# ALIMENTOS FUNCIONAIS E ADITIVOS NUTRICIONAIS

## NA NUTRIÇÃO ANIMAL



Anna Caroline Silva de Oliveira
Marcos Vinicios Pinheiro Matias
Diovanna Fernandes Abreu
Edilane da Conceição Silva Costa
Iris Nara Fernanda Andrade Barbosa
Juliana Ferreira Reis
Layse Gabrielle Moraes Sousa
Potira Correa da Silva
Sandra Cristina de Ávila

# ALIMENTOS FUNCIONAIS E ADITIVOS NUTRICIONAIS NA NUTRIÇÃO ANIMAL

**Anna Caroline Silva de Oliveira**
**Marcos Vinicios Pinheiro Matias**
**Diovanna Fernandes Abreu**
**Edilane da Conceição Silva Costa**
**Iris Nara Fernanda Andrade Barbosa**
**Juliana Ferreira Reis**
**Layse Gabrielle Moraes Sousa**
**Potira Correa da Silva**
**Sandra Cristina de Ávila**

Editora

## Conselho Editorial:

1. Pós-Dr. Sérgio Nunes de Jesus – Rondônia, Brasil
2. Pós-Dra. Fabíola Ornellas de Araújo - São Paulo, SP
3. Pós-Dr. José Crisólogo de Sales Silva - São Paulo, Brasil.
4. Dr. Eliuvomar Cruz da Silva – Amazonas, Brasil.
5. Dra. Laury Vander Leandro de Souza – São Paulo, Brasil
6. Dr. Maurício Antônio de Araújo Gomes - Massachusetts, EUA
7. Dr. Jorge Adrihan N. Moraes – Paraguai
8. Dr. Eduardo Gomes da Silva Filho - Roraima, Brasil.
9. Dra. Ivanise Nazaré Mendes - Rondônia, Brasil.
10. Dra. Celeste Mendes - São Paulo, Brasil
11. Dra. Maria Cristina Sagário - Minas Gerais, Brasil.
12. Dr. Ivanildo do Amaral - Assunção, Paraguai.
13. Dr. Luiz Cláudio Gonçalves Júnior - São Paulo, Brasil.
14. Dr. José Maurício Diascânio - Espírito Santo, Brasil.
15. Dr. Geisse Martins - Flórida, Estados Unidos.
16. Dr. Cyro Masci - São Paulo, Brasil.
17. Dr. André Rosalem Signorelli - Espírito Santo, Brasil.
18. Dra. Silvana Maria Aparecida Viana Santos - Espírito Santo, Brasil
19. Me. Carlos Alberto Soares Júnior – Fortaleza, Ceará, Brasil.
20. Me. Michel Alves da Cruz - São Paulo-SP, Brasil.
21. Me. Paulo Maia – Belém, Pará, Brasil.
22. Me. Carlos Jose Domingos Alface – Maputo, Moçambique
23. Me. Hugo Silva Ferreira - Minas Gerais, Brasil.
24. Me. Walmir Fernandes Pereira – Rio de Janeiro-RJ, Brasil.
25. Me. Solange Barreto Chaves – Vitória da Conquista, Bahia, Brasil.
26. Me. Rita de Cassia Soares Duque - Mato Grosso, Brasil.
27. Me. Cesar Rodrigues Barrinho - Mato Grosso, Brasil
28. Me. Renan Italo Rodrigues Dias - São Paulo, Brasil

## Revisores, Avaliadores Externos e Pareceristas

Guilherme Bonfim | Felipe Lazari | Fernando Mancini | Francisca Karoline Ferreira Assunção | Janilson Ribeiro Batista Eliane Compri de Azevedo Mattos | Martinho Vicente Caito | Suellen Iaskevitz Carneiro | Marcelo Zampolli | Raul de Miguel Benjamim Jofrisse Nhamitambo | Jovana Souza de Oliveira | Juvenal Laurinda da Silva Chadreque | Natanael Falquetto de Sá Raposa | Antônio Filho | Alana Freitas Miranda | Lorena de Andrade | Ana Luiza da Silva Teles | Amanda Regina Marcelino dos Santos | Angela Ancelmo | Charles Cosme de Souza | Matheus Candido Barcelos | Salem Suhail El Khatib

## Equipe Técnica:

Editora-chefe: Bárbara Aline Ferreira Assunção - São Paulo, Brasil.
Apoio Técnico: Fernando Mancini - São Paulo - SP, Brasil.
Jornalista do Grupo Editorial Aluz: Bárbara Aline Ferreira Assunção - São Paulo, MTB 0091284/SP.
Bibliotecária Responsável: Sueli Costa - CRB-8/5213 (SC Assessoria Editorial, São Paulo, Brasil).

**Diretora:** Bárbara Aline Ferreira Assunção
**Produção Gráfica, Capa, Diagramação:** Editora Aluz
**Jornalista Grupo Editorial Aluz:** Barbara Aline Ferreira Assunção, MTB 0091284/SP
**Bibliotecária Responsável:** Sueli Costa, CRB-8/5213

CARO LEITOR,
Queremos saber sua opinião sobre nossos livros. Após a leitura, visite-nos no site https://editoraaluz.com.br

Copyright © 2025 by Anna Caroline Silva de Oliveira, Marcos Vinicios Pinheiro Matias Diovanna Fernandes Abreu, Edilane da Conceição Silva Costa, Iris Nara Fernanda Andrade Barbosa, Juliana Ferreira Reis, Layse Gabrielle Moraes Sousa, Potira Correa da Silva, Sandra Cristina de Ávila

Nenhuma parte deste livro pode ser reproduzida sob quaisquer meios existentes sem autorização por escrito do autor

**Editora Acadêmica Aluz**
Contato:
Email: rcmos.rev@gmail.com
Telefone: +55 11 97228-7607
Prefixos Editoriais: ISSN 2675-9128 | ISBN 978-65-994914 | ISBN 978-65-996149 | ISBN 978-65-995060 | DOI 10.51473
Endereço: Rua Benedito Calixto, 143, térreo – Centro, SP, Mongaguá, Brasil | CEP: 11730-000. CNPJ 30006249000175
https://editoraaluz.com.br

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

**A553e**
Anna Caroline Silva de Oliveira, Marcos Vinicios Pinheiro Matias, Diovanna Fernandes Abreu, Edilane da Conceição Silva Costa, Iris Nara Fernanda Andrade Barbosa, Juliana Ferreira Reis, Layse Gabrielle Moraes Sousa, Potira Correa da Silva, Sandra Cristina de Ávila
ALIMENTOS FUNCIONAIS E ADITIVOS NUTRICIONAIS NA NUTRIÇÃO ANIMAL. / xxxx, xxxxx. – 1. ed. – São Paulo: Editora Acadêmica Aluz, 2025.
86 p.: il.; 21 cm. – (Vol. 1)
Inclui bibliografia.
DOI: 10.51473/ed.al.afan
ISBN: xxxxxx
Editora-chefe: **Bárbara Aline Ferreira Assunção.**

**1. Alimentos funcionais. 2. Aditivos. 3. Nutrição Animal.**

**CDD 371.9**

Elaborada por: **Sueli Costa – CRB-8/5213**

# SUMÁRIO

INTRODUÇÃO ..... 6

CAPÍTULO 1. ALIMENTOS FUNCIONAIS EM DIETAS DE ANIMAIS E SUAS ESTRATÉGIAS DE USO ..... 8

CAPÍTULO 2. ADITIVOS NUTRICIONAIS EM DIETAS DE ANIMAIS ..... 48

SOBRE OS AUTORES ..... 87

# INTRODUÇÃO

A nutrição animal tem passado por profundas transformações nas últimas décadas, impulsionada pelo avanço científico, pelas exigências de eficiência produtiva, pelas preocupações com sustentabilidade e, sobretudo, pela crescente demanda por alimentos de origem animal seguros e de alta qualidade. Nesse contexto, o uso estratégico de alimentos funcionais e aditivos nutricionais emerge como uma das principais ferramentas para otimizar o desempenho, a saúde e o bem-estar dos animais, ao mesmo tempo em que responde às pressões regulatórias e sociais relacionadas ao uso de antibióticos, ao impacto ambiental e à segurança alimentar.

Os alimentos funcionais diferenciam-se dos ingredientes convencionais por exercerem efeitos fisiológicos adicionais, indo além do simples fornecimento de nutrientes. Sua atuação envolve a modulação da microbiota intestinal, a melhoria da digestibilidade, o fortalecimento do sistema imunológico e a mitigação de estresses metabólicos e ambientais. Paralelamente, os aditivos nutricionais desempenham papel fundamental na complementação e no ajuste fino das dietas, contribuindo para o equilíbrio metabólico, a eficiência alimentar e a expressão do potencial genético dos animais em diferentes sistemas de produção.

A crescente incorporação de fibras específicas, prebióticos, probióticos, antioxidantes, ácidos graxos, extratos vegetais, óleos essenciais e subprodutos agroindustriais reflete uma mudança de paradigma na formulação de dietas, cada vez mais orientada por critérios de funcionalidade, sustentabilidade e precisão nutricional. Ao mesmo tempo, o uso de vitaminas, aminoácidos, microminerais e seus análogos consolida-se como estratégia essencial para atender às exigências fisiológicas específicas de diferentes espécies e categorias animais.

Este ebook foi elaborado com o objetivo de apresentar, de forma sistematizada e fundamentada, os principais conceitos, mecanismos de ação e estratégias de uso dos alimentos funcionais e dos aditivos nutricionais na nutrição animal. A obra aborda desde aspectos históricos e conceituais até aplicações práticas, abrangendo diferentes espécies, sistemas produtivos e desafios nutricionais contemporâneos.

Ao longo dos capítulos, busca-se integrar conhecimento científico atualizado à aplicabilidade técnica, oferecendo subsídios para estudantes, profissionais, pesquisadores e formuladores de dietas que atuam nas áreas de produção animal, saúde animal e nutrição aplicada. Assim, este material propõe-se a contribuir para uma visão mais eficiente, sustentável e tecnicamente embasada da nutrição animal moderna, alinhada às demandas atuais do setor produtivo e às exigências da sociedade.

