Adaszýnska-Skwirzýnska e Szczerbínska (2019)	Polónia	300	100	Ross 308	NE	42	9,45	2,72	3,47
Ansari, Khalaji e Hedayati, (2020)	Irã	500	100	Ross 308	Macho	42	9,72	1,83	5,31
Hanchai, Trairatapiwan e Lertpatarakomol (2021)	Tailândia	120	40	Ross 308	Macho	35	7,32	1,73	4,23
Hernández-Coronado <i>et al.</i> (2019)	México	180	60	Ross 308	NE	40	6,49	1,66	3,9
Namted e Rakangthong (2019)	Tailândia	192	96	Ross 308	Macho	47	10,53	2,35	4,48
Castro Bedriñana, Chirinos Peinado e Sierra Rojas (2018)	Peru	200	50	Cobb	Misto	21	1,43	0,34	4,21
SADARMAN <i>et al.</i> 2021	Indonésia	100	25	Cobb 707	NE	28	4,76	1,58	3,01
Van Emmenes, Pieterse e Hoffman (2018)	África do Sul	1920	640	Cobb 500	NE	32	6,09	1,85	3,29
Lertpimonpan <i>et al.</i> (2019)	Tailândia	288	144	Arbor-acre	Macho	37	8,46	2,51	3,37
Erener <i>et al.</i> (2023)	Turquia	210	42	NE	Macho	42	10,29	3,43	3,00

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

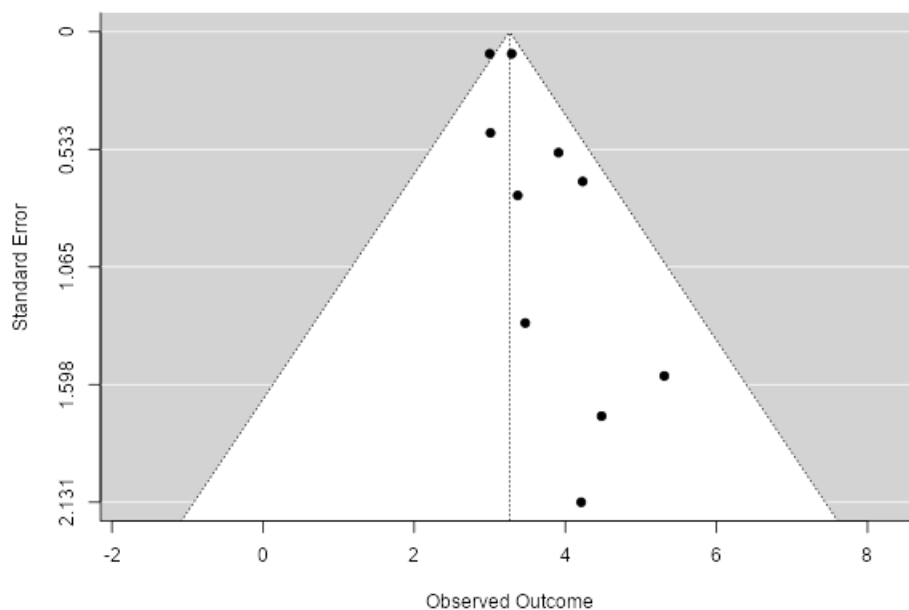
Nota: “n total” é o tamanho da amostra no experimento, “n controle” é o tamanho da amostra para o tratamento controle, “NE” significa não especificado e CAP é o consumo de água, em litros, por quilo de frango produzido.

Há estudos que afirmam que o consumo de água na produção de frango de corte sofre influência de genética, idade, sexo, temperatura do ambiente, temperatura da água, qualidade da água e tipo de bebedouro. Havia interesse em realizar uma análise comparativa

meta-analítica do consumo de água por cada uma dessas variáveis, porém, não há artigos suficientes que detalhem essas informações na metodologia do experimento realizado ou, quando descrevem, não apresentam dados de consumo separado por categoria. Tal constatação mostra a importância de que os autores descrevam os experimentos com mais detalhes e a necessidade de serem feitos mais estudos primários recentes que comparem o consumo de água por fatores que podem influenciar a demanda. Afinal, o conhecimento sobre como os animais utilizam água em diferentes sistemas de manejo é importante para quantificar essa utilização e melhorar a sustentabilidade de produtos de carne para atender à crescente demanda global por proteína animal (Palhares, 2017).

Pelo gráfico de funil (Figura 3) e pelo teste de Egger (p-valor igual a 0,053), podemos afirmar, com 95% de confiança, que não há viés nos estudos incluídos.

Figura 3 - Gráfico de funil para o risco de viés para o consumo de água por peso.



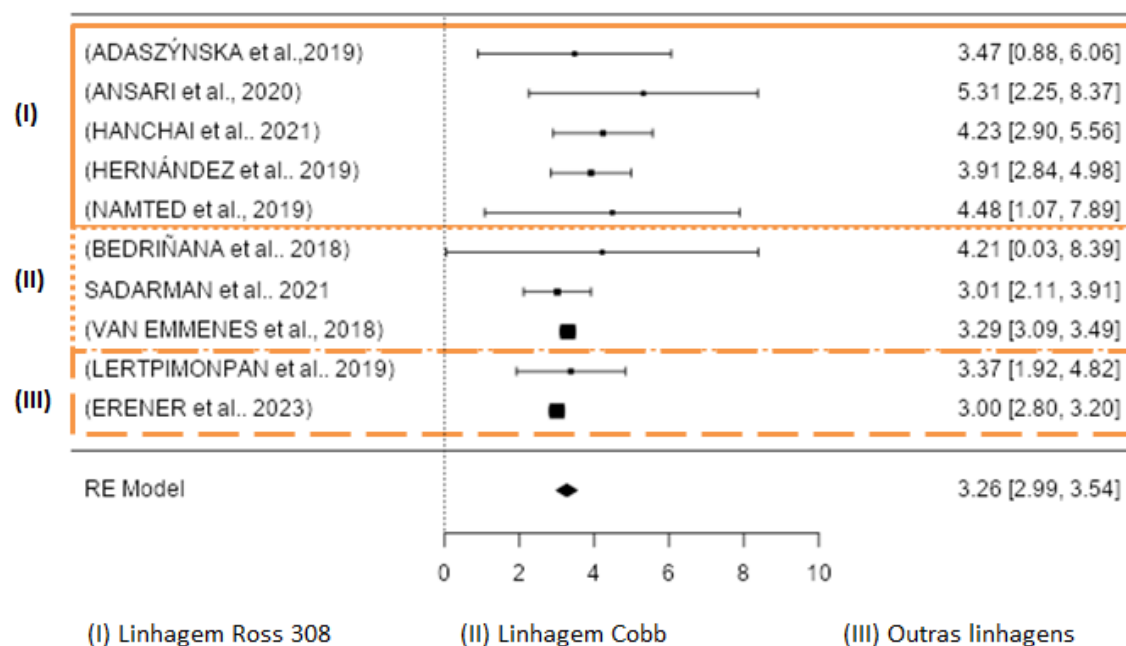
Fonte: Elaborada pela autora (2025), por meio do *software* Jamovi versão 1.6.23

Na análise da heterogeneidade, a estatística $I^2 = 35,55\%$ nos indica heterogeneidade baixa a moderada, porém sem significância estatística segundo teste Q de Cochran (p-valor = 0,241), com nível de significância de 5%, indicando variabilidade entre os estudos, mas não estatisticamente relevante.

No gráfico de floresta, são apresentadas as médias, intervalos de confiança de 95% e contribuições (pesos) de cada estudo incluído na metanálise e, também, da medida meta-analítica (Figura 4). Os resultados da metanálise nos mostraram que a média de consumo de água para dessedentação é de 3,26 litros por quilo de frango produzido (IC 95%,

2,99 a 3,54; $n=1297$). Segundo Bell e Weaver (2002, *apud* Barbosa *et al.*, 2015) o frango de corte consome 2 litros de água na oitava semana de vida, Rezvani e Shojae (2021) diz que a ingestão diária de água pelos frangos de corte é de 11,66 ml por hora, Sadarman *et al.* (2021) apresentaram estudo em que a ingestão total de água para aves com 28 dias de vida é de 4,76 L, para Soliha *et al.* (2023), a ingestão total de água é de 6,540 L até os 35 dias de vida, já no estudo de Aggrey *et al.* (2023) frangos de corte modernos consomem, em média, 7,8 L de água entre os dias 14 e 42 de vida, com aumento progressivo conforme a idade e o consumo de ração. Tais exemplos demonstram que a maneira de disponibilizar as informações e as quantidades apresentadas destoa entre estudos, portanto, o estabelecimento do indicador obtido no presente estudo, por meio da revisão sistemática e metanálise, é importante porque sumariza os resultados de diferentes pesquisas e apresenta um índice geral quanto ao consumo de água na produção de frango de corte, o qual auxiliará a tomada de decisão dos responsáveis pela cadeia produtiva e proporcionará avaliação social dessa atividade.

Figura 4 - Gráfico de floresta com média e intervalo de confiança (95%) para consumo de água por quilo de carne de frango produzido (L/kg).



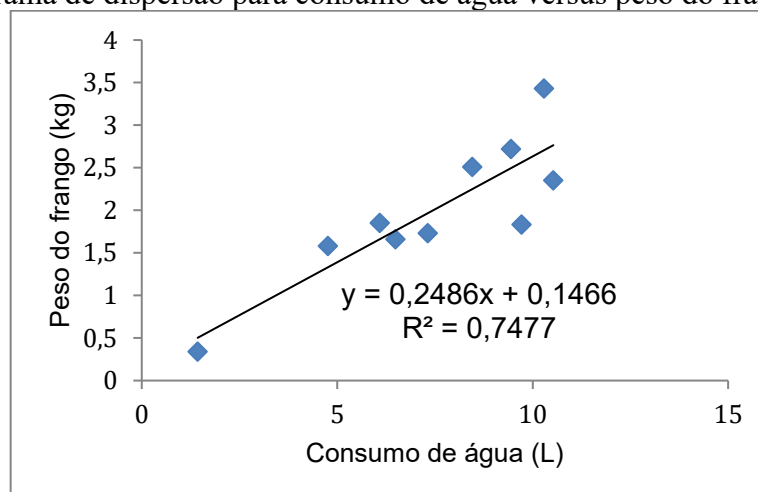
Fonte: Elaborada pela autora (2025), por meio do *software* Jamovi versão 1.6.23

O consumo de água é um ótimo indicador de bem estar e sanidade das aves, portanto, é de extrema importância que as empresas definam o consumo esperado de seus plantéis nas suas condições de produção e que monitorem constantemente este parâmetro (Manning; Chadd; Baines, 2007). Se considerássemos a quantidade de água empregada na produção da ração animal e como insumo no processo de produção e industrialização da carne

de frango, o consumo por quilo de carne produzida aumentaria significativamente. Segundo Bailone e Roça (2017), no processo de industrialização da carne de frango, o consumo é praticamente o dobro do que é utilizado nas etapas de produção no campo e, no abate e processamento, o consumo de água é ainda mais abundante quando comparado aos moldes estruturais de sustentabilidade previstos atualmente. Bellaver (2009, *apud* Barbosa *et al.*, 2015) afirma que na criação dos frangos, são utilizados 8,2 l/kg de água e, para o processo de industrialização da carne, são necessários 16,03 l/kg de água. Considerando o crescimento da produção mundial e o agravamento da escassez hídrica pelo clima, há forte necessidade de adoção de práticas de gestão hídrica e avaliação da pegada hídrica total da produção (El Sabry *et al.*, 2023)

Por meio do diagrama de dispersão (Figura 4) e pelo coeficiente de correlação de Pearson igual a 0,865 (p-valor igual a 0,001), podemos afirmar, com 95% de confiança, que existe correlação positiva entre consumo de água e peso do animal, ou seja, para maior ingestão de água, a tendência é obter frangos de corte mais pesados. Esse achado está de encontro ao estudo de Soares *et al.* (2007) e Aggrey *et al.* (2023) que mostraram que a ingestão de água está positivamente correlacionada com o crescimento do frango de corte e de Viola *et al.* (2009, *apud* Barbosa *et al.*, 2015) que afirmam que a restrição hídrica é um dos fatores que mais contribui para a queda de desempenho na produção avícola.

Um modelo de regressão linear simples foi ajustado para a variável dependente peso do frango pela variável explicativa consumo de água (p-valor = 0,0012). As suposições para ajuste do modelo foram satisfeitas e obtivemos coeficiente de determinação igual a 0,7477, indicando que o modelo ajustado, disponível na Figura 5, explica 74,77% da variância do peso do frango a partir do consumo de água.

Figura 5 - Diagrama de dispersão para consumo de água versus peso do frango de corte.

Fonte: Elaborada pela autora (2025), por meio do *software* Excel.

A forte correlação existente entre peso de frango e consumo de água, verificada pelo coeficiente de correlação e modelo de regressão ajustado, corrobora que a água é o nutriente mais essencial para a produção avícola (Aggrey *et al.*, 2023). Entretanto, mesmo diante da grande importância da água na produção avícola, ainda são escassos dados adequados sobre o consumo de água em toda a cadeia produtiva avícola (Palhares, 2017). O estabelecimento de indicadores que tragam conhecimento sobre a quantidade de água utilizada na cadeia de abastecimento, produção e industrialização da carne de frango pode ajudar no desenvolvimento de estratégias para aperfeiçoar os fluxos de água e identificar ações para melhoria na gestão da água, a fim de reduzir os impactos ambientais com a escassez de água (Carra *et al.*, 2020).

4.2 ESTUDO 2: CONSUMO DE PROTEÍNA E ENERGIA

Dos estudos selecionados na revisão sistemática, disponibilizamos as informações sobre país em que a pesquisa foi realizada, linhagem e sexo do animal, tamanho total da amostra no experimento e tamanho da amostra do tratamento controle na Tabela 2.

Tabela 2 - Informações dos artigos selecionados no estudo 2.

(continua)					
Artigo	País	Linhagem	Sexo	n total	n controle
Abdulwahid <i>et al.</i> (2022)	Iraque	Ross 308	NE	240	60
Adaszyńska-Skwirzyńska, Szczerbínska e Zych (2021)	Polônia	Ross 308	NE	300	100
Adeyemi <i>et al.</i> (2021)	Nigéria	Ross 308	Misto	420	70

Tabela 2 - Informações dos artigos selecionados no Estudo 2.

(continuação)

Artigo	País	Linhagem	Sexo	n total	n controle
Alizadeh-Ghamsari, Shaviklo e Hosseini (2023)	Irã	Ross 308	Macho	500	125
Castro <i>et al.</i> (2024)	Austrália	Ross 308	Misto	128	64
Choi <i>et al.</i> (2024)	Coréia do Sul	Ross 308	NE	2000	400
Colombino <i>et al.</i> (2023)	Itália	Ross 308	NE	576	192
Demirci <i>et al.</i> (2023)	Turquia	Ross 308	NE	144	36
Derakhshan, Ghasemian e Gholami-Ahangaran (2023)	Irã	Ross 308	NE	300	75
Ghanzanfari, Ghzghapan, A. e Ghzghapan, S. (2024)	Irã	Ross 308	Macho	240	48
Gholami <i>et al.</i> (2024)	Irã	Ross 308	Macho	144	36
Hosseinzadeh <i>et al.</i> (2023)	Irã	Ross 308	NE	320	80
Murawska <i>et al.</i> (2021)	Polônia	Ross 308	Macho	384	96
Noormohammadi, Varkoohi e Seyedabadi (2023)	Irã	Ross 308	Macho	700	100
Pirgozliev <i>et al.</i> (2021)	Reino Unido	Ross 308	Misto	1280	320
Sadeghi <i>et al.</i> (2024)	Irã	Ross 308	Macho	180	30
Sobotik <i>et al.</i> (2024a)	Estados Unidos	Ross 308	Macho	1080	270
Toghyani <i>et al.</i> (2022 - Exp.1)	Austrália	Ross 308	Macho	864	108
Toghyani <i>et al.</i> (2022 - Exp.2)	Austrália	Ross 308	Macho	864	108
Toghyani <i>et al.</i> (2024)	Austrália	Ross 308	Macho	2400	200
Xie <i>et al.</i> (2024)	Austrália	Ross 308	Macho	1400	200
Castro e Kim (2021)	Grécia	Cobb 500	Macho	480	120
Ciurescu, Vasilachi e Ropotă (2021)	Romênia	Cobb 500	Misto	780	156
Liu, Castro e Kim (2023)	Estados Unidos	Cobb 500	NE	720	120
Moritz <i>et al.</i> (2022)	Estados Unidos	Cobb 500 x Hubbard	Macho	640	160
Pires <i>et al.</i> (2023)	Brasil	Cobb 500	Macho	784	171
Tavares <i>et al.</i> (2022)	Brasil	Cobb 500	Macho	1248	208
Savaram <i>et al.</i> (2021)	Índia	Cobb 400	Macho	1500	250
Sobotik <i>et al.</i> (2024b)	Estados Unidos	Cobb	NE	1560	312
Vieira <i>et al.</i> (2023 - Exp.1)	Brasil	Cobb	Macho	1848	616
Vieira <i>et al.</i> (2023 - Exp.2)	Brasil	Cobb	Macho	2100	700
Zhang <i>et al.</i> (2024 - Exp.1)	China	Cobb 500	Macho	1296	216
Zhang <i>et al.</i> (2024 - Exp.2)	China	Cobb 500	Macho	1296	216
Zhang <i>et al.</i> (2024 - Exp.3)	China	Cobb 500	Macho	1296	216
Cai <i>et al.</i> (2024)	China	Arbor Acres	Macho	240	60
Cao <i>et al.</i> (2024)	China	Arbor Acres	Macho	576	96

Tabela 2 - Informações dos artigos selecionados no estudo 2.

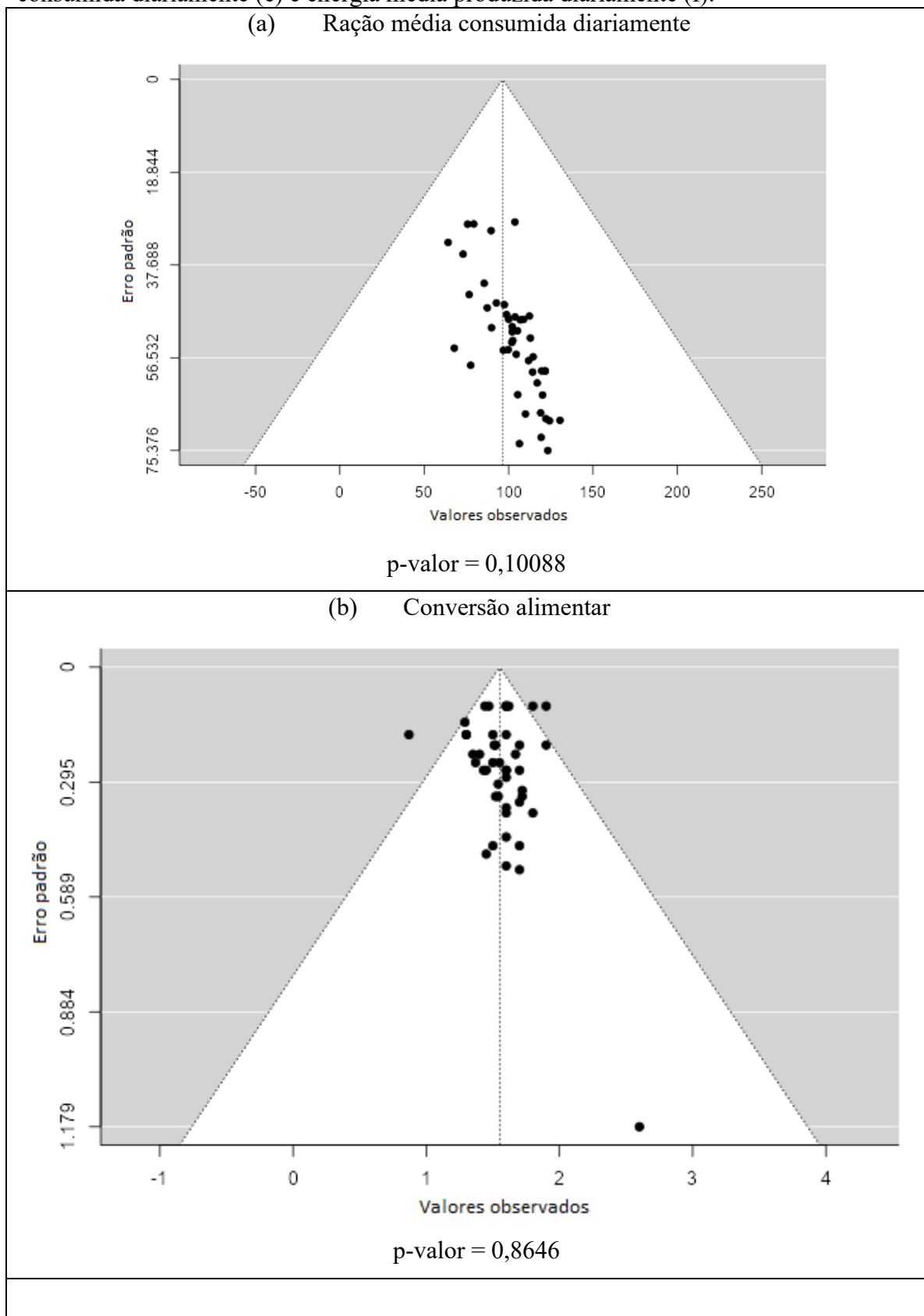
(conclusão)					
Artigo	País	Linhagem	Sexo	n total	n controle
El Latif <i>et al.</i> (2023)	Egito	Arbor Acres	NE	240	30
Ji <i>et al.</i> (2024)	China	Arbor Acres	NE	288	72
Niu <i>et al.</i> (2025)	China	Arbor Acres	NE	432	108
Oloruntola (2022)	Nigéria	Arbor Acres	NE	240	80
Shan <i>et al.</i> (2024)	China	Arbor Acres	NE	480	120
Wang <i>et al.</i> (2024)	China	Arbor Acres	Misto	720	120
Golshahi <i>et al.</i> (2024)	Irã	NE	Macho	300	50
Gopi <i>et al.</i> (2023)	Índia	Caribro vishal	Misto	720	90
Jalal <i>et al.</i> (2024)	Irã	NE	Macho	540	90
Sun <i>et al.</i> (2024)	Estados Unidos	Cornish Cross	Macho	180	36

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

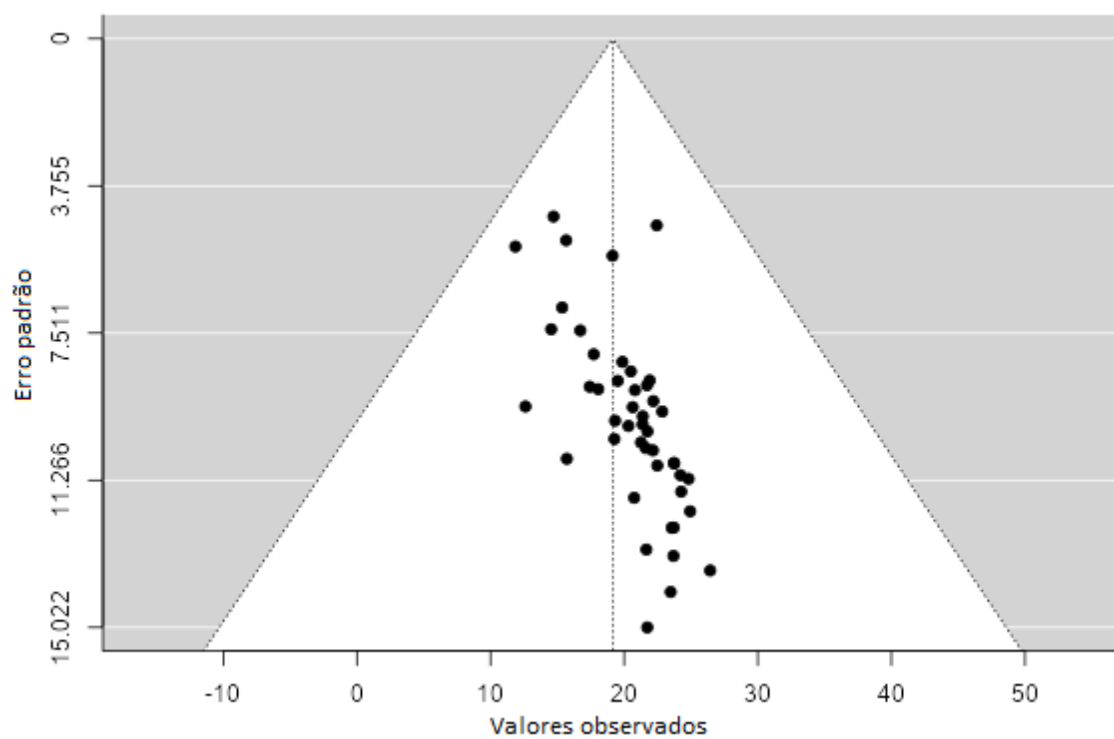
Nota: “n total” é o tamanho da amostra no experimento, “n controle” é o tamanho da amostra para o tratamento controle e “NE” significa não especificado.

Pelos gráficos de funil e pelos p-valores obtidos no teste de Egger (Figura 6), podemos afirmar, com 95% de confiança, que não há viés nos estudos incluídos para as variáveis ração média consumida diariamente, CA, PCd, PPd, ECd e EPd.

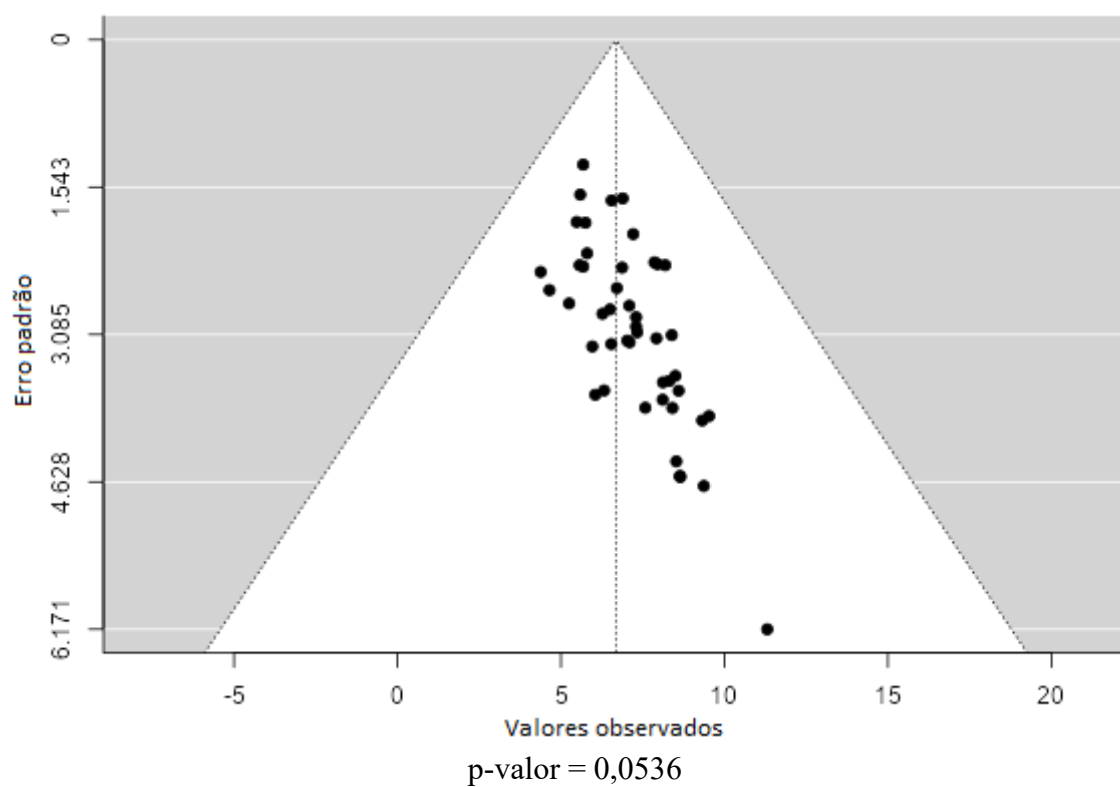
Figura 6 - Gráficos de funil e p-valores obtidos pelo teste de Egger para avaliação do viés para ração média consumida diariamente (a), conversão alimentar (b), proteína média consumida diariamente (c), proteína média produzida diariamente (d), energia média consumida diariamente (e) e energia média produzida diariamente (f).