## CAPÍTULO 1

# ALIMENTOS FUNCIONAIS EM DIETAS DE ANIMAIS E SUAS ESTRATÉGIAS DE USO



## 1. Introdução

A concepção dos alimentos funcionais teve origem no Japão na década de 1980, como resultado de uma iniciativa governamental voltada ao desenvolvimento de produtos alimentícios com propriedades benéficas à saúde. Essa estratégia surgiu diante da necessidade de atender às demandas de uma população em processo de envelhecimento e com elevada expectativa de vida, propondo a criação de alimentos que, além de fornecerem valor nutricional básico, também contribuíssem para a prevenção de doenças crônicas não transmissíveis e para a promoção do bem-estar físico e funcional.

Denominado "alimento para uso específico à saúde", o termo FOSHU (do inglês Foods for Specified Health Use) refere-se a produtos alimentícios formulados com ingredientes que comprovadamente promovem efeitos benéficos à saúde e que são regulamentados por órgãos competentes no Japão. Assim, os alimentos funcionais passaram a ser definidos como aqueles que, quando consumidos regularmente como parte da dieta habitual, exercem efeitos fisiológicos positivos além da nutrição tradicional (Anjo, 2004; PROAF, 2023).

O conceito foi rapidamente aceito em diversos países. No entanto, as denominações das alegações, ou seja, quais efeitos metabólicos ou fisiológicos os nutrientes ou componentes não nutricionais exercem sobre as funções do organismo, e os critérios para sua aprovação diferem conforme as normas de cada país ou bloco econômico (Hasler, 1998; Stringheta,2007; ANVISA, 2019). A legislação brasileira não estabelece uma definição específica para alimentos funcionais, porém reconhece o conceito de alegação de propriedade funcional.

Inicialmente voltados para a saúde humana, os alimentos funcionais passaram a despertar interesse também na nutrição animal. A aplicação dos mesmos princípios observados na alimentação humana — como a promoção da saúde,

a prevenção de doenças e a modulação de funções metabólicas — passou a ser explorada em animais de produção. Essa abordagem visa não apenas melhorar o desempenho zootécnico, mas também promover o bem-estar dos animais e a qualidade dos produtos de origem animal.

## 2. Estratégias de uso

A inclusão de alimentos funcionais na alimentação animal tem ganhado destaque em razão da busca por melhorias na saúde e no desempenho dos animais, especialmente em condições ambientais desafiadoras, como calor excessivo ou restrição hídrica, comuns em sistemas a pasto. Esses alimentos contribuem para atender à alta demanda metabólica e para prevenir distúrbios que afetam diretamente os índices zootécnicos. Animais de produção, assim como qualquer outro, são suscetíveis ao estresse, que pode se manifestar por meio da redução ou interrupção da alimentação, de alterações produtivas e do desenvolvimento de doenças, como a cetose, a esteatose hepática e o estresse oxidativo. Situações de manejo inadequado ou de estresse alimentar também comprometem a qualidade dos produtos, tornando-os desconformes (Schogor, 2019).

De forma semelhante, os alimentos funcionais vêm sendo aplicados com sucesso na nutrição de cães e gatos, com o objetivo de promover a saúde intestinal, modular o sistema imune e prevenir doenças crônicas, como obesidade, diabetes e problemas articulares. Compostos como prebióticos, probióticos, antioxidantes naturais, ácidos graxos essenciais e fitoterápicos têm sido incorporados a rações e suplementos para melhorar a digestibilidade, a resposta inflamatória e o equilíbrio da microbiota intestinal, principalmente em fases de crescimento, senescência ou recuperação de enfermidades (Di Cerbo et al., 2017).

## 3. Fibra

Há mais de 100 anos a fibra vem sendo utilizada para caracterizar os alimentos (Van Soest, 1994) e para estabelecer limites máximos de ingredientes nas rações (Mertens, 2001). Entretanto, os nutricionistas não chegaram a um consenso quanto a uma definição uniforme de fibra, nem quanto à concentração de fibra que otimize o consumo de energia (Martins, 2022), visto que o aumento da fibra dietética dilui a disponibilidade de energia dietética, ao diminuir sua absorção (Lattimer & Haub, 2010).

A fibra não é uma substância química específica, sendo uma denominação geral aplicada a diversos materiais compostos por hidrogênio (H) e carbono (C), organizados para formar as paredes celulares dos vegetais, como a celulose, a hemicelulose e a lignina (Martins, 2022). Estes podem ser definidos como: o componente estrutural das plantas (parede celular), a fração menos digestível dos alimentos, que não é digerida por enzimas de mamíferos, ou a fração do alimento que promove a ruminação e a saúde do rúmen (Weiss, 1999).

Sua determinação em laboratório percorre diversos métodos que variam entre si de acordo com a fração que conseguem digerir da fibra: A análise de fibra bruta proposta por Silva & Queiroz (2002) analisa somente carboidratos estruturais como a celulose e lignina, a análise de fibra detergente neutro (FDN) proposta por Van Soest (1991) representa com maior fidelidade a fibra insolúvel dos alimentos quantificando celulose, hemicelulose, lignina e a proteína insolúvel em detergente neutro (PIDIN).

A inclusão adequada de fibras na dieta de ruminantes oferece benefícios, como a estabilização do pH ruminal por meio do tamponamento realizado pela saliva devido à ruminação, controle da ingestão de energia, estímulo à ruminação e à produção de saliva, regulação do trânsito intestinal, melhoria da eficiência alimentar e promoção da saúde do rúmen (Martins, 2022).

Em animais monogástricos, em especial as aves de postura, segundo Mateos et al. (2012), o uso de fibras na dieta melhora a digestão e o desenvolvimento de órgãos, especialmente a moela, aumenta a secreção de ácidos biliares e de enzimas, além de modular a microbiota.

Para cães e gatos, a fibra desempenha um papel ainda não bem esclarecido, mas sabe-se que reduz a digestibilidade do alimento, visto que estes componentes são resistentes à digestão por enzimas de mamíferos e aumentam a motilidade intestinal, provocam a diluição de calorias na dieta e fornece substrato à microbiota para a fermentação no intestino grosso (Brunetto, 2017).

Visto que, a depender do tipo de análise laboratorial realizada, os componentes quantificados variam, o tipo de análise escolhida deve atender diretamente à utilidade empírica, levando em conta limitações como a acurácia analítica, a alta repetibilidade e o custo, o que permite maior precisão das informações nutricionais sobre o alimento analisado (Martins, 2022). Abaixo, detalhamos as frações de fibra mais comuns analisadas.

## 3.1. Componentes da fibra vegetal

### *3.1.1. Celulose*

É o polissacarídeo mais abundante da natureza e principal constituinte da maioria das paredes celulares de plantas e vegetais verdes, com exceção de algumas sementes (Van Soest, 1994). Para monogástricos, ainda que seja insolúvel em água e inerte às enzimas digestivas do intestino delgado, a celulose pode passar por um pequeno grau de fermentação no intestino grosso, gerando ácidos graxos de cadeia curta (Lattimer & Haub, 2010).

Para ruminantes, a celulose junto a hemicelulose constituí uma parte importante da fibra alimentar que deve passar pelo processo de mastigação, ruminação e fermentação por parte da microbiota ruminal para que os produtos deste

demorado processo possam ser absorvidos e utilizados pelo animal, gerando ácidos graxos volatéis como ácido acético, o qual posteriormente pode ser utilizado para gerar ATP no metabolismo intermediário (Dijkstra, 1993; Mertens, 1997).

### *3.1.2. Hemicelulose*

É uma mistura homogênea de polissacarídeos amorfos com grau de polimerização muito inferior ao da celulose (Van Soest, 1994). Em células maduras, a hemicelulose encontra-se mais associada à lignina por ligações covalentes do que a outros polissacarídeos, tornando-se indisponível à solubilização. As espécies vegetais apresentam grandes variações de hemicelulose (10 a 25% de **MS**), enquanto, em forragens, farelos, polpas e grãos de cereais, esses valores são menores (2 a 12%) (Martins, 2022).

A hemicelulose é encontrada em maior quantidade em plantas mais velhas, junto à lignina, pois, à medida que a planta se desenvolve, ela aumenta a proporção de caule e diminui a densidade e a proporção de folhas, reduzindo o teor celular para elevar o teor de compostos estruturais (Minson, 1990). Este maior aporte de compostos estruturais reduz o consumo, a digestibilidade e o aporte energético da dieta.

### *3.1.3. Lignina*

Constitui um polímero fenólico não carboidrato que se associa aos carboidratos estruturais, celulose e hemicelulose, durante o processo de formação da parede celular, alterando significativamente a digestibilidade destes carboidratos das forragens (Van Soest, 1994), sendo resistente a ação das enzimas micro-

bianas ruminais e, portanto, criando uma barreira física e química em compostos potencialmente nutritivos quando ela se associa a estes (Mujtaba et al., 2023).

Mesmo para ruminantes, que possuem o pré-estômago ideal para a quebra, fermentação e absorção dos componentes fibrosos, não conseguem absorver a lignina, que é excretada praticamente inalterada nas fezes desses animais; portanto, é considerada um fator antinutricional indesejável na dieta, não contribuindo para a nutrição (Fluck *et al.*, 2025).

O teor de lignina no alimento pode vir a servir como um marcador para estimar-se o fluxo e digestibilidade de outros componentes da dieta, através da análise fecal para quantificar a proporção de lignina em relação aos outros nutrientes que passaram pelo trato gastrointestinal ou que foram excretados, embora esta análise não seja precisa, ela auxilia a estimar a digestibilidade aparente de um determinado nutriente (Lyons et al., 2018; Moreira et al., 2013).

### *3.1.4. Outros componentes*

A sílica, as cutinas e os taninos estão presentes na parede celular, associados, ou não, a polissacarídeos estruturais. Mesmo presentes em pequenas quantidades, estes compostos possuem características físico-químicas importantes que influenciam os processos de digestão e absorção dos componentes da parede celular e do conteúdo celular, limitando o uso da parede celular, visto que são compostos indigestíveis que formam uma camada de difícil degradação pelos microrganismos ruminais (Van Soest, 1994; Carvalho, 2014).