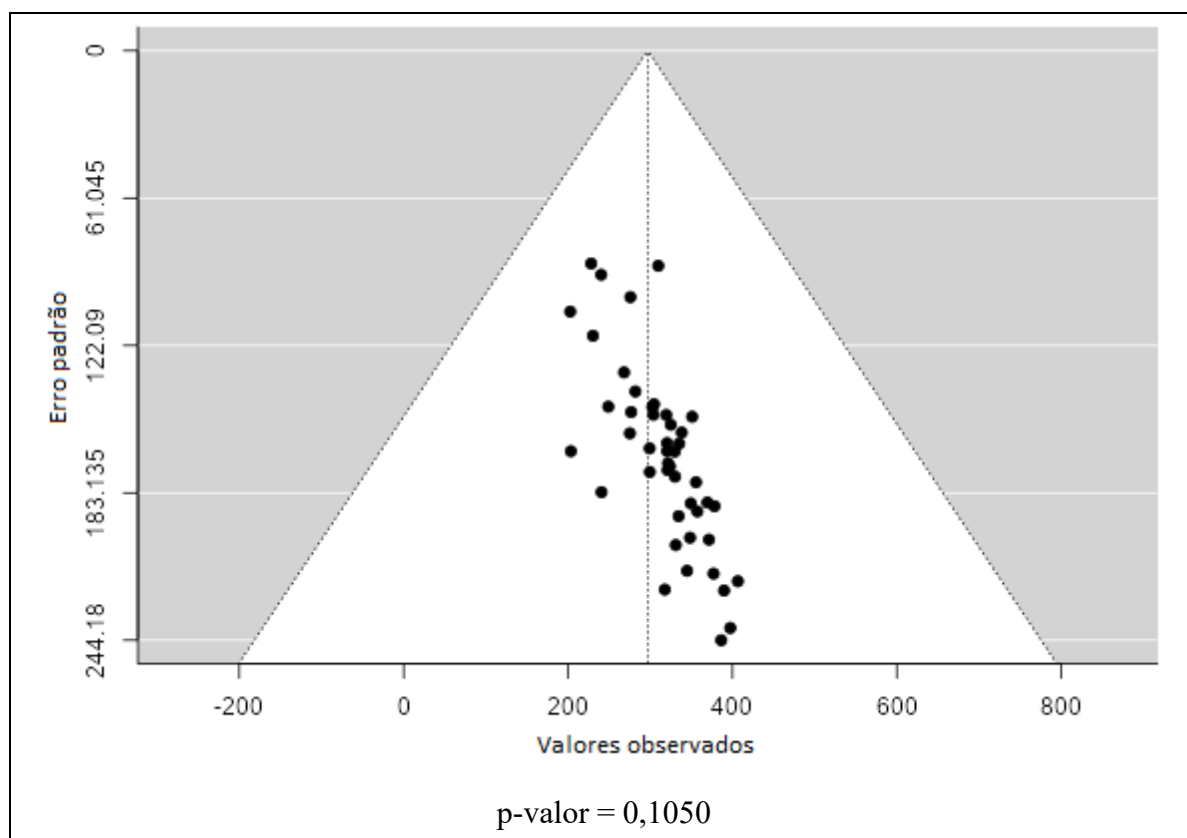
(c) Proteína média consumida diariamente



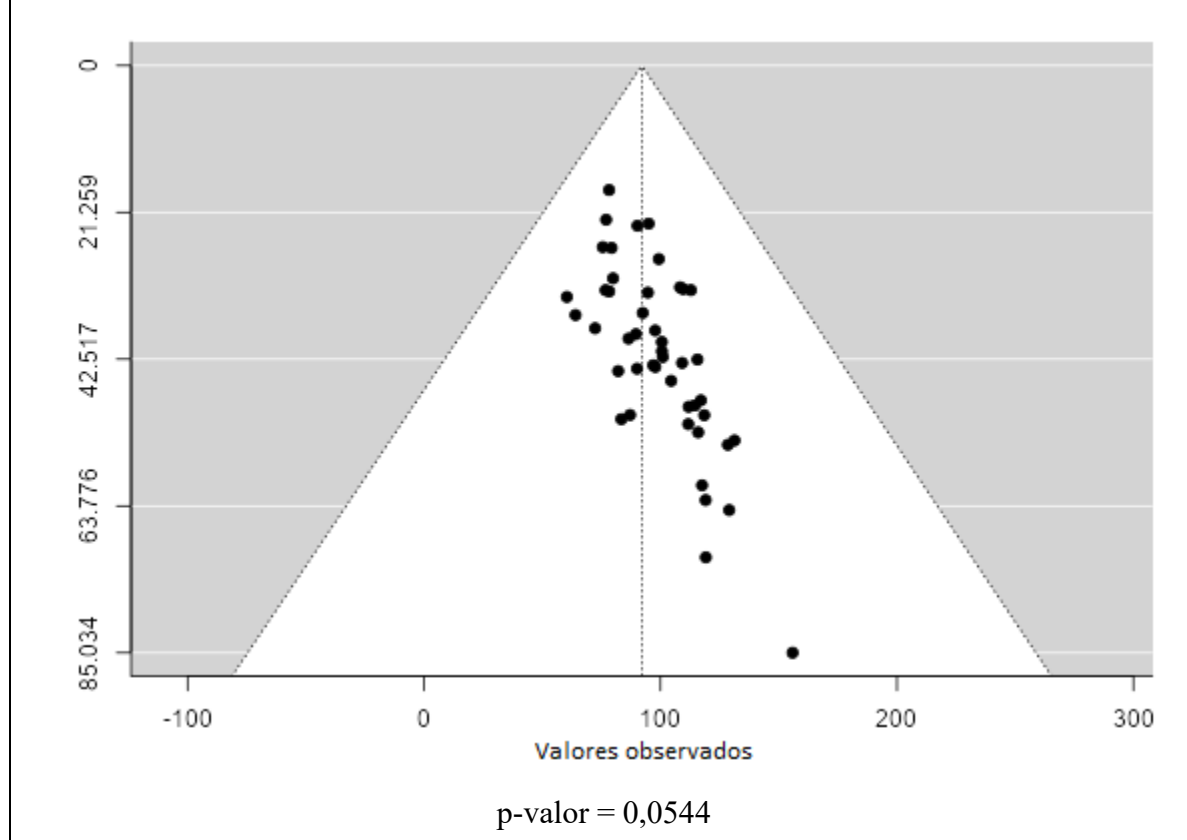
(d) Proteína média produzida diariamente



(e) Energia média consumida diariamente



(f) Energia média produzida diariamente



Fonte: Elaborado pela autora (2025) por meio do *software* Jamovi versão 1.6.23.

A análise da heterogeneidade, conduzida por meio da estatística I^2 e do teste Q de Cochran, indicou, com nível de significância de 5%, ausência de heterogeneidade estatisticamente significativa entre os estudos para a maioria das variáveis analisadas, uma vez que foram observados valores de I^2 iguais a 0% e p-valores superiores a 0,05. Para a variável taxa de conversão alimentar, verificou-se heterogeneidade baixa a moderada ($I^2 = 32,41\%$), porém sem significância estatística ($p = 0,187$), indicando variabilidade entre os estudos, embora não estatisticamente relevante (Tabela 3).

Tabela 3 - Avaliação de heterogeneidade entre os estudos.

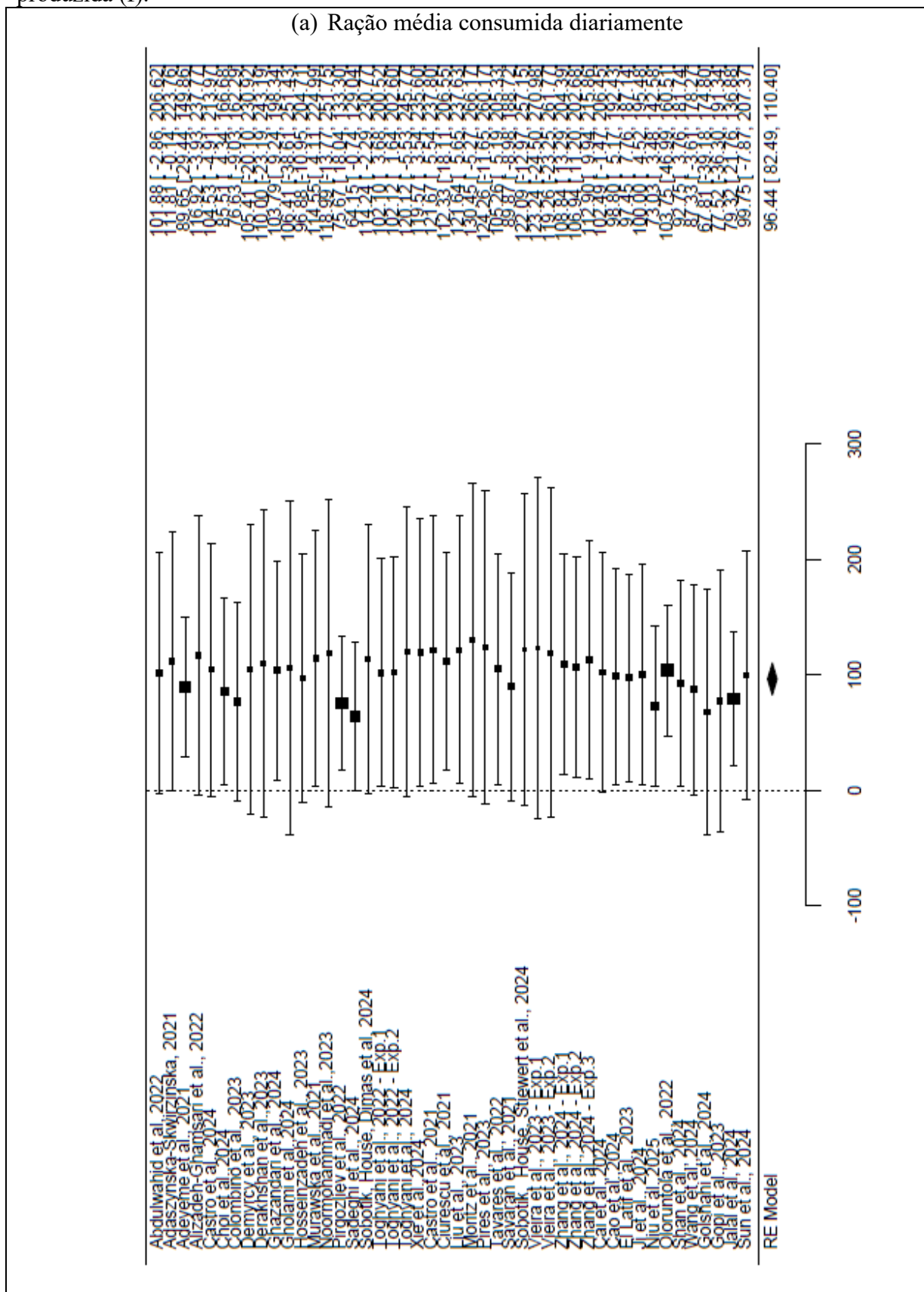
Variável	I^2	Q de Cochran	p-valor
Ração consumida diariamente	0%	5,490	1,000
Taxa de conversão alimentar	32,41%	53,237	0,187
Proteína média consumida diariamente	0%	8,341	1,000
Proteína média produzida diariamente	0%	9,514	1,000
Energia média consumida diariamente	0%	5,046	1,000
Energia média produzida diariamente	0%	9,485	1,000

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

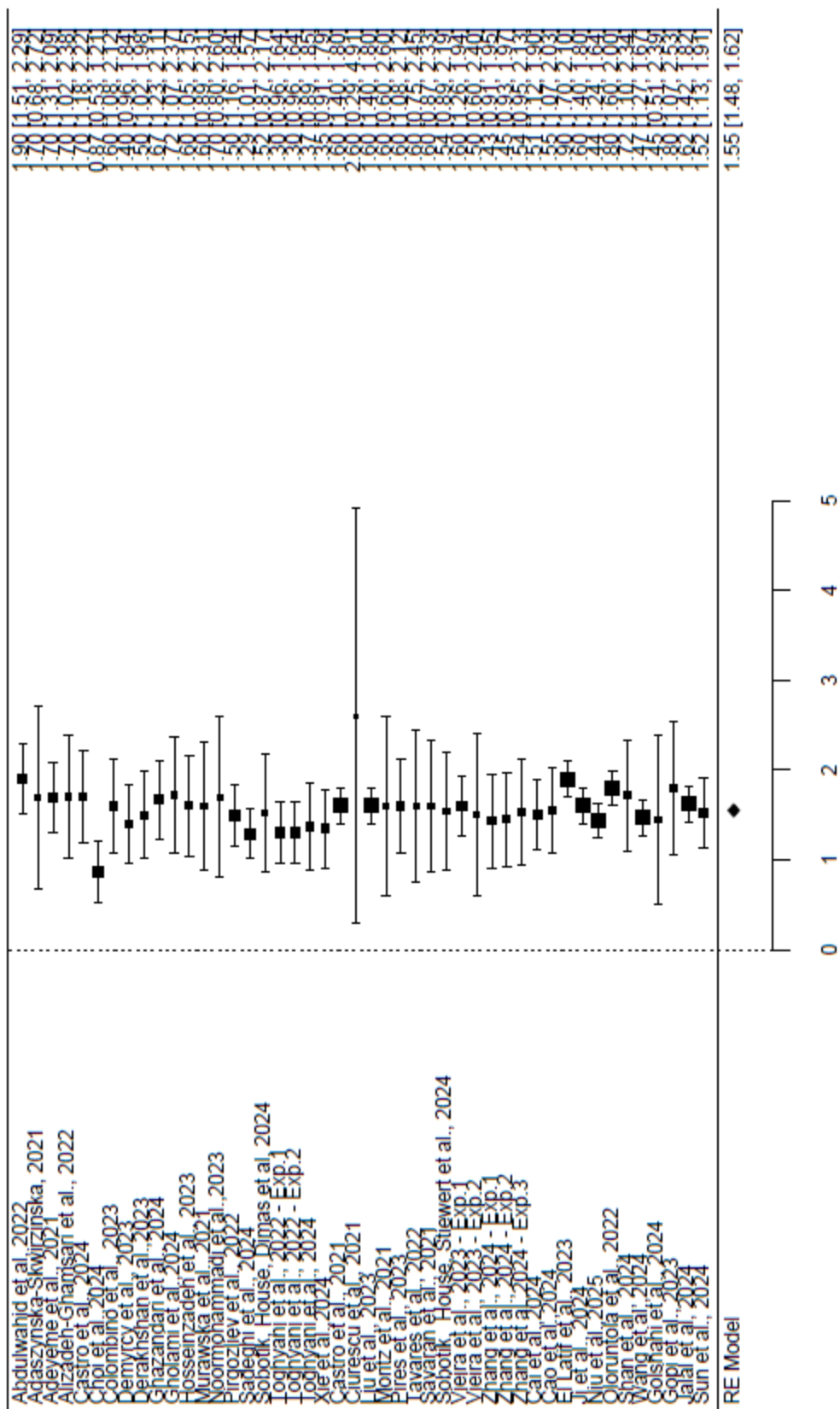
Na figura 7, estão dispostos os gráficos de floresta para as variáveis analisadas, os quais apresentam as médias, intervalos de confiança de 95% e contribuições (pesos) de cada estudo incluído na metanálise e da medida meta-analítica. Verificamos que a quantidade média geral de ração consumida é de 96,44 g/dia (IC 95%: 82,49 a 110,40), a CA média é de 1,55 (IC 95%: 1,48 a 1,62), a quantidade média geral de proteína consumida é de 19,14 g/dia (IC 95%: 16,66 a 21,63), a quantidade média geral de proteína produzida é de 6,68 g/dia (IC 95%: 5,92 a 7,44), a quantidade média geral de energia consumida é de 296,90 kcal/dia (IC 95%: 252,69 a 341,11) e a quantidade média geral de energia produzida é de 92,09 kcal/dia (IC 95%: 81,63 a 102,54).

O total médio de ração consumida durante os 42 dias de vida do frango é de 4309 g (desvio padrão igual a 686 g). Na média, a entrada e saída de proteína são, respectivamente, iguais a 862 g e 207 g (Figura 8), resultando em razão proteica média igual a 0,24 e consumo médio de 320 g de proteína por quilo de frango produzido. Quanto aos totais médios de consumo e de produção de energia, temos 13.279 kcal e 2.849 kcal, respectivamente (Figura 9), resultando em razão energética média igual a 0,22 e consumo médio de 4.935 kcal de energia por quilo de frango produzido. Outras medidas resumo relacionadas a essas variáveis são apresentadas na Tabela 4.