## 3.2. Métodos de determinação de fibra nos alimentos

Em termos práticos, utilizam-se os termos fibra bruta (FB), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) para os métodos de determinação da fibra (Alves, 2016).

### *3.2.1. Fibra Bruta (**FB**)*

A **FB** consiste principalmente em celulose, com pequenas quantidades de lignina e hemicelulose adicionadas. Portanto, a análise de fibra bruta é realizada com ácidos e bases fortes. A extração ácida remove amidos, açúcares e parte da pectina e da hemicelulose dos alimentos. Enquanto a extração básica retira proteínas, pectinas e hemicelulose remanescentes, bem como parte da lignina (Mertens, 2001). Este método tem como limitação, ou falha, a solubilização imprecisa e variável da lignina (Van Soest, 1994).

### *3.2.2. Fibra em Detergente Neutro (**FDN**)*

A fração de fibra em detergente neutro (FDN) inclui celulose, hemicelulose e lignina entre seus principais componentes (Martins, 2022). O método de determinação de FDN é considerado mais difícil e mais variável do que outros métodos de fibra óptica. As maiores fontes de variação em FDN entre laboratórios são devidas a diferenças de método e de técnica de laboratório. Ambos os problemas podem ser minimizados por meio de um método de FDN padronizado, como o proposto por Silva & Queiroz (2002).

O processo envolve a digestão da amostra com detergente neutro durante 60 minutos, utilizando-se de substâncias como borato de sódio, E.D.T.A. dissódico, fosfato dissódico, lauril sulfato de sódio e trietilenoglicol, que são responsáveis por solubilizar determinados constituintes do conteúdo celular (Machado, 2024).

O conceito de fibra baseia-se em um critério nutricional, mas a medida química de fibra é definida pelo método de laboratório utilizado (Weiss, 1999). Modificações no método de FDN afetam a "fibra" medida, o que gera diferenças nos valores entre os laboratórios. Embora o método de FDN contribua para a quantificação de fibra em alimentos com amido, ele não eliminou as dificuldades para estabelecer o FDN como um método preciso e rotineiro (Weiss, 1999).

### *3.2.3. Fibra em Detergente Ácido (**FDA**)*

A fração de fibra em detergente ácido (FDA) dos alimentos inclui celulose e lignina como componentes primários, também chamados de lignocelulose, além de quantidades variáveis de matéria mineral e compostos nitrogenados (Van Soest, 1994).

Esta análise é realizada por meio da digestão da amostra em detergente ácido, composto por H2SO4 e brometo de cetiltrimetilamônio (Cetrimida), durante 60 minutos. Esta solução ácida apresenta eficiência limitada na solubilização do teor de pectinas, sendo indicado realizar esta análise no resíduo de FDN, a fim de estimar o teor de hemicelulose da amostra a partir da diferença entre os valores das duas análises (Machado, 2024).

A concentração de nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) é usada para determinar a disponibilidade de proteína em alimentos (Van Soest, 1994), esta análise determina o teor de nitrogênio do resíduo obtido após extração por detergente ácido, sendo crucial para determinar a digestibilidade da proteína bruta dos alimentos, visto que a NIDA ajuda a quantificar quanto desta proteína está presa, e indisponível, na parede celular, embora alguns animais consigam ter acesso a elas a partir de estratégias fisiológicas individuais, como os coelhos (Machado, 2024).

### *3.2.4. Fibra Alimentar Total (**FAT**)*

Desde que surgiu o interesse em utilizar a fibra na alimentação humana e animal, iniciou-se o estudo da fibra alimentar total (FAT). Esta tem sido definida como polissacarídeo e lignina-resistente à ação de enzimas digestivas de mamíferos (Martins, 2022). Por meio da FAT, pode-se estimar eficientemente os componentes estruturais totais; porém, este método de análise não tem sido utilizado na nutrição de ruminantes, pois é mais oneroso e sofisticado, demandando mais tempo do que outros métodos disponíveis, além de alguns estudos relatarem que esta análise pouco melhora a formulação de dietas de desempenho de animais (Jung, 1997).

## 3.3. Principais ingredientes utilizados como fonte de fibra na alimentação animal

Segundo o autor Texeira (2023), os principais alimentos utilizados como fonte de fibra na alimentação animal são:

**Feno de alfafa**: alto em fibra e proteína, usado para ruminantes.

**Silagem de milho**: Boa fonte de fibra efetiva e de energia.

**Polpa cítrica peletizada**: rica em fibra digestível, comum em dietas de bovinos.

**Casca de soja**: Subproduto com fibra moderadamente fermentável.

**Bagaço de cana**: alto teor de fibra indigestível, utilizado como volumoso.

**Farelo de trigo**: Boa fonte de fibra e energia, utilizado em rações concentradas.

**Resíduos de cevada e malte**: fontes fibrosas e energéticas

**Pasto (gramíneas como tifton ou capim-elefante)**: Principal fonte natural de fibra para ruminantes.

**Farelo de algodão:** Contém fibra e proteína; usar com moderação.

**Cascas de arroz**: fonte de fibra bruta, pouco digestível.

## 4. Prebióticos

Os prebióticos podem ser definidos como ingredientes alimentares não digeríveis que oferecem diversos benefícios à saúde, pois estimulam o crescimento de microrganismos no cólon, como lactobacilos e bifidobactérias. No entanto, recomenda-se baixas doses de prebióticos, pois, quando fermentados, estimulam a produção de gases e podem aumentar o risco de diarreias em pacientes com síndrome do intestino irritável (Steinel, 2021).

Prebióticos podem ser caracterizados como resistentes às ações de ácidos no estômago, de sais biliares e de outras enzimas hidrolisantes no intestino; além disso, não devem ser absorvidos no trato gastrointestinal superior e, por fim, ser facilmente fermentáveis pela microflora intestinal benéfica. Os prebióticos possuem diversos benefícios, entre eles: regular o metabolismo lipídico, reduzir os níveis de colesterol e triglicerídeos, estimular o sistema imunológico, regular a flora intestinal, reduzir o risco de câncer de cólon e de doenças cardiovasculares, prevenir a obesidade e o diabetes mellitus tipo II e controlar a pressão arterial (Steinel, 2021).

Na alimentação animal, os prebióticos mais utilizados são os mananoligossacarídeos (MOS), os frutooligossacarídeos (FOS) e os galactooligossacarídeos (GOS). A inulina pertence aos FOS, sendo usada como fibra solúvel, inodora e hipoalergênica; seu mecanismo de ação é por meio da estimulação da imunidade inata, na qual monócitos e macrófagos induzem a produção de TNF-α (Fator de necrose tumoral) e IL-1 (Interleucina) (Moura, 2021).

De acordo com Nascimento *et al*. (2024), a estrutura molecular dos prebióticos está relacionada aos efeitos fisiológicos e ao potencial de uso como fonte de carbono e energia. Assim, as bifidobactérias são os microrganismos mais envolvidos e o mecanismo pelo qual os prebióticos fazem isso se dá pela utilização de ampla variedade de oligossacarídeos e carboidratos complexos como fonte

de carbono e energia, além da multiplicação de bifidobactérias na presença de oligossacarídeos não digeríveis, além disso, as bifidobactérias são tolerantes aos ácidos graxos de cadeia curta e a acidificação do ambiente intestinal.

Quando associado aos probióticos, o uso de prebióticos é mais benéfico do que o de antibióticos promotores de crescimento, já que ambos não deixam resíduos nos produtos de origem animal. Ademais, não são metabolizados nem absorvidos durante a passagem pelo trato digestivo superior e servem como substrato de crescimento para bactérias benéficas. Desse modo, a microflora intestinal tem como função proteger contra doenças, estimular a resposta imunológica e exercer atividades enzimáticas (Moura, 2021).

## 5. Probióticos

Os probióticos são ''Cepas microbianas vivas que, quando administradas em quantidades adequadas, conferem um benefício à saúde do hospedeiro'' de acordo com a WHO-FAO (2002), e foram mais explorados como alternativa substitutiva frente a proibição do uso de antibióticos pela União Européia devido aos resíduos encontrados nos produtos de origem animal, segundo Regulamento (CE) n.º 1831/2003, sendo um caminho para uma alimentação mais saudável e segura.

Para um probiótico poder ser utilizado de forma segura, algumas características devem ser satisfeitas como: Necessidade de testes iniciais *in vitro* que comprovem a eficácia, adequação e segurança do uso da cepa pretendida para a espécie animal (Reuben et al., 2021), as bactérias devem ser um componente da microflora intestinal do animal, ser resistentes ao ambiente, aderir ao epitélio intestinal facilmente, manter a microflora nativa do intestino em níveis fisiológicos adequados (Kabir, 2009), e deve ser analisado sua segurança frente a resistências antimicrobianas, toxicidade e possível patogenicidade (EFSA, 2018).

Atualmente, há 30 preparações probióticas registradas na União Europeia, sendo permitida a combinação de várias cepas, formando simbióticos (Kwiatek et al., 2015). Dentre os microorganismos mais comuns utilizados, tem-se: *Bifidobacterium spp., Lactococcus spp., Lactobacillus spp., Bacillus spp., Streptococcus spp.,* que são bactérias encontradas geralmente no trato gastrointestinal dos animais (Park et al., 2016), além de poder ser utilizado outros microorganismos em associação aos anteriormente citados, à exemplo: leveduras e fungos: *Candida spp., Saccharomyces* e *Aspergillus* (Park et al., 2016; FAO, 2016; Puniya et al., 2015).

Estes microorganismos atuam antagonizando e eliminando patógenos (Al-Fatah, 2020) através de diversos mecanismos de ação: Por meio da competição por nutrientes, fatores de crescimento e sítio de adesão (Zommiti et al., 2020; El-Hack et al., 2020), produção de substâncias antimicrobianas tais como bacteriocinas, peróxido de hidrogênio, biossurfactantes e enzimas hidrolíticas (Zommiti et al., 2020; Alayande et al., 2020; Rea et al., 2007), diminuição do pH intestinal até um nível prejudicial aos patógenos, e diminuição da produção de enzimas bacterinas (El-Hack et al., 2020; Fuller, 2001).