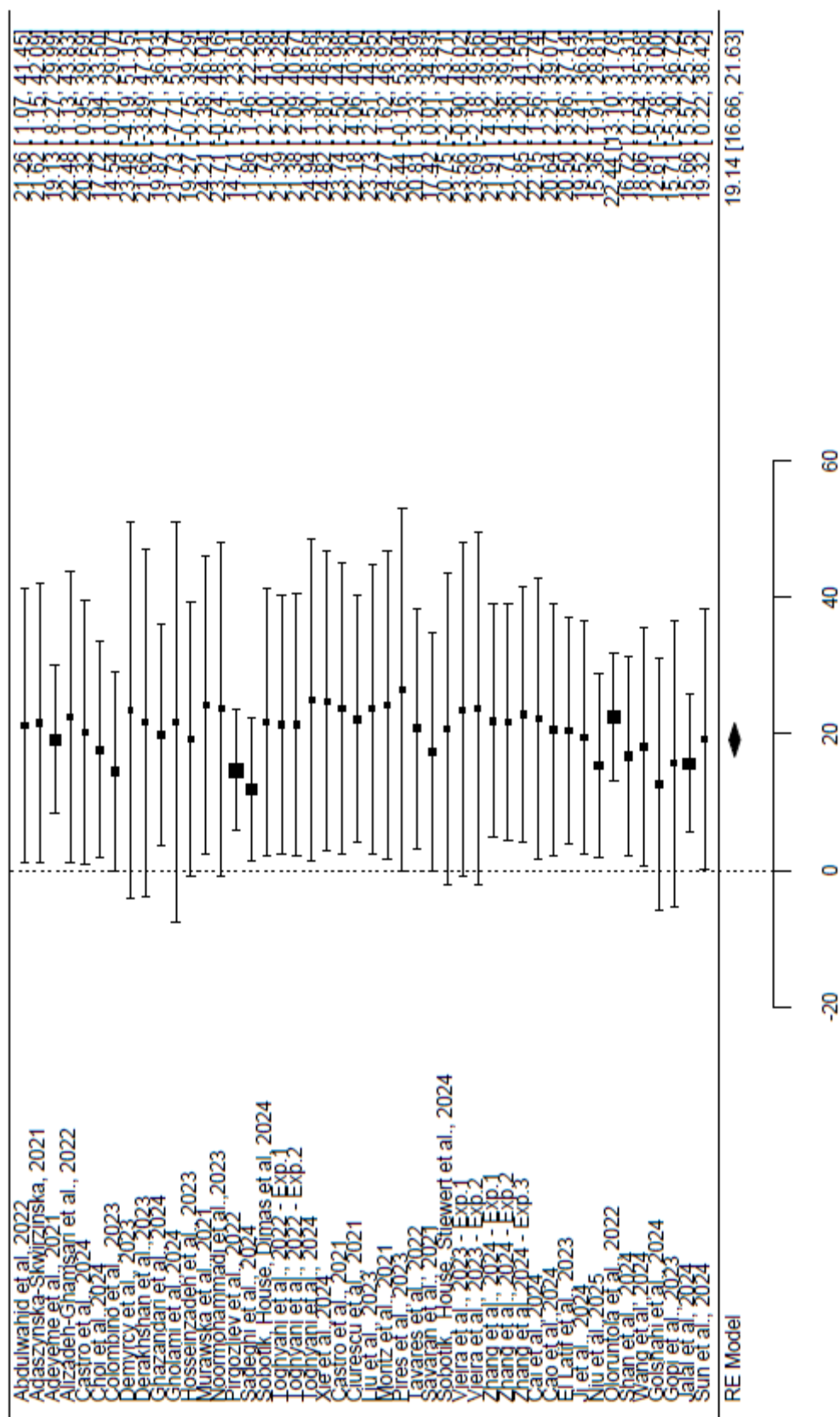
Figura 7 - Gráficos de floresta com média e intervalo de confiança (95%) para ração média consumida diariamente (a), conversão alimentar (b), proteína média consumida diariamente (c), proteína média produzida diariamente (d), energia média consumida (e) e energia média produzida (f).



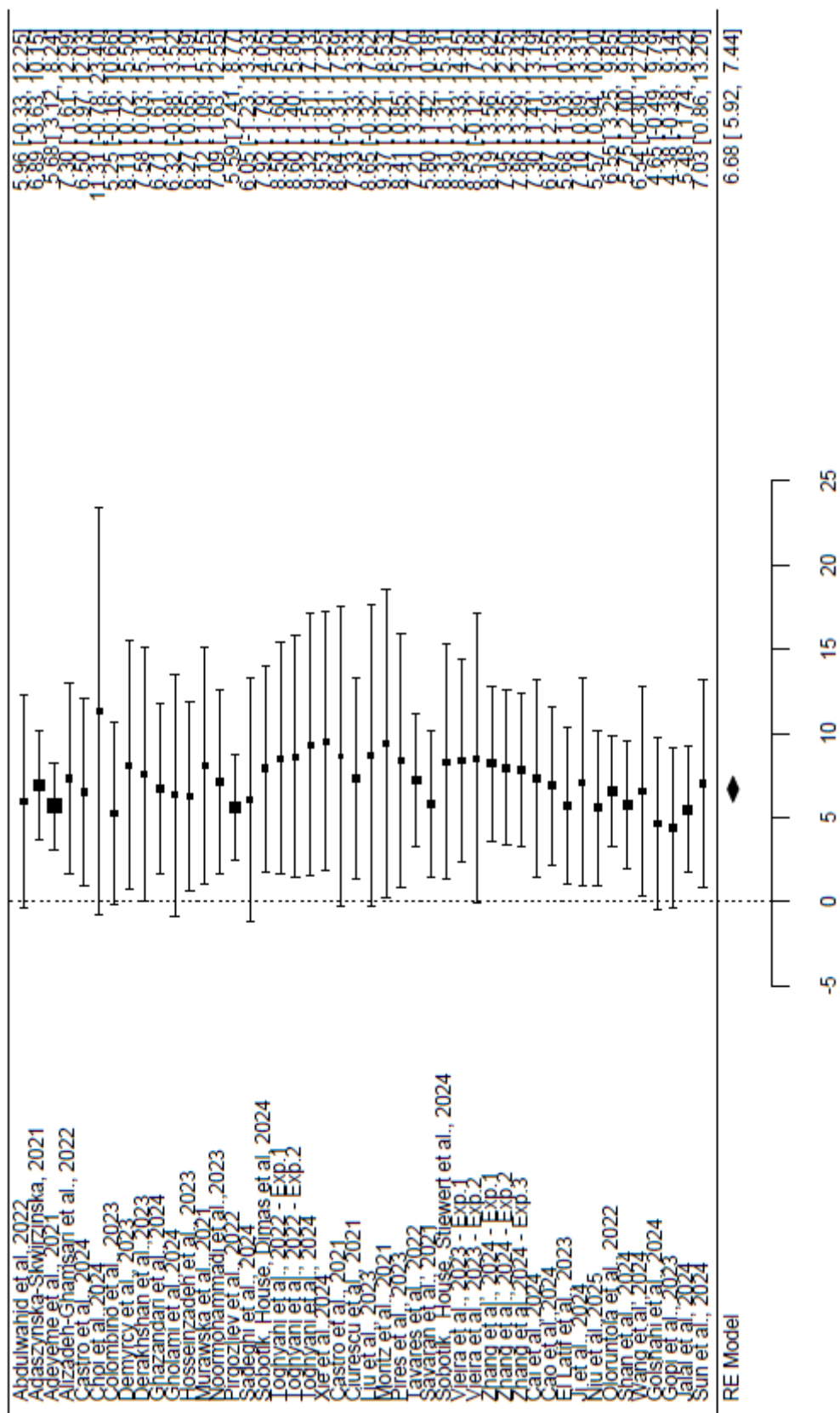
(b) Conversão alimentar



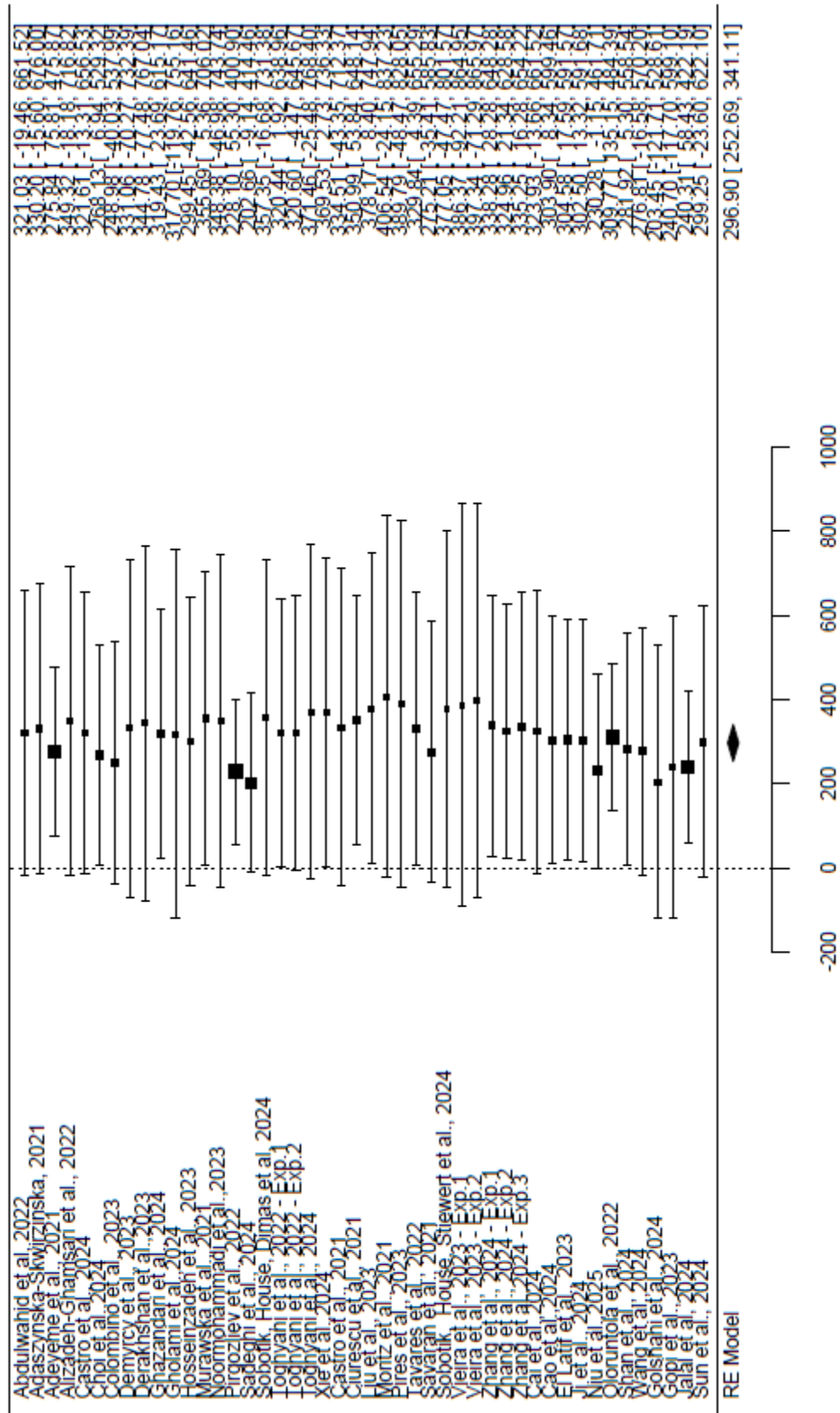
(c) Proteína média consumida diariamente



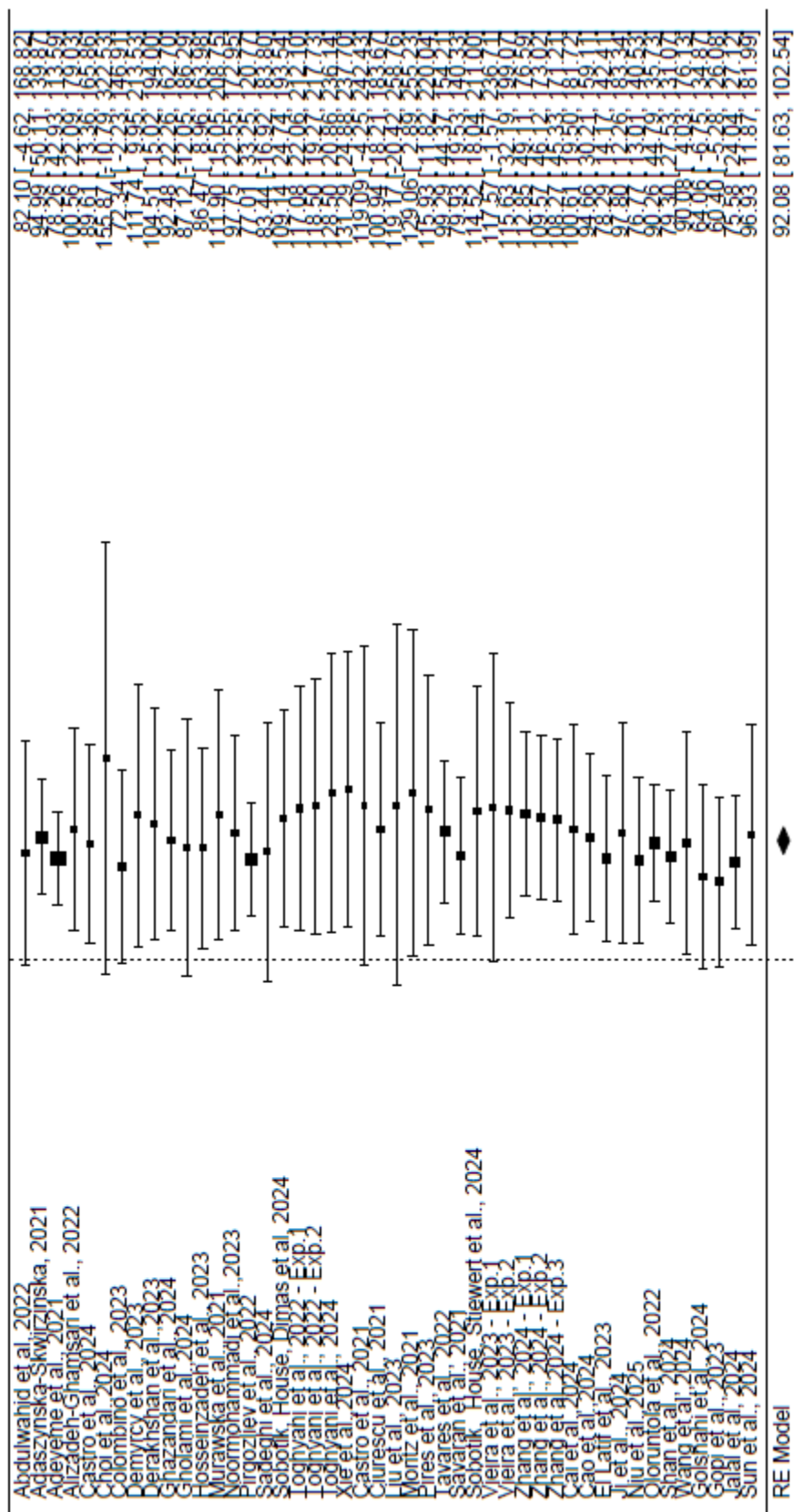
(d) Proteína média produzida diariamente



(e) Energia média consumida diariamente



(f) Energia média produzida diariamente

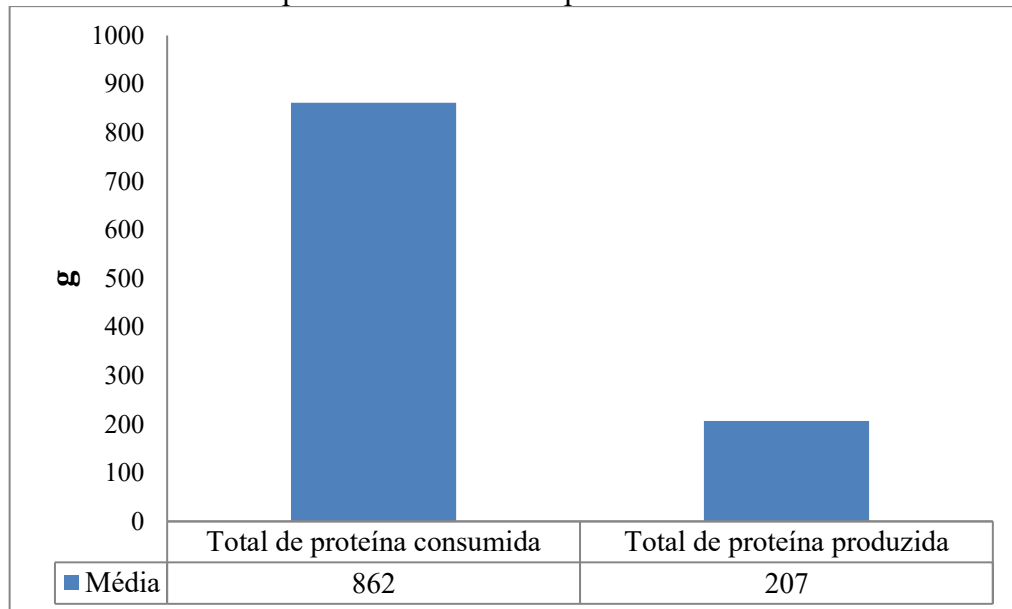


Fonte: Elaborado pela autora (2025) por meio do *software* Jamovi versão 1.6.23.