Adicionalmente, os probióticos exercem diversos efeitos benéficos para a saúde animal. Menconi et al. (2014) avaliaram que Lactobacillus rhamnosus ativou o receptor que estimulou o crescimento epidérmico no intestino, o que contribuiu para o combate a doenças gastrointestinais. Diversos estudos demonstram a capacidade de imunomodulação e imunoestimulação dos probióticos (Khan et al., 2016), por meio do aumento da síntese e da secreção de imunoglobulinas, como a IgA, além do aumento da atividade de macrófagos e linfócitos e de mediadores inflamatórios (Yang et al., 2009; Matsuguchi et al., 2003), o que melhora a barreira epitelial.

Além das vantagens citadas, os probióticos são definidos como menos prejudiciais ao meio ambiente em relação aos antibióticos, devido a redução da eliminação de metano e excretas ricas em fósforo (Hejdysz et al., 2012; El-Hack et al., 2017), não deixam resíduos nos produtos de origem animal (Birmani et al., 2019), e causam melhorias produtivas através do aumento e assimilação dos nutrientes (Khan et al., 2016) que serão vistos a frente para monogástricos e ruminantes.

O uso de probióticos em sistemas de criação avícola é amplamente investigado, com diversos relatos de melhorias produtivas e de controle de patógenos, como *Salmonella spp. E E. coli,* atuando em conjunto, as vacinas no combate a doenças (Saint-Cyr et al., 2016; Price et al., 2020; Shi et al., 2020). As cepas podem ser administradas por rações, gavagens, sprays, comprimidos e até mesmo pela água (Hargis et al., 2018; Jiang et al., 201), e dentre os benefícios produtivos, é relevante citar a melhora na qualidade nutricional e sensorial da carne, ovos mais pesados e com casca mais grossa (Ali et al., 2018; Duskaev et al., 2020; Hussein et al., 2020; Peralta-Sánchez et al., 2019), melhora na postura e fertilidade (Menconi et al., 2014; Mazanko et al., 2018) e aumento de peso e no rendimento da carcaça (Hidayat *et al.*, 2016; Aziz *et al.*, 2020).

Em suínos, o uso de probióticos é uma excelente opção para o combate à mortalidade de leitões desmamados com diarreia causada por Salmonella spp. E. coli. E. C. perfringens (Luo et al., 2022; Xiong et al., 2019). Ali et al. (2023) reforçaram que *Lactobacillus spp.* Foram eficazes para inibir *E. coli*. Os probióticos atuam no combate à mortalidade desta enfermidade por outros meios, como observado no estudo de Darbandi et al. (2022), em que houve diminuição da diarreia em leitões desmamados devido à bacteriocina produzida por *L. gasseri.* Outros ganhos produtivos foram observados na suplementação com *L. sa-*

*livarius* MP100 (Sobrino et al., 2021) e houve eliminação de patógenos ao suplementar suínos com LAB (Bactérias produtoras de ácido láctico), segundo Wang et al. (2020).

Em equinos se faz necessário avaliar com mais cautela o uso das cepas, visto que o intestino grosso destes animais abriga uma microbiota vasta, de forma que mudanças nesta microbiota tem impacto direto na saúde do animal (Khrebiel et al., 2003; Chen et al., 2020), e os probióticos mais utilizados não são abundantes no intestino grosso dos cavalos (Costa et al., 2012; Chen et al., 2020). Além disso, o cólon destes animais é considerado o local crítico mais acometido por infecções e, em diversos estudos anteriores, os probióticos mostraram pouco ou nenhum efeito em casos de infecção no cólon (Dougal et al., 2013). Efeitos indesejados também foram observados com o uso de probióticos em equinos, como diarreia, febre e anorexia (Elshlaeger, 2010; Desrochers et al., 2009; Chen et al., 2020). Diversas hipóteses são levantadas, e uma delas afirma que, à medida que o Ph estomacal destes animais inativa patógenos, também pode levar a mudanças que inativam os probióticos antes que cheguem ao cólon (Parraga et al., 1997). Entretanto, são necessários mais estudos sobre o uso de probióticos em equinos para identificar quais cepas são benéficas e em que dose devem ser administradas, a fim de eliminar os efeitos indesejados.

Em ruminantes, diversos probióticos são utilizados, como Bacillus, Bifidobacterium, Enterococcus, Lactobacillus, Propionibacterium, Megasphaera elsdenii, Prevotella bryantii, Aspergillus e Saccharomyces (Seo et al., 2010; Ezema, 2013), sendo estes geralmente micro-organismos que naturalmente habitam o ambiente ruminal. Diversos estudos apontam maior eficácia em animais jovens, principalmente em pré-ruminantes, e em gestantes e lactantes (Kruis et al., 2004; Frizzo et al., 2010; Chaucheyras-Durand, 2010). Os diversos benefícios variam de proteção contra patógenos como a *Salmonella spp., E. coli., K. pneu-*

*moniaeI* (Forestier et al., 2001; Frizzo et al., 2010), proliferação de microorganismos benéficos, mitigação da acidose (Yoon et al., 1995; Nocek et al., 2002; Kung et al., 2003), maior produção de leite, melhora na qualidade e composição lática (Krehblen et al., 2003) e a melhora na absorção de nutrientes que gerou maior peso corporal, eficiência alimentar e GMD (Adjel-Fremah et al., 2018; Chaucheyras-Durand, 2010).

Em cães e gatos, diversas doenças e alterações comportamentais podem causar desequilíbrios na microbiota por meio de vômito, diarreia e anorexia (Redfern et al., 2017; Unterer et al., 2021; Jergens et al., 2012; Honneffer et al., 2014), que podem ser tratados coadjuvantemente com probióticos. Para cães, estudos demonstraram que o uso de probióticos resultou em resolução mais rápida da diarreia aguda, diminuição de patógenos nas fezes, maior ingestão de ração, maior ganho de peso e aumento de bactérias benéficas no trato gastrointestinal (Kelley et al., 2009; Fernández et al., 2019; Xu et al., 2019; Masuoka et al., 2017). Para gatos, ainda há poucos estudos e não é apropriado extrapolar resultados de cães ou de outras espécies para felinos. Alguns estudos indicam melhora da imunidade, da qualidade fecal, da contagem de Lactobacillus e da menor incidência de diarreia em gatos suplementados com probióticos (Marshall-Jones et al., 2006; Veir et al., 2007; Fusi et al., 2019; Lee et al., 2022).

Por fim, entende-se que ainda há necessidade de mais estudos para padronizar os resultados dos efeitos e que há alguns entraves a serem compreendidos, como a dependência eficácia-dose e o excesso que pode levar à overdose (Kiess et al., 2016; Haines et al., 2015). Adicionalmente, desafios em relação a segurança e eficácia devem ser pontuados: o tipo de microorganismo, a condição de administração, o tipo de manejo e a temperatura podem alterar as estruturas dos probióticos, levando a menor eficácia (Dianawati et al., 2013), é necessário verificar o risco de transferência de fatores de virulência ou de

resistência antimicrobiana (Alayande et al., 2020), o efeito em pacientes imunocomprometidos, e suprir a escassez sobre dados de segurança e falta de regulamentação (Alayande et al., 2020; Jacobi et al., 2011; Lee et al., 2022).

## 6. Ácidos graxos

Os ácidos graxos são componentes da fração lipídica da dieta e desempenham papéis fundamentais na nutrição e na saúde, especialmente os das séries ômega-3, ômega-6 e ômega-9. Eles atuam como fonte de energia, como componentes estruturais de membranas celulares e como precursores de moléculas bioativas. São encontrados principalmente em peixes de água fria, como salmão, atum, sardinha e bacalhau, além de óleos vegetais, sementes de linhaça, nozes e alguns vegetais (Moraes, 2006).

A classificação como ômega-3, ômega-6 ou ômega-9 depende da posição da primeira dupla ligação em relação ao radical metil (CH3) da molécula. Quando a primeira dupla ligação está no terceiro carbono a partir do radical metil, o ácido graxo é classificado como ômega-3. Se estiver no sexto carbono, é considerado ômega-6. Já os da série ômega-9 possuem a primeira dupla ligação no nono carbono (Medeiros, 2011).

Entre os principais ácidos graxos da família ômega-3 destacam-se o ácido alfa-linolênico (ALA, C18:3), o ácido eicosapentaenoico (EPA, C20:5) e o ácido docosahexaenoico (DHA, C22:6). No grupo dos ômega-6, os mais importantes são o ácido linoleico (C18:2) e o ácido araquidônico (C20:4) (Pimentel et al., 2009). O principal representante da série ômega-9 é o ácido oleico (C18:1), um ácido graxo monoinsaturado presente principalmente no azeite de oliva, no óleo de canola e no óleo de amendoim (Kurushima et al., 1995).

As principais fontes de ômega-3 incluem peixes de águas frias e profundas, como salmão, atum, sardinha e bacalhau, que apresentam altas concentrações

de EPA e DHA. Entre as fontes vegetais, destacam-se a linhaça (óleo e farelo), chia, nozes e soja, todas ricas em ALA, precursor metabólico dos demais ácidos graxos da família ômega-3 (Calderelli et al., 2009; Silva, 2014). O ALA, além de precursor desses ácidos de cadeia longa, também é precursor da formação de prostaglandinas, leucotrienos e tromboxanos, que exercem atividades anti-inflamatórias, anticoagulantes, vasodilatadoras e antiagregantes (Rodríguez et al., 2003; Pimentel et al., 2005).

Em relação à linhaça, rica em ômega-3, Calderelli et al. (2009) destacam que sua ingestão, tanto na forma de semente quanto de óleo, proporciona níveis adequados de ácidos graxos poli-insaturados, auxiliando na prevenção e na modulação de doenças autoimunes e cardiovasculares. A linhaça também contribui para a redução da pressão arterial, dos triglicerídeos e do colesterol, além de beneficiar o tratamento de doenças hiperimunes, como a artrite reumatoide, a psoríase e a esclerose múltipla.