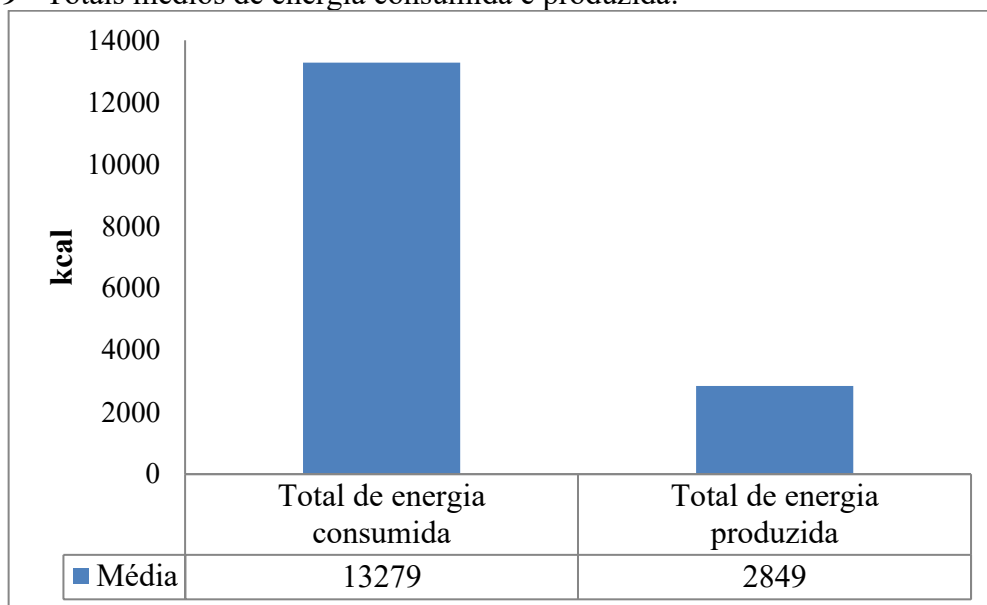
Tabela 4 - Medidas resumo para variáveis analisadas no Estudo 2.

Medidas resumo	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Total de ração consumida	4309	4375	686	2694	5479
Total de proteína consumida	862	898	142	498	1110
Total de proteína produzida	207	204	40	126	320
Razão proteica total	0,24	0,24	0,04	0,19	0,43
Consumo de proteína por peso (g/kg)	320	321	44	176	401
Total de energia consumida	13279	13495	2115	8512	17075
Total de energia produzida	2849	2814	548	1737	4417
Razão energética total	0,22	0,21	0,04	0,17	0,39
Consumo de energia por peso (kcal/kg)	4935	5077	632	2662	6075

Fonte: Elaborada pela autora (2025) por meio do *software* Excel.

Figura 8 - Totais médios de proteína consumida e produzida.

Fonte: Elaborado pela autora (2025) por meio do *software* Excel.

Figura 9 - Totais médios de energia consumida e produzida.

Fonte: Elaborado pela autora (2025) por meio do *software* Excel.

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam que, apesar do significativo consumo de ração pelos frangos de corte ao longo de 42 dias de vida, uma proporção relativamente pequena desses nutrientes é convertida em proteína e energia depositadas na forma de tecido muscular comestível. A produção média de proteína observada representa aproximadamente 24% da proteína ingerida, enquanto a produção média de energia corresponde a cerca de 22% da energia consumida. Esses achados refletem a baixa eficiência de utilização de energia e proteína em frangos de corte, cujo metabolismo prioriza processos de manutenção, termorregulação e outras demandas fisiológicas antes da deposição de biomassa muscular.

A baixa eficiência de conversão de nutrientes em proteína e energia depositadas é consistente com a literatura zootécnica, que demonstra que apenas uma fração relativamente pequena da energia e proteína da ração é retida como tecido corporal em aves de crescimento rápido, com grande parte desses nutrientes sendo desperdiçados via calor metabólico e excreções (Shepon *et al.*, 2016). A utilização eficiente da energia e da proteína pelo frango envolve complexos processos metabólicos que não resultam exclusivamente na deposição de músculo, mas também no suporte às funções fisiológicas básicas do organismo. Além disso, estratégias nutricionais, como ajustes na proporção energia por proteína, podem alterar a partição de nutrientes entre ganho de peso e gordura corporal, influenciando a eficiência global de conversão (Liu *et al.*, 2021).

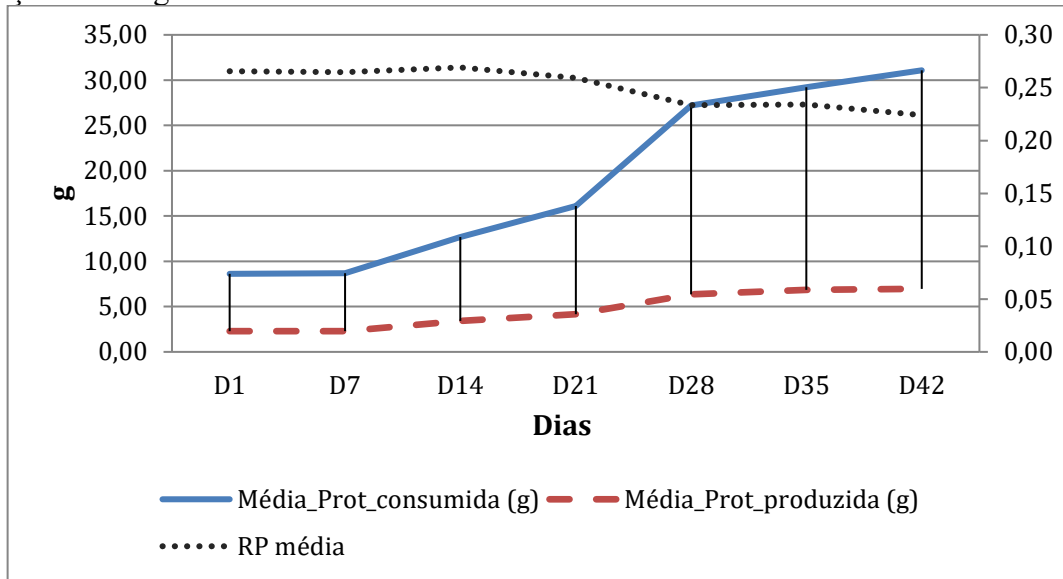
Do ponto de vista ambiental, a elevada diferença entre o consumo e a produção de

proteína e energia tem importantes implicações. A produção de ração, principal componente da dieta dos frangos de corte, é um dos estágios com maiores impactos ambientais do ciclo produtivo, respondendo por grande parte das emissões de gases de efeito estufa, consumo de energia e eutrofização associados ao sistema de produção (Pacheco; Moita Neto; Silva, 2018). A ineficiência de conversão de nutrientes também contribui para perdas de nitrogênio e carbono via excreções (urina e fezes), que se transformam em amônia e óxidos de nitrogênio, agentes que podem contribuir para a poluição do ar, da água e do solo, além de potencializar a formação de partículas finas e eutrofização de corpos hídricos (Nabavi-Pelesaraei *et al.*, 2013).

Conforme os frangos ficam mais velhos, o consumo e a produção de proteína e de energia aumentam, entretanto, a razão entre saída e entrada diminui, pois o consumo aumenta em ritmo mais acelerado que a produção (Figuras 10 e 11). Esse padrão é consistente com o conhecimento zootécnico de que o ganho de peso e as necessidades metabólicas dos animais mudam com a idade, impactando a eficiência global de utilização de nutrientes. Sabino *et al.* (2004) constataram que há redução no aproveitamento da proteína com o aumento da quantidade de proteína consumida e afirmam que a redução da eficiência do uso da proteína ocorre por causa da síntese muscular ser geneticamente controlada, havendo, portanto, um limite na deposição diária de proteína com o aumento da massa corporal, independentemente de sua ingestão.

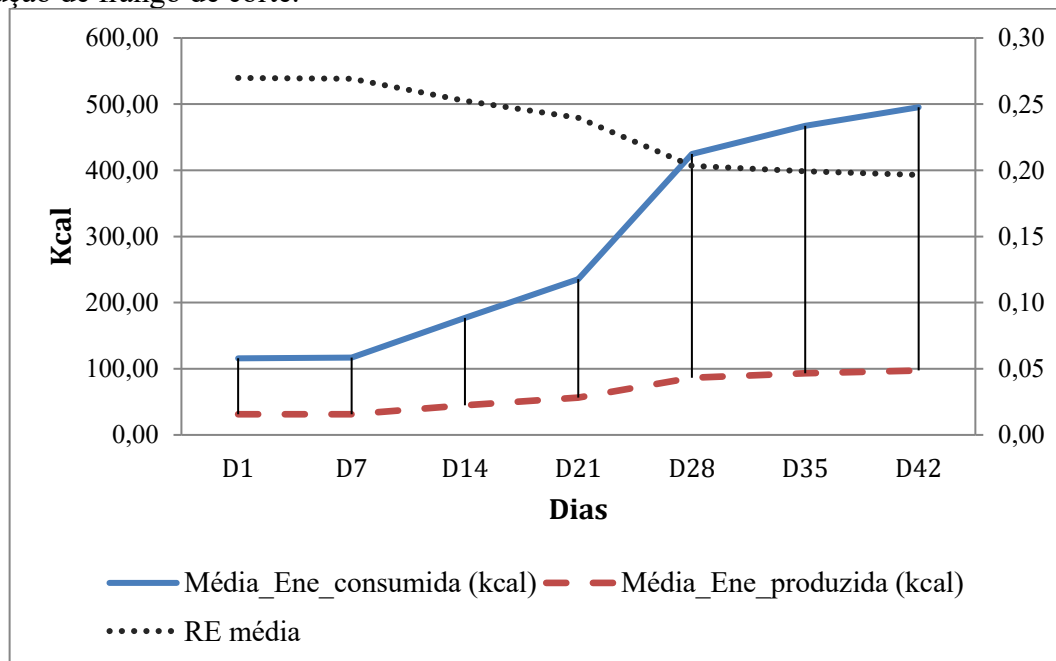
O consumo de ração aumenta progressivamente com a idade, o que se reflete em maior ingestão total de energia metabolizável e proteína bruta à medida que os animais crescem. Esse aumento no consumo é acompanhado por um crescimento corporal contínuo, porém a eficiência de conversão alimentar tende a piorar com a idade, especialmente nas fases finais do ciclo produtivo, porque à medida que as aves crescem, grande parte da energia consumida é direcionada para as demandas metabólicas de manutenção, termorregulação e síntese de tecido conjuntivo, em vez de ser convertida em tecido muscular (Lima *et al.*, 2012).

Figura 10 - Médias de proteína consumida, proteína produzida e razão proteica por dia na produção de frango de corte.



Fonte: Elaborado pela autora (2025) por meio do *software* Excel.

Figura 11 - Médias de energia consumida, energia produzida e razão energética por dia na produção de frango de corte.



Fonte: Elaborado pela autora (2025) por meio do *software* Excel.

A diminuição relativa de eficiência observada também está associada ao fato de que as fases mais iniciais da vida do frango (primeiras semanas) são caracterizadas por uma taxa de deposição de proteína corporal relativamente alta, quando os tecidos musculares estão rapidamente se formando, impulsionando uma melhor conversão de nutrientes em ganho de peso magro. Com o avanço da idade, a taxa de crescimento absoluto ainda continua, mas a

deposição de tecido muscular torna-se menos eficiente em relação ao consumo alimentar total, porque a porção de proteína da dieta destinada a outros processos fisiológicos cresce proporcionalmente ao ganho de peso (Wecke; Liebert, 2019). À medida que a ave se aproxima do peso de abate, a taxa de deposição proteica diminui e a exigência nutricional deve ser reduzida de forma estratégica para otimizar o aproveitamento dos nutrientes e minimizar desperdícios (Aviagen, 2022; Rostagno *et al.*, 2017).

Do ponto de vista da sustentabilidade, essas evidências reforçam a necessidade de se buscar alternativas que melhoram a eficiência de utilização da ração.

5 CONCLUSÃO

Verificamos que para dessedentação, o frango de corte ingere, em média, 3,26 litros de água por quilograma de carne produzida. Segundo a literatura, o consumo de água se amplia de forma significativa quando considerada a totalidade da cadeia produtiva.

No que diz respeito à relação entre consumo e produção de proteína e energia ao longo dos 42 dias de vida do frango de corte, verificou-se que as dietas comumente utilizadas demandam, em média, 862 g de proteína bruta e 13.279 kcal de energia, enquanto a carne de frango desossada fornece, aproximadamente, 207 g de proteína e 2.849 kcal de energia. Esses valores resultaram em razões proteica e energética de 0,24 e 0,22, respectivamente, evidenciando a magnitude da diferença entre os fluxos de entrada e saída de nutrientes no sistema produtivo.

6 PROPOSIÇÕES FUTURAS

No processo de busca e seleção de trabalhos relacionados ao consumo de água na produção de frangos de corte, conduzido por meio de revisão sistemática e metanálise, constatou-se que ainda são limitados os estudos que contabilizam, avaliam e comparam de forma padronizada a ingestão de água considerando os múltiplos fatores que interferem nesse consumo, tais como genética, idade, sexo, temperatura ambiente, temperatura e qualidade da água, tipo de bebedouro, entre outros. Observou-se, ainda, que são escassas as investigações que analisam o consumo hídrico sob uma perspectiva sistêmica, abrangendo toda a cadeia produtiva — desde a produção da ração até o processamento industrial da carne.

Nesse contexto, o indicador da quantidade de água ingerida por quilo de frango de corte produzido apresentado no presente trabalho, é importante porque pode auxiliar a tomada de decisão dos gestores da cadeia produtiva avícola quanto ao uso eficiente da água, visando a sustentabilidade econômica e ambiental.

Além disso, ao integrar resultados dispersos na literatura e quantificar tendências gerais, por meio de uma abordagem metodológica robusta como a revisão sistemática e metanálise, e tornar transparente as relações entre consumo e disponibilização de proteína e energia na produção de frango, o trabalho permite uma avaliação mais consistente do sistema produtivo sob a ótica da sustentabilidade. A compreensão, divulgação e discussão desses resultados permitem modelar cenários mais sustentáveis de produção de frangos de corte, contribuindo para políticas públicas e decisões de manejo que considerem não apenas a produtividade econômica, mas também a eficiência ambiental e nutricional de sistemas de produção animal diante do aumento da demanda global por proteína animal.

Como proposições futuras, destacam-se:

- a) ampliação de pesquisas que incorporem a variável água em avaliações de ciclo de vida, permitindo estimativas mais precisas da pegada hídrica direta e indireta da produção avícola;
- b) integração de dados produtivos com ferramentas de modelagem preditiva e nutrição de precisão, possibilitando ajustes dinâmicos no manejo alimentar e hídrico, com maior eficiência no uso de recursos;
- c) investigação de estratégias nutricionais que otimizem a partição de nutrientes, incluindo ajustes mais refinados na relação energia/proteína e o uso de aditivos enzimáticos, com foco na redução de excreções nitrogenadas e perdas metabólicas;

- d) avaliação de fontes alternativas de proteína e energia, como farelos de insetos, subprodutos agroindustriais, coprodutos da indústria alimentícia e biomassa microbiana, com vistas à redução da dependência de ingredientes convencionais associados a elevados impactos ambientais. Estudos futuros devem considerar não apenas o desempenho zootécnico, mas também digestibilidade, perfil aminoacídico, retenção de nutrientes, qualidade de carcaça e impactos ambientais mensurados por análises integradas. A incorporação desses ingredientes, aliada a princípios de economia circular, pode contribuir para diminuir a pressão sobre recursos naturais, reduzir emissões associadas ao uso da terra e promover maior eficiência sistêmica;
- e) construção de bases de dados colaborativas e transparentes, permitindo análises comparativas entre regiões, linhagens e sistemas produtivos, fortalecendo a tomada de decisão baseada em evidências.

Dessa forma, a continuidade das investigações nessa área poderá contribuir para o aprimoramento de sistemas avícolas mais eficientes, resilientes e alinhados aos princípios da sustentabilidade. Ao integrar eficiência nutricional, gestão hídrica, inovação em ingredientes e avaliação ambiental, a pesquisa científica reforça seu papel estratégico na promoção de uma produção de proteína animal tecnicamente fundamentada, ambientalmente responsável e socialmente comprometida.

REFERÊNCIAS

- ABDULWAHID, A. S.; MOHAMMED, A. B.; RAOUF, S. M.; ALJUMAILY, T. K. H. Effect of labazyme on growth performance, physiological parameters, and economic efficiency of broiler chickens. **World's Veterinary Journal**, Erzurum, v. 12, n. 2, p. 156-163, 2022. DOI: 10.54203/scil.2022.wvj20.
- ADASZYŃSKA-SKWIRZYŃSKA, M.; SZCZERBIŃSKA, D. The effect of lavender (*Lavandula angustifolia*) essential oil as a drinking water supplement on the production performance, blood biochemical parameters, and ileal microflora in broiler chickens. **Poultry Science**, Danville, v. 98, n. 1, p. 358-365, 2019. DOI: 10.3382/ps/pey385.
- ADASZYŃSKA-SKWIRZYŃSKA, M.; SZCZERBIŃSKA, D.; ZYCH, S. The use of lavender (*Lavandula angustifolia*) essential oil as an additive to drinking water for broiler chickens and its in vitro reaction with enrofloxacin. **Animals**, Basel, v. 11, n. 6, art. 1535, p. 1-14, 2021. DOI: 10.3390/ani11061535.
- ADEYEMI, K. D.; AUDU, S.; OLOKE, J. A.; OLADIJI, O. E.; SALAWU, K. F.; AHMED, R. A.; SULAIMON, R. O. Influence of *Crescentia cujete* and *Launaea taraxacifolia* leaves on growth, immune indices, gut microbiota, blood chemistry, carcass, and meat quality in broiler chickens. **Tropical Animal Health and Production**, Heidelberg, v. 53, n. 3, art. 365, p. 1-12, 2021. DOI: 10.1007/s11250-021-02812-1.
- AGGREY, S. E.; GHAREEB, A. F. A.; MILFORT, M. C.; ARIYO, O. W.; ARYAL, B.; HARTONO, E.; KWAKYE, J.; SOVI, S.; HIPLLE, S. A.; STEVENSON, C.; FULLER, A. L.; EL SABRY, M. I.; STINO, F.; REKAYA, R. Quantitative and molecular aspects of water intake in meat-type chickens. **Poultry Science**, Danville, v. 102, n. 11, art. 102973, p. 1-10, 2023. DOI: 10.1016/j.psj.2023.102973.
- ALFONSO-AVILA, A. R.; CIROT, O.; LAMBERT, W.; LÉTOURNEAU-MONTMINY, M. P. Effect of low-protein corn and soybean meal-based diets on nitrogen utilization, litter quality, and water consumption in broiler chicken production: insight from meta-analysis. **Animal**, Cambridge, v. 16, n. 3, art. 100458, p. 1-10, 2022. DOI: 10.1016/j.animal.2022.100458.
- ALABI, T.; ADEDOKUN, S. Amino acid nutrition in poultry: a review. **Animals**, Basel, v. 15, n. 22, art. 3323, p. 1-54, 2025. DOI: 10.3390/ani15223323.
- ALIZADEH-GHAMSARI, A. H.; SHAVIKLO, A. R.; HOSSEINI, S. A. Effects of a new generation of fish protein hydrolysate on performance, intestinal microbiology, and immunity of broiler chickens. **Journal of Animal Science and Technology**, Seoul, v. 65, n. 4, p. 804-817, 2023. DOI: 10.5187/jast.2022.e99.
- ANSARI, I.; KHALAJI, S.; HEDAYATI, M. Potassium phosphate and potassium carbonate administration by feed or drinking water improved broiler performance, bone strength, digestive phosphatase activity and phosphorus digestibility under induced heat stress conditions. **Tropical Animal Health and Production**, Heidelberg, v. 52, n. 2, p. 591-600, 2020. DOI: 10.1007/s11250-019-02046-2.

ARAÚJO, R. G. A. C.; VELA, C. G.; SARTORI, J. R.; TRINDADE NETO, M. A. Nutrient and energy balance, and amino acid digestibility in broilers fed canola meal and an exogenous enzyme combination. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 1-10, 2024. DOI: 10.1590/1806-9061-2023-1828.

ATTIA, Y. A.; ALDHALMI, A. K.; YOUSSEF, I. M.; BOVERA, F.; TUFARELLI, V.; EL-HACK, M. E. A.; EL-KHOLY, K. H.; SHUKRY, M. Climate change and its effects on poultry industry and sustainability. **Discovery Sustainability**, Cham, v. 5, art. 397, p. 1-22, 2024. DOI: 10.1007/s43621-024-00627-2.

AVIAGEN. **Ross broiler**: nutrition specifications. Huntsville: Aviagen Group, 2022. 8 p. Disponível em: <https://en.aviagen.com/>. Acesso em: 18 jan. 2025.

BAILONE, R. L.; ROÇA, R. O. Tendências no processamento de frangos de corte: uso racional da água. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 65-72, 2017. DOI: 10.1590/S1413-41522016154650.

BARBOSA, T. M.; SILVA, F. L.; RODRIZ, C. G. Q.; OLIVEIRA, R. A.; NAVARRO, R. D.; SANTANA, A. P.; MURATA, L. S. A importância da água na avicultura. **Pubvet: Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, Maringá, v. 8, n. 19, art. 1785, p. 1-22, 2015. DOI: 10.22256/pubvet.v8n19.1785.

BISWAS, A.; SARKAR, S.; DAS, S.; DUTTA, S.; CHOUDHURY, M. R.; GIRI, A.; BERA, B.; BAG, K.; MUKHERJEE, B.; BANERJEE, K.; GUPTA, D.; PAUL, D. Water scarcity: a global hindrance to sustainable development and agricultural production – a critical review of the impacts and adaptation strategies. **Cambridge Prisms: Water**, Cambridge, v. 3, art. e4, p. 1-22, 2025. DOI: 10.1017/wat.2024.16.

BORENSTEIN, M.; HEDGES, L. V.; HIGGINS, P. T.; ROTHSTEIN, H. R. **Introduction to meta-analysis**. Chichester: John Wiley & Sons, 2009. 421 p. DOI: 10.1002/9780470743386.

BRUNO, L. D. G.; MAIORCA, A.; MACARI, M.; FURLAN, R. L.; GIVISIEZ, P. E. N. Water intake behavior of broiler chickens exposed to heat stress and drinking from bell or and nipple drinkers. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 13, n. 2, p. 147-152, 2011. DOI: 10.1590/S1516-635X2011000200009.

CAI, Y.; GAO, L.; SONG, B.; SONG, Z. Lysolecithins improved growth performance, nutrient digestibility, immunity, and antioxidant ability in broiler chickens. **Animal Bioscience**, Seoul, v. 37, n. 8, p. 1408-1417, 2024. DOI: 10.5713/ab.23.0442.

CAMPEOL, E.; BRUEL, G. M.; OLDONI, B. T.; BOFF, A.; STEFFENS, C.; DALLAGO, R. M.; STEFFENS, J. Application of ultrafiltration membranes in the tertiary treatment of poultry slaughterhouse wastewater for reuse. **Global Journal of Applied Sciences and Technology**, Bentonville, v. 7, n. 2, art. 193, p. 1-7, 2025. DOI: 10.36266/GJAST/193

CAO, S.; HE, W.; QI, G.; WANG, J.; QIU, K.; AYALEW, H.; ZHANG, H.; WU, S. Inclusion of guanidinoacetic acid in a low metabolizable energy diet improves broilers growth performance by elevating energy utilization efficiency through modulation serum metabolite profile. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 102, art. skae001, p. 1-11, 2024. DOI: 10.1093/jas/skae001.

CARRA, S. H. Z.; PALHARES, J. C. P.; DRASTIG, K.; SCHNEIDER, V. E. The effect of best crop practices in the pig and poultry production on water productivity in a Southern Brazilian watershed. **Water Journal**, Tokyo, v. 12, n. 11, art. 3014, p. 1-27, 2020. DOI: 10.3390/w12113014.

CASTRO, C.; NIKNAFS, S.; GONZALEZ-ORTIZ, G.; TAN, X.; BEDFORD, M. R.; ROURA, E. Dietary xylo-oligosaccharides and arabinoxylans improved growth efficiency by reducing gut epithelial cell turnover in broiler chickens. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, London, v. 15, art. 35, p. 1-11, 2024. DOI: 10.1186/s40104-024-00991-z.

CASTRO, F. L. S.; CHAI, L.; ARANGO, J.; OWENS, C. M.; SMITH, P. A.; REICHELT, S.; DUBOIS, C.; MENCONI, A. Poultry industry paradigms: connecting the dots. **Journal of Applied Poultry Research**, Athens, v. 32, n. 1, art. 100310, p. 1-17, 2023. DOI: 10.1016/j.japr.2022.100310.

CASTRO, F. L. S.; KIM, W. K. Applied research note: exogenous lipase supplementation to low-energy, low-protein, and low-amino acid diets for broiler chickens from one to 42d. **Journal of Applied Poultry Research**, Athens, v. 30, n. 1, art. 100117, p. 1-5, 2021. DOI: 10.1016/j.japr.2020.100117.

CASTRO BEDRIÑANA, J. I.; CHIRINOS PEINADO, D. M.; SIERRA ROJAS, W. N. Use of ruminal fluid in drinking water of broilers raised in high altitude conditions. **Revista de Investigaciones Veterinarias del Peru**, Lima, v. 29, n. 4, p. 1259-1267, 2018. DOI: 10.15381/rivep.v29i4.12972.

CHOI, P. S.; TAJUDEEN, H.; YUNG, W. Y.; MUN, J. Y.; HA, S. H.; HOSSEINDOUST, A.; PARK, S.; PARK, S. I.; SILVESTRE, P. N.; LOKHANDE, A.; INGALE, S.; KIM, J. S. Phytase and nutrient-energy matrix: a strategic approach to enhancing the performance of broiler chickens fed a corn-soybean meal-based diet. **Animal Bioscience**, Seoul, v. 38, n. 3, p. 522-529, 2025. Epub 28 Oct. 2024. DOI: 10.5713/ab.24.0565.

CIURESCU, G.; VASILACHI, A.; ROPOTĂ, M. Effect of dietary cowpea (*Vigna unguiculata* [L] Walp) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) seeds on growth performance, blood parameters and breast meat fatty acids in broiler chickens. **Italian Journal of Animal Science**, Pavia, v. 21, n. 1, p. 97-105, 2022. Epub 29 Dec. 2021. DOI: 10.1080/1828051X.2021.2019620.

COLOMBINO, E.; KARIMI, M.; NU, M. A. T.; TILATTI, A. A.; ODDON, S. B.; CALINI, F. BERGAMINO, C.; FIORILLA, E.; GARIGLIO, M.; GAI, F.; CAPUCCHIO, M. T.; SCHIAVONE, A.; GASCO, L.; BIASATO, I. Effects of feeding a thermomechanical, enzyme-facilitated, coprocessed yeast and soybean meal on growth performance, organ weights, leg health, and gut development of broiler chickens. **Poultry Science**, Danville, v. 102, n. 5, art. 102578, p. 1-17, 2023. DOI: 10.1016/j.psj.2023.102578.

CUADRADO, M. F.; DRIDI, S. Impact of heat stress on poultry production: feed intake, water homeostasis, gut integrity, and meat quality. **German Journal of Veterinary Research**, Weisbaden, v. 4, n. 4, p. 43-51, 2024. DOI: 10.51585/gjvr.2024.4.0108

DEMIRCI, M.; EVCI, S.; KARSLI, M. A.; SENOL, A. Effects of free capric acid, lauric acid, and coconut oil supplementation on performance, carcass, and some blood biochemical parameters of broiler chickens. **Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences**, Ankara, v. 47, n. 2, p. 138-145, 2023. DOI: 10.55730/1300-0128.4278.

DERAKHSHAN, M.; GHASEMIAN, S. O.; GHOLAMI-AHANGARAN, M. The effects of probiotic and phytase on growth performance, biochemical parameters and antioxidant capacity in broiler chickens. **Veterinary Medicine and Science**, Oxford, v. 9, n. 2, p. 860-866, 2023. DOI: 10.1002/vms3.1075.

EBRAHIMI, N. A.; NOBAKHT, A.; İNCİ, H.; PALANGI, V.; SUPLATA, M.; LACKNER, M. Drinking water quality management for broiler performance and carcass characteristics. **World**, Basel, v. 5, n. 4, p. 952-961, 2024. DOI: 10.3390/world5040048.

EGGER, M.; SMITH, G. D.; SCHNEIDER, M.; MINDER, C. Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. **BMJ: British Medical Journal**, London, v. 315, n. 7109, p. 629-634, 1997. DOI: 10.1136/bmj.315.7109.629.

EL LATIF, M. A.; ABDEL-WARETH, A. A. A.; DALEY, M.; LOHAKARE, J. Effect of dietary orange peel meal and multi-enzymes on productive, physiological and nutritional responses of broiler chickens. **Animals**, Basel, v. 13, n. 15, art. 2473, p. 1-14, 2023. DOI: 10.3390/ani13152473.

EL SABRY, M. I.; ROMEIH, Z. U.; STINO, F. K. R.; KHOSHT, A. R.; AGGREY, S. E. Water scarcity can be a critical limitation for the poultry industry. **Tropical Animal Health and Production**, Heidelberg, v. 55, art. 215, p. 1-9, 2023. DOI: 10.1007/s11250-023-03599-z.