Os ácidos graxos ômega-3 são especialmente importantes em recém-nascidos, pois compõem cerca de um terço da estrutura lipídica do cérebro. A deficiência dessas substâncias pode reduzir a produção de enzimas envolvidas no aprendizado, e o suprimento adequado de DHA é essencial para o desenvolvimento da retina. Seus benefícios vão além do perfil lipídico, associados à prevenção e ao tratamento de diversas doenças, como mencionado anteriormente. No entanto, é fundamental manter o equilíbrio entre o consumo de ômega-6 e ômega-3. Nutricionistas recomendam uma proporção ideal de cerca de 5:1 (ômega-6:ômega-3) na dieta (Moraes, 2006)

Os ômega-6 estão presentes principalmente em óleos vegetais, como os de girassol, milho, soja e algodão, além de diversos grãos (Pimentel et al., 2005; Costa et al., 2009). O ácido linoleico, principal representante dessa família, é convertido no organismo em ácido araquidônico, responsável por funções como a modulação da resposta inflamatória, a manutenção da integridade das

membranas celulares e a regulação da pressão arterial (Pimentel et al., 2005). Seus derivados influenciam a viscosidade sanguínea, a permeabilidade vascular, a agregação plaquetária e a resposta inflamatória (Costa et al., 2009).

Quanto ao ômega-9, que é um ácido graxo monoinsaturado, o ácido oleico é seu principal representante. Suas fontes alimentares incluem o azeite de oliva, óleo de canola, óleo de amendoim e de abacate, alimentos conhecidos por seu potencial hipocolesterolêmico (Medeiros, 2011; Costa et al., 2009). Estes alimentos são utilizados na nutrição humana e animal devido aos efeitos benéficos na modulação do perfil lipídico, promovendo a redução do colesterol LDL sem diminuir o HDL (Kurushima et al., 1995).

Entre as fontes vegetais de ácido linoleico conjugado (CLA), a linhaça também se destaca, sendo viável tanto em óleo quanto em farelo, devido ao alto teor de ácido linolênico. Oliveira (2012) avaliou o uso de óleo de linhaça como suplemento para ovelhas leiteiras da raça Bergamácia, observando que a inclusão de 3% desse óleo na dieta reduziu os teores de ácidos graxos saturados e aumentou os de ácidos graxos polinsaturados, além de elevar o teor de CLA no leite e os níveis de DHA, sem alterações significativas no EPA.

Além da quantidade de óleo na dieta animal, o tipo de óleo também influencia diretamente a qualidade dos produtos de origem animal. Óleos mais insaturados têm maior capacidade de alterar o perfil de ácidos graxos de carnes e de leites. Por outro lado, óleos pouco insaturados, como o de palma, não promovem melhorias significativas nesse aspecto (Medeiros, 2011). Vale ressaltar que o uso de óleos na dieta de ruminantes também pode modificar características sensoriais, como o sabor do leite, o que exige equilibrar o perfil nutricional com a aceitabilidade pelo consumidor (Costa et al., 2009).

Costa et al. (2009) reforçam que os óleos vegetais, por apresentarem alta proporção de ácidos graxos insaturados e melhor digestibilidade aparente em relação às fontes lipídicas animais, são preferidos nas dietas iniciais de animais.

Além disso, a adição de óleos à alimentação é uma estratégia amplamente explorada para promover alterações químicas, físicas e sensoriais nos produtos.

## 7. Antioxidantes

Os antioxidantes atuam como substâncias capazes de reduzir ou impedir os danos celulares causados pelos radicais livres. De modo geral, são compostos que, mesmo presentes em baixas concentrações em relação ao material oxidável, conseguem inibir ou retardar reações de oxidação, contribuindo para a preservação da integridade celular. De acordo com Sies e Stahl (1995), antioxidante pode ser definido como qualquer substância que, mesmo em pequena quantidade, é capaz de proteger um substrato da oxidação.

Esses compostos são classificados em duas categorias principais: antioxidantes endógenos, produzidos pelo próprio organismo, formado principalmente por enzimas como a superóxido dismutase e a catalase, e não enzimáticos, como a ceruloplasmina e glutationa; e antioxidantes exógenos, que são provenientes da alimentação, em que se destacam os carotenoides, os flavonoides do grupo dos compostos fenólicos, além das vitaminas C e E. Esses compostos são, principalmente, encontrados em alimentos de origem vegetal como frutas, vegetais e grãos integrais. Além disso, há minerais como cobre, zinco, selênio, manganês e magnésio, que atuam como cofatores essenciais para que as enzimas do sistema endógeno produzam antioxidantes (Barbosa et al., 2017; He et al., 2017; Nosrati, Bakovic, Paliyath, 2017).

Do ponto de vista químico, os radicais livres são definidos como moléculas ou átomos que apresentam um ou mais elétrons desemparelhados em sua camada eletrônica, o que os torna altamente reativos. A maioria dessas espécies é formada por oxigênio ou nitrogênio. Além disso, existem compostos derivados

desses radicais que, embora não possuam elétrons desemparelhados, apresentam estrutura instável e são reativos. Por isso, os termos Espécies Reativas de Oxigênio (ERO) e Espécies Reativas de Nitrogênio (ERN) englobam tanto radicais livres quanto outras moléculas instáveis, mesmo que não sejam radicalares (Ribeiro et al., 2008).

O desenvolvimento de Doenças Crônicas Não Transmissíveis (DCNT), como diabetes, hipertensão, artrite reumatoide, síndrome metabólica, doenças cardiovasculares e doenças neurodegenerativas (como doença de Alzheimer e Parkinson), frequentemente está relacionado à exposição contínua ao estresse oxidativo. Esse fenômeno ocorre quando há um desequilíbrio entre a produção de espécies oxidantes, como os radicais livres, e a capacidade antioxidante do organismo, resultando em danos às estruturas celulares (Halliwell, 2011; Silva e Ferrari, 2011). Dietas desbalanceadas, atividade física intensa, tabagismo, exposição intensa à radiação ionizante e à poluição, entre outros fatores, podem contribuir para a formação de radicais livres exógenos que se acumulam no organismo, causando desequilíbrio e, consequentemente, estresse oxidativo (Soares et al., 2015).

O sistema antioxidante atua por meio de três principais mecanismos. O primeiro é a ação preventiva, considerada a linha de defesa inicial, na qual os antioxidantes impedem que os radicais livres reajam a componentes biológicos importantes. O segundo mecanismo envolve a interrupção das reações oxidativas, bloqueando a continuidade dos danos. Por fim, há o terceiro processo, que consiste na reparação das estruturas celulares afetadas pelas espécies reativas (Wu, Kosten & Zhang, 2013).

Lima e Carvalho (2024) concluem, em seu estudo, que a ingestão de alimentos com qualidade nutricional adequada desempenha um papel essencial não apenas no fornecimento de nutrientes, mas também na proteção contra os efeitos nocivos dos radicais livres. Nutrientes com propriedades antioxidantes

atuam não só prevenindo a formação dessas espécies reativas, mas também neutralizando as já produzidas pelo metabolismo celular. Além disso, esses compostos contribuem para a reparação de danos celulares, modulam respostas inflamatórias e participam de mecanismos associados à longevidade. Dessa forma, o consumo regular de alimentos ricos em antioxidantes, aliado a hábitos de vida saudáveis, é considerado fundamental para a prevenção de doenças crônicas e para a promoção de uma vida mais longa e de melhor qualidade.

## 8. Resíduos da indústria/subprodutos

O avanço demográfico mundial, associado ao aumento da renda per capita, à intensificação da urbanização e ao envelhecimento da população, tem resultado em um aumento substancial da demanda mundial por alimentos, fibras e energia (Neves, 2023). Esta demanda provoca impactos ambientais nas áreas rurais e urbanas quando há disposição inadequada de resíduos orgânicos. Uma estratégia eficaz para mitigar esses impactos tem sido o tratamento dos resíduos gerados nos diversos setores produtivos (Lins et al., 2022).

Segundo a Instrução Normativa nº 81, de 2018, os resíduos são materiais gerados nos processos produtivos que não possuem valor comercial direto, podendo oferecer risco ambiental e à saúde, necessitando de processamento ou destinação adequada para evitar contaminação. Já os coprodutos são oriundos de processos industriais que, embora não sejam o principal produto, apresentam valor comercial e, desde que respeitadas as normas sanitárias e de qualidade, podem ser destinados à alimentação animal (Brasil, 2018). De forma complementar, a Instrução Normativa nº 08, de 2004, dispõe sobre as normas relativas à utilização de subprodutos e resíduos de origem animal na alimentação animal. Conforme essa norma, o termo subproduto refere-se a partes ou

derivados de animais que não se destinam à alimentação humana, mas que podem ser utilizados na alimentação animal, desde que submetidos a rigorosos processos e controles sanitários (Brasil, 2004).

## 8.1. Coprodutos de origem vegetal e animal

### *8.1.1. Caroço de algodão*

O algodão destaca-se como uma das culturas de maior aproveitamento integral, gerando fibras têxteis, óleo e diversos subprodutos com potencial de uso na alimentação animal (Moreira, 2008). Além disso, o Brasil encontra-se entre os cinco maiores produtores de algodão do mundo, juntamente com a China, a Índia, os EUA e o Paquistão.

O caroço de algodão é amplamente utilizado na formulação de dietas para bovinos leiteiros e de corte. Por sua composição nutricional versátil, muitos nutricionistas o consideram um ingrediente estratégico para o equilíbrio das dietas. Trata-se de um alimento especial, que apresenta tanto características de volumoso, devido ao alto teor de fibra, quanto de concentrado, por fornecer energia e proteína. (Abrapa, 2021; Polizel & Soares, 2021).

### *8.1.2. Farinha de vísceras de aves*

A farinha de vísceras de frango é considerada a principal matéria-prima de origem animal utilizada em formulações para cães e gatos, devido à sua composição nutricional equilibrada, com teores adequados de proteínas, lipídios e minerais, associada a um bom perfil de aminoácidos essenciais, elevada palatabilidade e ampla disponibilidade comercial (Kawauchi et al., 2014).

8.2. Importância do aproveitamento e seus desafios:

O aproveitamento de alimentos e de subprodutos agroindustriais promove a maximização do uso de matérias-primas, contribui para a redução do desperdício e do impacto ambiental, viabiliza a produção de produtos com alto valor agregado e menor custo de insumos, além de gerar economia para o produtor (Choon et al., 2018; Guimarães et al., 2023).

A utilização de resíduos e coprodutos na alimentação animal, embora promissora, enfrenta diversos desafios que limitam sua adoção em larga escala. Um dos principais entraves é a variabilidade na composição nutricional, que dificulta a formulação precisa das dietas e pode comprometer o desempenho dos animais. Além disso, a presença de contaminantes ou substâncias indesejáveis, como micotoxinas, metais pesados ou resíduos químicos, representa um risco à saúde animal e exige rigorosos controles de qualidade.

As barreiras legais e regulamentares também influenciam esse cenário, já que o uso desses ingredientes deve estar em conformidade com normas sanitárias específicas, como as estabelecidas pelo MAPA. Outro fator relevante diz respeito às questões logísticas e de armazenamento, especialmente no caso de produtos perecíveis ou com alta umidade, que requerem condições adequadas para preservar sua integridade (Brasil, 2004; Brasil, 2018; Rech et al., 2024; D'Mello, 2025).

## 9. Aditivos fitogênicos, extratos vegetais e óleos essenciais

Com a crescente preocupação da sociedade com a qualidade dos alimentos, aumenta o interesse por pesquisas que envolvam produtos naturais na alimentação animal, capazes de promover o crescimento e melhorar o desempenho (Ricke et al., 2020).

Os alimentos fitogênicos são combinações de substâncias naturais de plantas, incluindo ervas, especiarias e seus extratos, comumente denominados fitobióticos, que promovem benefícios ao serem fornecidos na alimentação dos animais e cuja eficácia é comprovada. Esses compostos atuam de diversas maneiras na alimentação animal, pois podem aumentar o desempenho do animal, tornando o alimento mais palatável, estimular a digestão, proteger a mucosa intestinal, equilibrar a microbiota intestinal e contribuir para a prevenção de infecções (Camargo et al., 2021).

## 9.1. Extratos vegetais e óleos essenciais

Os extratos vegetais são substâncias obtidas de partes das plantas (casca, folhas, raízes, sementes ou flores) que contêm compostos ativos com propriedades funcionais. Há uma variedade de compostos químicos presentes nos extratos vegetais, como saponinas, óleos essenciais, mucilagens, substâncias saborizantes, além de flavonoides e outros compostos em menor concentração, que podem ser adicionados de forma separada ou misturados, juntamente com mais de um princípio ativo. Seu efeito varia conforme a administração (Braga, 2023).

Algumas das plantas utilizadas na alimentação são:

### *9.1.1. Orégano (Origanum vulgare)*

Compostos ativos: carvacrol e Timol.

Efeitos: antimicrobianos e antioxidantes, além de melhorar a digestibilidade e a saúde intestinal (Barreto-Cruz et al., 2023).

### *9.1.2. Alho (Allium sativum)*

Compostos ativos: alicina e Ajoeno.

Efeitos: antimicrobianos, antifúngicos, além de estimular o sistema imunológico (Barreto-Cruz et al., 2023).

### *9.1.3. Canela (Cinnamomum zeylanicus)*

Compostos ativos: cinamaldeído.

Efeitos: além de ser antimicrobiano, modula a microbiota intestinal e melhora a digestibilidade (Ali et al., 2021).

### *9.1.4. Gengibre (Zingiber officinale)*

Compostos ativos: Gingerol e Shogaol

Efeitos: Redução da inflamação, ação antioxidante e estimulação da digestão (Abd El-Hack et al., 2020).

Os óleos essenciais são substâncias voláteis obtidas a partir de plantas aromáticas, como alecrim, tomilho, orégano e cravo, que podem contribuir para o sabor e o aroma da ração, o que estimula o consumo dos animais. Além disso, os óleos essenciais possuem atividade antimicrobiana, antifúngica e antiprotozoária, o que contribui para a saúde intestinal dos animais (Vieites et al., 2020).

Há efeitos zootécnicos positivos, demonstrados em pesquisas, de que óleos essenciais podem gerar bom desempenho na produção animal e que, quando utilizados de forma racional e bem formulada, podem substituir, parcialmente ou até mesmo totalmente, os antibióticos de uso não terapêutico, o que contribui para a produção de alimentos de origem animal com menor impacto ambiental.

## REFERÊNCIAS

ABD EL-HACK, M. E. et al. Gengibre e seus derivados como alternativas promissoras aos antibióticos na alimentação de aves. *Animals*, v. 10, p. 452, 2020.

ABIANCHI, M. L. P.; ANTUNES, L. M. G. Radicais livres e os principais antioxidantes da dieta. *Revista de Nutrição*. 1999, v. 12, n. 20, pp. 123–130.
ABRAPA – Associação Brasileira de Produtores de Algodão, 2021.
ADJEI-FREMAH S, EKWEMALOR K, ASIAMAH EK, ISMAIL H, IBRAHIM S, AND WORKU M Effect of probiotic supplementation on growth and global gene expression in dairy cows. *J Appl Anim Res* 46: 257–263 (2018).
ALAYANDE KA, AIYEGORO OA, ATEBA CN. Probióticos na pecuária: Aplicabilidade e fatores de risco associados. *Sustentabilidade*. 2020; 12: 1087. DoI: https://doi.org/10.3390/su12031087
AL-FATAH, M. Probiotic Modes of Action and Their Effect on Biochemical Parameters and Growth Performance in Poultry. *Iran. J. Appl. Anim. Sci.* 2020, 10, 9–15
ALI, A. et al. Canela: um aditivo alimentar natural para a saúde e a produção avícolas — uma revisão. *Animals*, v. 11, p. 2026, 2021.
ALI, M... Sekendar; LEE, E.-B.; HSU, W. H.; SUK, K.; SAYEM, S. A. J.; ULLAH, H. M. A.; LEE, S.-J.; PARK, S.-C. Probiotics and postbiotics as an alternative to antibiotics: an emphasis on pigs. *Pathogens, Basel*, v. 12, n. 7, art. 874, 2023. DOI: 10.3390/pathogens12070874. Disponível em: https://doi.org/10.3390/pathogens12070874. Acesso em: 18 jun. 2025
ALI, M.; LEE, E.; LIM, S.; SUK, K.; PARK, S.Isolation and Identification of Limosilactobacillus reuteri PSC102 and Evaluation of Its Potential Probiotic, Antioxidant, and Antibacterial Properties. *Antioxidants* 2023, 12, 238.
ALI, N.; ABDELAZIZ, M. Effect of feed restriction with supplementation of probiotics with enzyme preparation on performance, carcass characteristics, and economic traits of broiler chickens during the finisher period. *Egypt. J. Nutr. Feed.* 2018, 21, 243–254.
ALVARENGA, T. E. A. Probiotics in livestock and pet animals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, [S. l.], v. 104, n. 6, p. 2057–2067, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1002/jsfa.11643. Acesso em: 18 jun. 2025.
ANJO, Douglas Faria Corrêa. Alimentos funcionais na angiologia e na cirurgia vascular. *Jornal Vascular Brasileiro*, 2004.
ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Alegações de propriedade funcional aprovadas. 2019. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-de-produtos-origem-vegetal/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/alegacoes-de-propriedade-funcional-aprovadas_anvisa.pdf. Acesso em: 15 jun. 2025.

ARAÚJO, D.; SILVA, A. R.; FERNANDES, R.; SERRA, P.; BARROS, M. M.; CAMPOS, A. M.; OLIVEIRA, R.; SILVA, S.; ALMEIDA, C.; CASTRO, J. Emerging approaches for mitigating biofilm-formation-associated infections in farms, wild, and companion animals: a review. *Pathogens, Basel*, v. 13, n. 4, art. 320, 2024. DOI: 10.3390/pathogens13040320. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9039956/. Acesso em: 18 jun. 2025.

AZIZ, N.; KHIDHIR, Z.; HAMA, Z.; MUSTAFA, N. Influence of Probiotic (Miaclost) Supplementation on Carcass Yield, Chemical Composition and Meat Quality of Broiler Chick. *J. Anim. Poult. Prod.* 2020, 11, 9–12.

BABAZADEH, D.; RAZAVI, S. A.; ABD EL-GHANY, W. A.; COTTER, P. F. Roles of probiotics in farm animals: a review. *Farm Animal Health and Nutrition (FAHN)*, [S. l.], v. 1, n. 1, p. –, 2022). Disponível em: https://fahn.rovedar.com/index.php/FAHN/article/view/8. Acesso em: 18 jun. 2025

BARBOSA, K. B. F. et al. Estresse oxidativo: conceito, implicações e fatores modulatórios. *Revista de Nutrição*, v. 23, n. 4, p. 629-643, 2010

BARRETO-CRUZ, et al. Avaliando, in vitro e in vivo, o efeito da suplementação com uma mistura de óleo essencial de alho (Allium sativum) e orégano (Origanum vulgare) sobre a digestibilidade em ovelhas da África Ocidental—Veterinary *Sciences*, v. 10, p. 695, 2023.

BIRMANI, M.; NAWAB, A.; GHANI, M.; LI, G.; WU, J.; LIU, W.; AN, L. Probiotic Supplementation in Poultry Production as an Alternative to Antibiotic Feed Additive. *Anim. Rev.* 2019, 6, 5–16.

BRAGA, C. C. Influência de extratos vegetais na alimentação de suínos sobre a capacidade de retenção de água dos músculos da barriga e do pernil. 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 81, de 20 de novembro de 2018. Estabelece os requisitos para a produção e o uso de alimentos para animais contendo ingredientes oriundos de processos industriais. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, n. 224, p. 3–5, 22 nov. 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 8, de 25 de março de 2004. Estabelece o regulamento técnico de boas práticas de fabricação para produtos destinados à alimentação animal. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, p. 6–7, 26 mares. 2004.

BRUNETTO, Marcio Antonio. Nutrição de cães e gatos. São Paulo: PremieRpet, [2017]. 116 p.