ERENER, G.; YESILTEPE, P.; GUNGOR, E.; OZLU, S.; ALTOP, A. The effects of infused olive leaf offered with drinking water on growth performance, ileum histomorphologic characteristics, and some cecal microorganism counts of broiler chickens. **Tropical Animal Health and Production**, Heidelberg, v. 55, n. 6, art. 366, p. 1-11, 2023.

FOCUS MANAGEMENT GROUP. **Poultry processing economic review**. Tampa: Focus Management Group, 2012. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/133629730/Poultry-Processing-Economic-Review-Focus-Management-Group-2012>. Acesso em: 20 jan. 2025.

GALVÃO, T. F.; PANSANI, T. S. A.; HARRAD, D. Principais itens para relatar Revisões Sistemáticas e Meta-análises: a recomendação PRISMA. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, DF, v. 24, n. 2, p. 335-342, 2015. DOI: 10.5123/S1679-49742015000200017.

GERBENS-LEENES, P. W.; MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. The water footprint of poultry, pork and beef: a comparative study in diferente countries and production systems. **Water Resources and Industry**, Amsterdam, v. 1-2, p. 25-36, 2013. DOI: 10.1016/j.wri.2013.03.001.

GHASANFARI, S.; GHZGHAPAN, A. S.; GHZGHAPAN, S. Effects of peppermint essential oil and artifier on growth performance, carcass characteristics and nutrient digestibilities in broiler chickens fed with low energy diets. **Veterinary and Animal Science**, Amsterdam, v. 24, art. 100354, p. 1-7, 2024. DOI: 10.1016/j.vas.2024.100354.

GHOLAMI, M.; CHAMANI, M.; SEIDAVI, A.; SADEGHI, A. A.; AMINAFSCHAR, M. Effects of stocking density and environmental conditions on performance, immunity, carcass characteristics, blood constitutes, and economical parameters of Cobb 500 strain broiler chickens. **Italian Journal of Animal Science**, Pavia, v. 19, n. 1, p. 524-535, 2020. DOI: 10.1080/1828051X.2020.1757522.

GHOLAMI, M.; SHIRZADI, H.; TAHERPOUR, K.; RAHMATNEJAD, E.; SHOKRI, A.; KHATIBJOO, A. Effect of emulsifier on growth performance, nutrient digestibility, intestinal morphology, faecal microbiology and blood biochemistry of broiler chickens fed low-energy diets. **Veterinary Medicine and Science**, Oxford, v. 10, n. 3, art. e1437, p. 1-9, 2024. DOI: 10.1002/vms3.1437.

GOLSHAHI, A.; SHAMSH SHARGH, M.; DASTAR, B.; RAHMATNEJAD, E. The effect of thymus vulgaris extract and probiotic on growth performance, blood parameters, intestinal morphology, and litter quality of broiler chickens fed low-protein diets. **Poultry Science**, Danville, v. 104, n. 1, art. 104554, p. 1-10, 2024. DOI: 10.1016/j.psj.2024.104554.

GOPI, M.; ROKADE, J. J.; KOLLURI, G.; SHYAMKUMAR, T. S.; PRABAKAR, G.; MADHUPRIYA, V.; TYAGI, J. S. Supplementary nucleosides improve the performance through enhanced enzyme activity, intestinal development and transporter genes in broiler chickens. **Nucleosides, Nucleotides and Nucleic Acids**, Philadelphia, v. 42, n. 7, p. 547-562, 2023. DOI: 10.1080/15257770.2023.2169454.

HANCHAI, K.; TRAIRATAPIWAN, T.; LERTPATARAKOMOL, R. Drinking water supplemented with wood vinegar on growth performance, intestinal morphology, and gut microbial of broiler chickens. **Veterinary World**, Rajkot, v. 14, n. 1, p. 92-96, 2021. DOI: 10.14202/vetworld.2021.92-96.

HARGITAI, R. H. ; SEBESTYÉN, V.; SOMOGYI, V. Potential water reuse pathways from a life cycle analysis perspective in the poultry industry. **Journal of Water Process Engineering**, Amsterdam, v. 54, art. 105577, p. 1-11, 2024. DOI: 10.1016/j.jwpe.2024.105577.

HEDGES, L. V.; OLKIN, I. **Statistical methods for meta-analysis**. Orlando: Academic Press, 1985. 369 p.

HERNÁNDEZ-CORONADO, A. C.; SILVA-VÁSQUEZ, R.; RANGEL-NAVA, Z. E.; HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, C. A.; KAWAS-GARZA, J. R.; HUME, M. E.; MÉNDEZ-ZAMORA, G. Mexican oregano essential oils given in drinking water on performance, carcass traits, and meat quality of broilers. **Poultry Science**, Danville, v. 98, n. 7, p. 3050-3058, 2019. DOI: 10.3382/ps/pez094.

HIGGINS, J. P. T.; THOMAS, J.; CHANDLER, J.; CUMPSTON, M.; LI, T.; PAGE, M. J.; WELCH, V. A. (ed.). **Cochrane handbook for systematic reviews of interventions**. 2nd. ed. Chichester: Wiley, 2022.

HIGGINS, J. P. T.; THOMPSON, S. G.; DEEKS, J. J.; ALTMAN, D. G. Measuring inconsistency in meta-analyses. **BMJ: British Medical Journal**, London, v. 327, n. 7414, p. 557-560, 2003. DOI: 10.1136/bmj.327.7414.557.

HILTZ, J. Z.; ORLOWSKI, S. K.; HARRINGTON, L. N.; MAYNARD, C. W.; TABLER, T. W.; ANTHONY, N. B. Applied research note: development of a novel low flow water monitoring system in poultry/agriculture systems. **Journal of Applied Poultry Research**, Athens, v. 30, n. 2, art. 100151, p. 1-6, 2021. DOI: 10.1016/j.japr.2021.100151.

HOQUE, M.; AKASH; MONDAL, S.; ADUSUMILLI, S. Way forward for sustainable livestock sector. *In*: MONDAL, S.; SINGH, R. L. (ed.). **Emerging issues in climate smart livestock production: biological tools and techniques**. London: Academic Press, 2022. p. 473-488. DOI: 10.1016/B978-0-12-822265-2.00016-8.

HOSSEINZADEH, S.; SHARIATMADARI, F.; TORSHIZI, M. A. K.; AJMADI, H.; SCHOLEY, D. Plectranthus amboinicus and rosemary (Rosmarinus officinalis L.) essential oils effects on performance, antioxidant activity, intestinal health, immune response, and plasma biochemistry in broiler chickens. **Food Science and Nutrition**, Malden, v. 11, n. 7, p. 3939-3948, 2023. DOI: 10.1002/fsn3.3380.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR MIGRATION – IOM. **Migration, environment and climate change: assessing the evidence**. Geneva: IOM, 2021. 441 p. Disponível em: https://publications.iom.int/system/files/pdf/migration_and_environment.pdf. Acesso em: 18 jan. 2024.

JALAL, P.; SHARIFI, S. D.; HONARBAKHSH, S.; ROUHANIPOUR, H. Effects of low energy diets supplemented with emulsifier on growth performance, nutrient digestibility, and intestinal morphology of broiler chickens. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 289, art. 105581, p. 1-9, 2024. DOI: 10.1016/j.livsci.2024.105581.

JI, X.; HOU, H.; WANG, X.; QIU, Y.; MA, Y.; WANG, S.; GUO, S.; HUANG, S.; ZAHNG, C. Effect of dietary Glycyrrhiza polysaccharides on growth performance, hepatic antioxidant capacity and anti-inflammatory capacity of broiler chickens. **Research in Veterinary Science**, London, v. 167, art. 105114, p. 1-10, 2024. DOI: 10.1016/j.rvsc.2023.105114.

KHALIL, M. M.; ADBOLLAHI, M. R.; ZAEFARIAN, F.; CHRYSTAL, P. V.; RAVINDRAN, V. Broiler age influences the apparent metabolizable energy of soybean meal and canola meal. **Animals**, Basel, v. 13, n. 2, p. 219, 2023. DOI: 10.3390/ani13020219.

LEESON, S.; SUMMERS, J. D. **Commercial poultry nutrition**. 3rd. ed. Nottingham: Nottingham University Press, 2005. 398 p.

LERTPIMONPAN, S.; RAKANGTHONG, C.; BUNCHASAK, C.; LOONGYAI, W. Effects of fermented potato protein supplementation in drinking water on growth performance, carcass characteristics, small intestinal morphology and expression of IGF-1 and GHR genes in the liver of broiler chickens. **Indian Journal of Animal Research**, Karnal, v. 53, n. 5, p. 622-627, 2019. DOI: 10.18805/ijar.B-1102.

LIMA, G. J. M. M.; PIOZCOVSKI, G. D. Água: principal alimento na produção animal. In: SIMPÓSIO PRODUÇÃO ANIMAL E RECURSOS HÍDRICOS, 1., 2010, Concórdia, SC. **Anais [...]**. Concórdia, SC: Embrapa Suínos e Aves, 2010. p. 13-20.

LIMA, M. N.; RABELLO, C. B. V.; SILVA, E. P.; LIMA, R. B.; ARRUDA, E. M. F.; ALBINO, L. F. T. Effect of broiler chicken age on ileal digestibility of corn germ meal. *Acta Scientiarum*. **Acta Scientiarum, Animal Sciences**, Maringá, v. 34, n. 2, p. 137-141, 2012. DOI: 10.4025/actascianimsci.v34i2.11812.

LIN, H.; JIAO, H. C.; BUYSE, J.; DECUYPERE, E. Strategies for preventing heat stress in poultry. **World's Poultry Science Journal**, London, v. 62, p. 71-86, 2018. DOI: 10.1079/WPS200585.

LIU, G.; CASTRO, F. L. S.; KIM, W. K. Applied research note: Exogenous protease supplementation to reduced-energy, reduced-protein, and reduced-amino acid diets for broiler chickens from days 1 to 42. **Journal of Applied Poultry Research**, Athens, v. 32, n. 3, art. 100362, p. 1-5, 2023. DOI: 10.1016/j.japr.2023.100362.

LIU, S. Y.; MACELLINE, S. P.; CHRYSTAL, P. V.; SELLE, P. H. Progress towards reduced-crude protein diets for broiler chickens and sustainable chicken-meat production. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, Londres, v. 12, n. 1, art. 20, p. 1-13, 2021. DOI: 10.1186/s40104-021-00550-w.

MANNING, L.; CHADD, S. A.; BAINES, R. N. Water consumption in broiler chicken: a welfare indicator. **World's Poultry Science Journal**, London, v. 63, n. 1, p. 63-71, 2007. DOI: 10.1017/S0043933907001274.

- MATTON, B.; VERHELLE, A.; VLERICK, L.; KEIRSSCHIETER, K.; SAREMI, B. Feeding broilers with reduced dietary crude protein or reduced soybean meal diets has no negative impact on the performance and carcass traits while reducing the feed global warming potential. **Animals**, Basel, v. 15, n. 12, art. 1753, p. 1-17, 2025. DOI: 10.3390/ani15121753.
- MORITZ, A. H.; BRIDGES, W. C.; WILSON, S.; BLAIR, M. E.; BURESH, R. E.; PAS; STRICKLAND, J. R.; ARGUELLES-RAMOS, M. Effects of select tannin-free grain sorghum varieties on the performance, carcass traits, intestinal morphology, and gene expression of jejunal mucosa of broiler chickens. **Applied Animal Science**, New York, v. 38, n. 6, p. 592-606, 2022. DOI: 10.15232/aas.2022-02329.
- MURAWSKA, D.; DASZKIEWICZ, T.; SOBOTKA, W.; GESEK, M.; WITKOWSKA, D.; MATUSEVICIUS, P.; BAKULA, T. Partial and total replacement of soybean meal with full-fat black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal in broiler chicken diets: impact on growth performance, carcass quality and meat quality. **Animals**, Basel, v. 11, n. 9, art. 2715, p. 1-17, 2021. DOI: 10.3390/ani11092715.
- MUSIGWA, S.; COZANNET, P.; ASIAMAH, C. A.; WU, S.-B. Effects of dietary protein levels, net energy levels, and essential amino acid-to-true protein ratios on broiler performance. **Animals**, Basel, v. 14, n. 21, art. 3065, p. 1-14, 2024. DOI: 10.3390/ani14213065.
- NABAVI-PELESARAEI, A.; SADEGHZADEH, A.; PAYMAN, M. H.; MOBTAKER, H. G. An analysis of energy use, CO₂ emissions and relation between energy inputs and yield of hazelnut production in Guilan province of Iran. **International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research**, Istanbul, v. 1, n. 12, p. 1601-1613, 2013.
- NAMTED, S.; RAKANGTHONG, C. Effect of supplementing magnesium picolinate in drinking water on growth performance, meat quality and cecal *E. Coli* of broiler reared under tropical conditions. **Thai Journal of Veterinary Medicine**, Krump Thep, v. 49, n. 4, p. 353-359, 2019. DOI: 10.56808/2985-1130.3000.
- NATIONAL ADVISORY COMMITTEE ON MICROBIOLOGICAL CRITERIA FOR FOODS (NACMCF). The use of water in animal production, slaughter, and processing. **Journal of Food Protection**, Ames, v. 85, n. 12, p. 1756-1778, 2022. DOI: 10.4315/JFP-22-144.
- NIU, J.; QIAO, Y.; YANG, X.; CHEN, X.; LI, H.; GUO, Y.; ZHANG, W.; WANG, Z. Protease and *Bacillus coagulans* supplementation in a low-protein diet improves broiler growth, promotes amino acid transport gene activity, strengthens intestinal barriers, and alters the cecal microbial composition. **Animals**, Basel, v. 15, n. 2, art. 170, p. 1-20, 2025. DOI: 10.3390/ani15020170.
- NOBLET, J.; TAY-ZAR, A.-C.; WU, S.; SRICHANA, P.; COZANNET, P.; GERAERT, P.-A.; CHOCT, M. Re-evaluation of recent research on metabolic utilization of energy in poultry: recommendations for a net energy system for broilers. **Animal Nutrition**, Beijing, v. 16, p. 62-72, 2024. DOI: 10.1016/j.aninu.2023.10.006

NOORMOHAMMADI, A.; VARKOOHI, S.; SEYEDABADI, H. R. Effect of phytase and xylanase enzymes on growth performance and Mucin2 gene expression in broiler chickens. **Veterinary Medicine and Science**, Oxford, v. 9, n. 3, p. 1241-1248, 2023. DOI: 10.1002/vms3.1113.

OLORUNTOLA, O. D. Utilization of processed kola nut husk meal in poultry production: effects on the performance, carcass, biochemical indicators, and antioxidant enzymes of broiler chickens. **Waste and Biomass Valorization**, Dordrecht, v. 13, n. 7, p. 3255-3263, 2022. DOI: 10.1007/s12649-022-01730-z.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT – OECD. **Water resources governance in Brazil**. Paris: OECD, 2015. 282 p. Disponível em: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2015/09/water-resources-governance-in-brazil_g1g5757c/9789264238121-en.pdf. Acesso em: jan. 2024.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD); FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **OECD-FAO Agricultural Outlook 2025–2034**. Paris; Roma: OECD-FAO, 2025. 163 p. Disponível em: https://www.oecd.org/en/publications/2025/07/oecd-fao-agricultural-outlook-2025-2034_601276cd-en.pdf. Acesso em: 18 dez. 2025.

PACHECO, J. C.; MOITA NETO, J. M.; SILVA, E. A. Desempenho ambiental da produção de ração para frango de corte no Piauí. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p. 707-716, 2018. DOI: 10.1590/S1413-41522018164653.