CALDERELLI, M. A. C. et al. Linhaça: propriedades funcionais e aplicações na nutrição humana e animal. *Revista Eletrônica Nutrição*, v. 1, n. 1, p. 47–57, 2009.
CAMARGO, N. O. T. Utilização de aditivos fitogênicos na alimentação de suínos: uma meta-análise sobre desempenho produtivo. 2021.
CARVALHO, M. V.; RODRIGUES, P. H. M.; LIMA, M. L. P. et al. Composição bromatológica e digestibilidade de cana-de-açúcar colhida em duas épocas do ano. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, v. 47, n. 4, p. 298–306, 2010.
CASTRO JÚNIOR, F. G. et al. Fibra na alimentação de suínos. *Boletim de Indústria Animal*, v. 60, n. 2, p. 129–137, 2003. Disponível em: https://bia.iz.sp.gov.br/index.php/bia/article/view/1297. Acesso em: [coloque a data de acesso].
CHAUCHEYRAS-DURAND F AND DURAND H, P. I. A. N. A. H. *Benef Microbes* 1: 3–9 (2010). Donovan DC, Franklin ST, Chase CCL, and Hippen AR, Growth and health of Holstein calves fed milk replacers supplemented with antibiotics or Enteroguard. *J Dairy Sci* 85: 947–950 (2002)
CHEN B, PENG M, TONG W, ZHANG Q, AND SONG Z. The Quorum Quenching Bacterium *Bacillus licheniformis* T-1 protects Zebrafish against *Aeromonas hydrophila* infection. *Probiotics Antimicrob Proteins*. 2020a; 12(1): 160-171. DOI: https://doi.org/10.1007/s12602-018-9495-7
CHOON, Y. et al. (2018). Current trends of tropical fruit waste utilization. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58, (3), 335-361
COSTA MC AND WEESE JS. The equine intestinal microbiome. *Anim Health Res Rev*. 2012; 13(1): 121-128. DOI: https://doi.org/10.1017/s1466252312000035
COSTA, C. et al. Fontes lipídicas na alimentação animal: características, aplicações e efeitos na qualidade de produtos de origem animal—Revista *Brasileira de Zootecnia*, v. 38, p. 685-697, 2009.
D'MELLO, J. P. F. Contaminants and toxins in animal feeds. Rome: FAO, 2003. Disponível em: https://www.fao.org/4/y5159e/y5159e07.htm. Acesso em: 17 jun. 2025.
DARBANDI, A.; ASADI, A.; MAHDIZADE ARI, M.; OHADI, E.; TALEBI, M.; HALAJ ZADEH, M.; DARB EMAMIE, A.; GHANAVATI, R.; KAKANJ, M. Bacteriocins: Properties and potential use as antimicrobials. *J. Clin. Lab. Anal.* 2022, 36, e24093.

DESROCHERS AM, DOLENTE BA, ROY MF, BOSTON R, AND CARLISLE S. Efficacy of *Saccharomyces boulardii for treatment of horses with acute enterocolitis*. *J Am Vet Med Assoc*. 2005; 227(6): 954-959. DOI: https://doi.org/10.2460/javma.2005.227.954
DI CERBO, Alessandro et al. Functional foods in pet nutrition: focus on dogs and cats. *Research in Veterinary Science*, v. 112, p. 161–166, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034528816303332. Acesso em: 15 jun. 2025. https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.03.020.
DIANAWATI, D.; MISHRA, V.; SHAH, N... Effect of drying methods of microencapsulated *Lactobacillus acidophilus* and *Lactococcus lactis* ssp. *Cremoris* on secondary protein structure and glass transition temperature as studied by Fourier transform infrared and differential scanning calorimetry. *J. Dairy Sci.* 2013, 96.
DIJKSTRA, J. Production and absorption of volatile fatty acids in the rumen. *Livestock Production Science*, v. 39, p. 61–69, 1994.
DUSKAEV, G.; RAKHMATULLIN, S.; KVAN, O. Effects of *Bacillus cereus* and coumarin on growth performance, blood biochemical parameters, and meat quality in broilers. *Vet. World* 2020, 13, 2484.
EFSA PANEL ON ADDITIVES AND PRODUCTS OR SUBSTANCES USED IN ANIMAL FEED, RYCHEN G, AQUILINA G, AZIMONTI G, BAMPIDIS V, BASTOS ML ET AL., Guidance on the characterisation of microorganisms used as additives or as production organisms. *EFSA J* 16:5206 (2018)
EL-HACK, M.; EL-SAADONY, M.; SHAFI, M.; QATTAN, S.; BATIHA, G.; KHAFAGA, A.; ABDEL-MONEIM, A.; ALAGAWANY, M. Probiotics in poultry feed: A comprehensive review. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 2020, 104, 1835–1850.
ELSCHLAEGER TA. Mechanisms of probiotic actions–A review. *Int J Med Microbiol*. 2010; 300(1): 57–62. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijmm/j.ijmm.2009.08.005
FAO, Guidelines for the evaluation of probiotics in food, in the report of a joint FAO/WHO working group on drafting guidelines for the evaluation of probiotics in food. FAO, London, Ontario, Canada (2002)
FERNÁNDEZ L, MARTÍNEZ R, PÉREZ M, ARROYO R, RODRÍGUEZ JM. Characterization of *Lactobacillus rhamnosus* MP01 and *Lactobacillus plantarum* MP02

and assessment of their potential for the prevention of gastrointestinal infections in an experimental canine model. *Front Microbiol*. 2019; 10:1117. doi: 10.3389/fmicb.2019.01117.
FIBRA: uma palavra ampla, confusa e quimicamente mal definida. *Agrimídia*, 2015. Disponível em: https://www.agrimidia.com.br/agronegocio/fibra-uma-palavra-ampla-confusa-e-quimicamente-mal-definida/.
FLUCK, A. C. et al. A lignina na alimentação de ruminantes. In: *Nutrição animal: novas perspectivas e avanços para a sustentabilidade e otimização dos sistemas de criação*. [S.l.]: Científica Digital, 2025. p. 11–24.
FORESTIER C, DE CHAMPS C, VATOUX C, AND JOLY B, probiotic activities of Lactobacillus casei rhamnosus: in vitro adherence to intestinal cells and antimicrobial properties. *Res Microbiol* 152: 167–173 (2001)
FRIZZO LS, SOTO LP, ZBRUN MV, BERTOZZI E, SEQUEIRA G, ARMESTO RR ET AL., Lactic acid bacteria to improve growth performance in young calves fed milk replacer and spray-dried whey powder. *Anim Feed Sci Technol* 157: 159–167 (2010)
FULLER R, T. C. G. M. A. P. S. *J Poultry Sci* 38: 189–196 (2001)
FUSI E, RIZZI R, POLLI M, CANNAS S, GIARDINI A, BRUNI N, et al. Effects of *Lactobacillus acidophilus* D2/CSL (CECT 4529) supplementation on healthy cat performance. *Vet Rec Open*. 2019;6:e000368. doi: 10.1136/vetreco-2019-000368.
GUIMARÃES, MARIA. et al. Potencial de aproveitamento dos coprodutos de frutas tropicais na elaboração de novos produtos alimentícios. *Research, Society and Development*, v. 12, n. 2, p. e14312240012-e14312240012, 2023.
HAINES, M.; PARKER, H.; MCDANIEL, C.; KIESS, A. When Rooster Semen is Exposed to *Lactobacillus,* Fertility is Reduced. *Int. J. Poult. Sci.* 2015, 14, 541.
HALLIWELL, B. Free radicals and antioxidants – quo vadis? *Trends in Pharmacological Sciences*, v. 32, n. 3, p. 125–130, March 2011.
HARGIS, B.; TELLEZ, G.; LATORRE, J.; WOLFENDEN, Compositions, Probiotic Formulations and Methods to Promote Digestion and Improve Nutrition in Poultry. U.S. Patent 10,959,447, 26 July 2018.
HASLER, C. M. Functional Foods: their role in disease prevention and health promotion. *Food Technology*, v. 52, n. 11, p. 63–70, 1998.
HEJDYSZ, M.; WIAZ, M.; JÓZEFIAK, D.; KACZMAREK, S.; RUTKOWSKI, A... The use of selected organic acids and their mixtures in the feeding of fattening chickens. *Sci. Ann. Pol. Soc. Anim. Prod.* 2012, 8, 59–68.

HERNANDEZ-PATLAN, D.; SOLIS-CRUZ, B.; HARGIS, B.; TELLEZ, G... The Use of Probiotics in Poultry Production for the Control of Bacterial Infections and Aflatoxins. *Prebiotics Probiotics* 2020, 1–21.
HIDAYAT, M.; MALAKA, R.; AGUSTINA, L.; PAKIDING, W.Abdominal Fat Percentage and Carcass Quality of Broiler Given Probiotics *Bacillus* Spp. Metabolism 2016, 22, 3–60.
HONNEFFER JB, MINAMOTO Y, SUCHODOLSKI JS. Microbiota alterations in acute and chronic gastrointestinal inflammation of cats and dogs. *World J Gastroenterol*. 2014; 20:16489–97. doi: 10.3748/wjg.v20.i44.16489.Willard, MD. Feline inflammatory bowel disease: a review. *J Feline Med Surg*. 1999; 1:155–64. doi: 10.1016/S1098-612X(99)90204-8.
HUSSEIN, E.; AHMED, S.; ABUDABOS, A.; SULIMAN, G.; EL-HACK, M.; SWELUM, A.; ALOWAIMER, A.Ameliorative Effects of Antibiotic-, Probiotic- and Phytobiotic-Supplemented Diets on the Performance, Intestinal Health, Carcass Traits, and Meat Quality of *Clostridium Perfringens*-Infected Broilers. *Animals* 2020, 10, 669.
JACOBI CA, SCHULZ C, MALFERTHEINER P. Treating critically ill patients with probiotics: beneficial or dangerous? *Gut Pathog*. 2011; 3:2. doi: 10.1186/1757-4749-3-2.; Kochan P, Chmielarczyk A, Szymaniak L, Brykczynski M, Galant K, Zych A, et al. *Lactobacillus rhamnosus* administration causes sepsis in a cardiosurgical patient—is the time right to revise probiotic safety guidelines? *Clin Microbiol Infect*. 2011; 17:1589–92. doi: 10.1111/j.1469-0691.2011.03614.
JERGENS AE, S.K.Inflammatory bowel disease in veterinary medicine. *Front Biosci (Elite Ed)*. 2012; 4:1404–19. doi: 10.2741/e470.
JIANG, T.; LI, H.; HAN, G.; SINGH, B.; KANG, S.; BOK, J.; KIM, D.; HONG, Z.; CHOI, Y.; CHO, C. Oral delivery of probiotics in poultry using pH-sensitive tablets. *J. Microbiol. Biotechnol.* 2017, 27, 739–746.
JUNG, H.J. Analysis of forage fiber and cell walls in ruminant nutrition. *Am Soc. for Nutr. Sci.*, 810, 1997.
KABIR, S. The Role of Probiotics in the Poultry Industry. *Int. J. Mol. Sci.* 2009, 10, 3531–3546.
KAWAUCHI, IM. Et al. 2014. Prediction of crude protein digestibility of animal by-product meals for dogs by the protein solubility in pepsin method. *Journal of nutritional science*, 3.