PACHECO, J. C.; MOITA NETO, J. M.; SILVA, E. A. Impactos ambientais e formulação de ração para frango de corte. **LALCA: Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida**, Brasília, DF, v. 2, n. 2, p. 97-109, 2022. DOI: 10.18225/lalca.v1iEspec.4327.

PALHARES, J. Water footprint and nutrient efficiency in swine and poultry. *In*: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 54., 2017, Foz do Iguaçu, PR. **Proceedings** [...]. Foz do Iguaçu: SBZ, 2017. p. 256-269.

PIRES, M. F.; LEANDOR, N. S. M.; CAFÉ, M. B.; CARVALHO, F. B.; JACOB, D. V.; NOKETO-MENDONÇA, R. A.; ASSIS, S. D.; MARTINS, J. M. S. Protected sodium butyrate in chicken diets until 21 days of age improves intestinal development and performance. **South African Journal of Animal Science**, Pretoria, v. 52, n. 5, p. 591-602, 2023. DOI: 10.4314/sajas.v52i5.03.

PIRGOZLIEV, V.; WHITING, I. M.; MANSBRIDGE, S. C.; ENCHEV, S.; ROSE, S. P.; KLJAK, K.; JOHNSON, A. E.; DRIJFHOUT, F.; ORCZEWSKA-DUDEK, S. O.; ATANASOV, A. G. Effect of rearing temperature on physiological measures and antioxidant status of broiler chickens fed stevia (*Stevia rebaudiana* B.) leaf meal and exogenous xylanase. **Current Research in Biotechnology**, Amsterdam, v. 3, p. 173-181, 2021. DOI: 10.1016/j.crbiot.2021.05.005.

RAUGLAUDRE, T.; MÉDA, B.; FONTAINE, S.; LAMBERT, W.; FOURNEL, S.; LÉTOURNEAU-MONTMINY, M.-P. Meta-analysis of the effect of low-protein diets on the growth performance, nitrogen excretion, and fat deposition in broilers. **Frontiers in Animal Science**, Lausanne, v. 4, art. 1214076, p. 1-8, 2023. DOI: 10.3389/fanim.2023.1214076.

REZVANI, M. R; SHOJAEE, A. Effect of adding watermelon juice, vitamin e-selenium, and vitamin C into the drinking water on growth performance, internal organs' weight and prececal. **Poultry Science Journal**, Gorgan, v. 9, n.1, p. 53-60, 2021. DOI: 10.22069/psj.2021.18461.1643

RODRIGUES, V. D. V.; WANDER, A. E.; SOUSA, V. R. Evaluating sustainable practices in broiler production: a life cycle analysis in Goiás, Brazil. **Revista em Agropecuária e Meio Ambiente - RAMA**, Maringá, v. 18, e13508, p. 1-14, 2025. DOI: 10.17765/2176-9168.2025v18e13508.

ROEVER, L. **Guia prático de revisão sistemática e metanálise**. Rio de Janeiro: Thieme, 2020. 86 p.

ROSTAGNO, H. S. (ed.). **Tabelas brasileiras para aves e suínos**: composição de alimentos e exigências nutricionais. 4. ed. Viçosa: UFV, 2017. 488 p.

SAATH, K. C. O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do Fator Terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, DF, v. 56, n. 2, p. 195-212, 2018. DOI: 10.1590/1234-56781806-94790560201.

SABINO, H. F. N.; SAKOMURA, N. K.; NEME, R.; FREITAS, E. R. Níveis protéicos na ração de frangos de corte na fase de crescimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 5, p. 407-412, 2004. DOI: 10.1590/S0100-204X2004000500001.

SADARMAN, R. A.; HAMID, A.; SALEH, E.; ZAIN, W. N. H.; SHOLIKIN, M. M.; PRIHAMBODO, R. P. H.; HARAHAP, R. P.; SOLFAINE, R.; SOFYAN, A.; IRAWAN, A. The effects of mixed vitamins, minerals, fatty acids and amino acids supplementation into drinking water on broiler chickens' performance and carcass traits. **Journal of World's Poultry Research**, Maragheh, v. 11, n. 1, p. 47-52, 2021. DOI: <https://dx.doi.org/10.36380/jwpr.2021.7>.

SADEGHI, N.; NAVIDSHAD, B.; MOKKARAMI, T.; KALANTARI-HESARI, A.; MIRZAEI, F. Effects of reduced dietary crude protein and amino acids on the performance, carcass characteristics and intestinal morphology of broiler chickens. **Poultry Science Journal**, Gorgan, v. 12, n. 2, p. 259-269, 2024. DOI: 10.22069/PSJ.2024.22294.2060.

SALAH, A.; SHAHIR, M. H.; ATTIA, Y. A.; FAHMY, K. N. E.-D.; BOVERA, F.; TUFARELLI, V. Impact of low-protein diets on broiler nutrition, production sustainability, gene expression, meat quality and greenhouse gas emissions. **Journal of Applied Animal Research**, Janakpuri, v. 53, n. 1, art. 2473419, p. 1-16, 2025. DOI: 10.1080/09712119.2025.2473419.

SANTOS, C. M. C.; PIMENTA, C. A. M.; NOBRE, M. R. C. A estratégia PICO para a construção da pergunta de pesquisa e busca de evidências. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 508-511, 2007. DOI: 10.1590/S0104-11692007000300023.

SAVARAM, V. R. R.; MANTENA, V. L. N. R.; BHUKYA, P.; PAUL, S. S.; DEVANABOYINA, N. Effect of methyl donors supplementation on performance, immune responses and anti-oxidant variables in broiler chicken fed diet without supplemental methionine. **Animal Bioscience**, Seoul, v. 35, n. 3, p. 475-483, 2022. Epub 24 jun. 2021. DOI: 10.5713/ab.20.0812.

SHAN, C.; LIU, Y.; MA, C.; LI, C.; LIU, S.; LIU, S.; JIANG, G.; TIAN, J. Dietary supplementation with *Clostridium autoethanogenum* protein improves growth performance and promotes muscle protein synthesis by activating the mTOR signaling pathway of broiler chickens. **Frontiers in Veterinary Science**, Lausanne, v. 11, art. 1389738, p. 1-13, 2024. DOI: 10.3389/fvets.2024.1389738.

SHEPON, A.; ESHEL, G.; NOOR, E.; MILO, R. Energy and protein feed-to-food conversion efficiencies in the US and potential food security gains from dietary changes. **Environmental Research Letters**, Bristol, v. 11, n. 10, art. 105002, p. 1-9, 2016. DOI: 10.1088/1748-9326/11/10/1050.

SILVA, J. F. A.; PEREIRA, R. G. Panorama global da distribuição e uso de água doce. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Aquidabã, v. 10, n. 3, p. 263-280, 2019. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2019.003.0023.

SOARES, L. F.; RIBEIRO, A. M. L.; PENZ JUNIOR, A. M.; GHIOTTI, A. Influência da restrição de água e ração durante a fase pré-inicial no desempenho de frangos de corte até os 42 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 36, n. 5, p. 1579-1589, 2007. Suplemento. DOI: 10.1590/S1516-35982007000700017.

SOARES, N. M. **Quantidade e qualidade da água na produção de aves**. Engormix, 17 ago. 2010. Disponível em: https://pt.engormix.com/avicultura/a-agua-avicultura/quantidade-qualidade-agua-producao_a36916/. Acesso em: 20 jan. 2024.

SOBOTIK, E. B.; HOUSE, G. M.; DIMAS, A. T.; BELLO, A.; DERSJANT-LI, Y.; HILTON, K.; MUSSINI, F.; REMUS, J.; ARCHER, G. S. Two studies evaluated the effects of a novel consensus bacterial 6-phytase variant on the growth performance of broilers fed corn/soybean diets and deficient in nutrients and energy. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 286, art. 105498, p. 1-11, 2024a. DOI: 10.1016/j.livsci.2024.105498.

SOBOTIK, E. B.; HOUSE, G. M.; STIEWERT, A. M.; BELLO, A.; DERSJANT-LI, Y.; MARCHAL, L.; ARCHER, G. S. Effects of a novel consensus bacterial 6-phytase variant on growth performance and bone ash of broilers fed complex diets highly deficient in minerals, digestible amino acids and energy through 42 days of age. **Animals**, Basel, v. 14, n. 11, art. 1563, p. 1-14, 2024b. DOI: 10.3390/ani14111563.

SOLIHA, K.; DONO, N. D.; ARIYADI, B.; ZUPRIZAL, A. Growth performance and intestinal health of broiler chickens supplemented with coriander oil nanoemulsion in drinking water. **Tropical Animal Science Journal**, Bogor, v. 46, n. 1, p. 55-62, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5398/tasj.2023.46.1>.

SUN, T.; KALIA, S.; WYMAN, B. M.; OU, K. J.; LEI, X. G. Impacts of feeding three strains of microalgae alone or in combination on growth performance, protein metabolism, and meat quality of broiler chickens. **Algal Research**, Amsterdam, v. 78, art. 103691, p. 1-9, 2024. DOI: 10.1016/j.algal.2024.103691.

SUTTON, A. J.; ABRAMS, K. R.; JONES, D. R.; SHELDON, T. A.; SONG, F. **Methods for meta-analysis in medical research**. Chichester: John Wiley & Sons, 2000. 317 p.

TAVARES, F. B.; LIMA, K. R. S.; MANNO, M. C.; BARATA, Y. M. L.; PINHEIRO, H. C. O.; ARRUFÁ, J. C. B.; FATURI, C. Effect of exogenous emulsifier and different fat sources on the performance, carcass characteristics, nutrient digestibility, and serum lipid profile of broiler chickens. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, São Paulo, v. 59, art. e189542, p. 1-10, 2022. DOI: 10.11606/issn.1678-4456.bjvras.2022.189542.

TOGASHI, C. K.; ÂNGELA, H. L.; FREITAS, E. R.; GUASTALLI, E. A. L.; BUIM, M. R.; GAMA, N. M. S. Q. Effect of the drinking system on water quality and laying hen performance and egg quality. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. 8, p. 1450-1455, 2008. DOI: 10.1590/S1516-35982008000800016.

TOGHYANI, M.; MACELLINE, S. P.; GREENHALGH, S.; CHRYSTAL, P. V.; SELLE, P. H.; LIU, S. Y. Optimum inclusion rate of barley in diets of meat chickens: an incremental and practical program. **Animal Production Science**, Melbourne, v. 62, n. 7, p. 645-660, 2022. DOI: 10.1071/AN21437.

TOGHYANI, M.; MACELLINE, S. P.; SELLE, P. H.; LIU, S. Y. Interactive effects of dietary energy levels with amino acid density on growth performance and optimal digestible Lys to energy ratio of male broiler chickens. **Poultry Science**, Danville, v. 103, n. 12, art. 104361, p. 1-12, 2024. DOI: 10.1016/j.psj.2024.104361.

UNICAMP. Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação. **Tabela brasileira de composição de alimentos – TACO**. 4. ed. rev. e ampl. Campinas: NEPA/UNICAMP, 2011. 161 p.

VAN EMMENES, L.; PIETERSE, E.; HOFFMAN, L. C. Performance, water intake, carcass characteristics and intestinal histomorphology of broilers supplemented with phytase. **South African Journal of Animal Science**, Pretoria, v. 48, n. 4, p. 734-742, 2018. DOI: 10.4314/sajas.v48i4.15.

VIEIRA, V. A. **Meta-análise: metodologia, pesquisa e análise de dados**. Florianópolis: UFSC, 2017. 111 p.

VIEIRA, S. L.; FREITAS, C. R.; HORN, R. M.; FAVERO, A.; KINDLEIN, L.; SORBARA, J. O. B.; UMAR-FARUK, M. Growth performance and nutrient digestibility of broiler chickens as affected by a novel protease. **Frontiers in Animal Science**, Lausanne, v. 3, art. 1040051, p. 1-9, 2023. DOI: 10.3389/fanim.2022.1040051.

VIOLA, E. S.; VIOLA, T. H.; LIMA, G. J. M. M.; ÁVILA, V. S. Água na avicultura: importância, qualidade e exigências. *In*: PALHARES, J. C. P.; KUNZ, A. (ed.). **Manejo ambiental na avicultura**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. p. 35-124. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/920814/1/aguanaavicultura.pdf>. Acesso em: jan. 2024.

XIE, C.; MACELLINE, S. P.; LIU, S.; TOGHYANI, M. Optimizing dietary energy and amino acid densities in male broiler chickens: impacts on performance, cost efficiency, and carcass quality. **Journal of Applied Poultry Research**, Athens, v. 33, n. 4, art. 100492, p. 1-8, 2024. DOI: 10.1016/j.japr.2024.100492.

WANG, B.; ZHANG, X.; LIU, Y.; GAO, M.; GUO, Y.; MI, W.; WANG, Y.; WANG, X.; GUO, Y. Assessment of the dietary amino acid profiles and the relative biomarkers for amino acid balance in the low-protein diets for broiler chickens. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, London, v. 15, n. 1, art. 157, p. 1-29, 2024. DOI: 10.1186/s40104-024-01108-2

WECKE, C.; LIEBERT, F. Age and gender dependent deposition of crude nutrients and energy in fast growing meat-type chickens. **Open Journal of Animal Sciences**, Irvine, v. 9, p. 35-50, 2019. DOI: 10.4236/ojas.2019.91003.

WORLD BANK. **Water for food and energy security**: an assessment of the impacts of climate change on water resources. Washington, DC: World Bank, 2022. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/2e758faa-e0ad-55a1-9743-81642be650bf>. Acesso em: jan. 2024.

WORLD RESOURCES INSTITUTE – WRI. **25 countries face extremely high water stress by 2050, threatening GDP and food security**. Washington, DC: World Resources Institute, 2023. Disponível em: <https://www.wri.org/insights/highest-water-stressed-countries>. Acesso em: jan. 2024.

ZHANG, L.; HUAN, H.; ZHANG, K.; TU, Y.; YAN, J.; ZHANG, H.; XI, Y. The effects of β -mannanase supplementation on growth performance, digestive enzyme activity, cecal microbial communities, and short-chain fatty acid production in broiler chickens fed diets with different metabolizable energy levels. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 102, art. skae184, p. 1-14, 2024. DOI: 10.1093/jas/skae184.

ZIMMERMANN, K.; ABADI, A. M.; BRAUMAN, K. A.; MAESTU, J.; OUDE ESSINK, G.; SCHUSTER-WALLACE, C.; SMITH, R.; MADANI, K.; ADEEL, Z.; GRIBBLE, M. O. Addressing water scarcity to support climate resilience and human health. **Integrated Environmental Assessment and Management**, Oxford, v. 21, n. 2, p. 291-300, 2025. DOI: 10.1093/inteam/vjaf001.

APÊNDICE A – PUBLICAÇÃO ORIGINADA

ARTIGO

FURLAN, C. P. R.; PINTO, M. F.; FARIA JUNIOR, M. J. Levantamento da ingestão de água na produção de frango de corte: revisão sistemática e meta-análise. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, Malaga, v. 18, n. 5, art. e17870, p. 1-19, 2025. DOI: 10.55905/REVCONV.18N.5-208.

SIMPÓSIO

FURLAN, C. P. R.; PINTO, M. F.; FARIA JUNIOR, M. J. Balanço de nutrientes na produção de frango de corte: revisão sistemática e meta-análise. *In*: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL, 16.; SEMANA DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA, 24., 2025, Araçatuba. **Anais [...]**. Araçatuba: Unesp/FMVA, 2025.