KELLEY RL, MINIKHIEM D, KIELY B, O'MAHONY L, O'SULLIVAN D, BOILEAU T, et al. Clinical benefits of probiotic canine-derived *Bifidobacterium animalis* strain AHC7 in dogs with acute idiopathic diarrhea. *Vet Ther*. 2009; 10:121–30.
KHAN R, ULLAH KHAN R, NAZ S, DHAMA K, KARTHIK K, TIWARI R, ET AL., Direct-fed microbial: beneficial applications, modes of action, and prospects as a safe tool for enhancing ruminant production and safeguarding health. *Int J Pharmacol* 12: 220–231 (2016). https://doi.org/10.3923/ijp.2016.220.231
KIESS, A.; HIRAI, J.; TRIPLETT, M.; PARKER, H.; MCDANIEL, C. Impact of oral *Lactobacillus acidophilus* gavage on rooster seminal and cloacal *Lactobacilli* concentrations. *Poult. Sci.* 2016, 95, 1934–1938.
KREHBIEL C, RUST S, ZHANG G, AND GILLILAND S, Bacterial direct-fed microbials in ruminant diets: performance response and mode of action. *J Anim Sci* 81: E120–E132 (2003)
KRUIS W, FRIČ P, POKROTNIEKS J, LUKÁŠ M, FIXA B, KAŠČÁK M ET AL., maintaining remission of ulcerative colitis with the probiotic *Escherichia coli Nissle*. 1917 is as effective as with standard mesalazine. *Gut* 53: 1617–1623 (2004)
KUNG L, TAYLOR CC, LYNCH MP, AND NEYLON JM, THE EFFECT OF TREATING ALFALFA WITH *LACTOBACILLUS BUCHNERI*. 40788 on silage fermentation, aerobic stability, and nutritive value for lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 86: 336–343 (2003)
KURUSHIMA, J. D. et al. Efeito dos ácidos graxos da dieta sobre o metabolismo do colesterol em hamsters. *Arquivos de Ciências da Saúde da UNIPAR*, v. 5, n. 1, p. 35–41, 1995.
KWIATEK, K.; OSINSKI, Z.; PATYRA, E. Probiotic feed additives in animal nutrition. *Pasze Przem*. 2015, 24, 28–29.
LATTIMER, J. M.; HAUB, M. D. Effects of dietary fiber and its components on metabolic health. *Nutrients*, v. 2, n. 12, p. 1266–1289, 2010. DOI: 10.3390/nu2121266. PMID: 22254008. PMCID: PMC3257631.
LIMA, M. P. de; CARVALHO, M. das G. F. de. A influência dos antioxidantes na longevidade. *Brazilian Journal of Health Review*, [S. l.], v. 7, n. 3, p. e69487, 2024. DOI: 10.34119/bjhrv7n3-036. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJHR/article/view/69487. Acesso em: 18 jun. 2025.
LINS, L. P.; FURTADO, A. C.; MITO, J. Y. de L.; PADILHA, J. C. O aproveitamento energético do biogás como ferramenta para os objetivos do desenvolvimento sustentável. *Interações (Campo Grande)*, v. 23, n. 4, out./dez. 2022. Disponível

em: https://www.scielo.br/j/inter/a/ZyCPpJKCbPJknpGKYyXYv7R/. Acesso em: 17 jun. 2025.
LUO, Y.; REN, W.; SMIDT, H.; WRIGHT, A.; YU, B.; SCHYNS, G.; MCCORMACK, U.; COWIESON, A.; YU, J.; HE, J. Dynamic distribution of gut microbiota in pigs at different growth stages: Composition and contribution. *Microbiol. Spectr*. 2022, 10, e00688-21.
LYONS, G. et al. Prediction of lignin content in ruminant diets and fecal samples using rapid analytical techniques. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 66, n. 49, p. 13031–13040, 12 dez. 2018.
MACHADO, Luiz Carlos. Análise e controle de qualidade dos alimentos para animais – ACQAPA. [S. l.: s. n.], 2024. 235 p. E-book.
MARSHALL-JONES ZV, BAILLON MLA, CROFT JM, BUTTERWICK RF. Effects of *Lactobacillus acidophilus* DSM13241 as a probiotic in healthy adult cats. *Am J Vet Res*. 2006; 67:1005–12. doi: 10.2460/ajvr.67.6.1005.
MARTINS, B. A importância da fibra na dieta de vacas leiteiras: revisão bibliográfica. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Zootecnia) – *Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal*, 2022.
MASUOKA H, SHIMADA K, KIYOSUE-YASUDA T, KIYOSUE M, OISHI Y, KIMURA S, ET AL. Transition of the intestinal microbiota of dogs with age. *Biosci Microbiota Food Health*. 2017; 36:27–31. doi: 10.12938/bmfh.BMFH-2016-021.
MATOS, R. S. Fontes de fibra em dietas para cabras leiteiras. 2012. 87 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – *Universidade Federal de Viçosa, Viçosa*, 2012.
MAZANKO, M.; GORLOV, I.; PRAZDNOVA, E.; MAKARENKO, M.; USATOV, A.; BREN, A.; CHISTYAKOV, V.; TUTELYAN, A.; KOMAROVA, Z.; MOSOLOVA, N.; ET AL. *Bacillus* Probiotic Supplementations Improve Laying Performance, Egg Quality, Hatching of Laying Hens, and Sperm Quality of Roosters. *Probiotics Antimicrob. Proteins* 2018, 10, 367–373.
MEDEIROS, S. R. Fontes de lipídios na alimentação de ruminantes e na qualidade da carne e do leite. *Curso de Atualização em Produção de Ruminantes*. Lavras: *Universidade Federal de Lavras*, 2011.
MENCONI, A.; BIELKE, L.; HARGIS, B.; TELLEZ, G. Immuno-modulation and anti-inflammatory effects of antibiotic growth promoters versus probiotics in the intestinal tract. *J. Microbiol. Res. Rev.* 2014, 2, 62–67.

MENCONI, A.; KALLAPURA, G.; LATORRE, J.; MORGAN, M.; PUMFORD, N.; HARGIS, B.; TELLEZ, G.Identification and Characterization of Lactic Acid Bacteria in a Commercial Probiotic Culture. *Biosci. Microbiota Food Health* 2014, 33, 25–30.
MENDES, A. P. A.; PEREIRA, R. C.; ANGELIS-PEREIRA, M. C. Estresse oxidativo e sistemas antioxidantes: conceitos fundamentais sob os aspectos da nutrição e da ciência dos alimentos. In: *Tecnologia de Alimentos: Tópicos Físicos, Químicos e Biológicos – V. 2*. [S.l.]: Científica Digital, [2020]. Cap. [20], p. 298–306. doi: 10.37885/200800988
MERTENS, D. R. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 80, p. 1463–1481, 1997.
MERTENS, D.R. Physical effective NDF and its use in formulating dairy rations. In: *Simpósio Internacional Em Bovinos De Leite*, 2., 2001, Lavras. Anais. Lavras: UFLA-FAEPE, 2001. p.25–36.
MINSON, D. J. *Forage in ruminant nutrition*. New York: Academic Press, 1990.
MORAES, F. P. Alimentos funcionais e nutracêuticos: definições, legislação e benefícios à saúde. *Revista Eletrônica de Farmácia*, v. 3, n. 2, 2007.
MORAIS, B. D. A. E. A. Nutritional and health benefits of prebiotics and probiotics in companion animals. *Animals (Basel), Basel*, v. 11, n. 6, p. 1620, 2021. Disponível em: https://www.mdpi.com/2076-2615/11/6/1620. Acesso em: 18 jun. 2025.
MORE, S. J. Perspectivas europeias sobre os esforços para reduzir o uso de antimicrobianos na produção animal. *Ir Vet J* 73, 2 (2020).
MOREIRA, A. L. Valor nutritivo de rações contendo silagem de milho, fenos de alfafa e capim-coastcross. 2000. 60 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – *Universidade Federal de Viçosa, Viçosa*, 2000.
MOREIRA, F.B. Subprodutos do algodão na alimentação de ruminantes. *Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia*. ISSN, v.2 n.36, 2008.
MOREIRA, L. M. et al. A new approach to the digestion of fibers by ruminants. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 14, n. 2, p. 382–395, jun. 2013.
MOURA, J. F. et al. Uso de probióticos e prebióticos em cães e gatos. *Ciência Animal*, v. 31, n. 4, p. 66–81, 2021.
NASCIMENTO, M. D. et al. Alimentos funcionais: probióticos, prebióticos e simbióticos. In: [organizador(es)]. *Alimentos e nutrição: uma abordagem científica para uma vida saudável*. Cap. 7, 2024.

NEVES, M. F. O Brasil como fornecedor mundial sustentável de alimentos, bioenergia e outros agroprodutos. In: PENA JÚNIOR, M. A. G.; FRANÇOZO, M. A. S. (org.). *O futuro da agricultura brasileira: 10 visões*. Embrapa, 2023.
NOCEK JE, KAUTZ WP, LEEDLE JAZ, AND ALLMAN JG, ruminal supplementation of direct-fed microbials on diurnal ph variation and in situ digestion in dairy cattle. *J Dairy Sci* 85: 429–433 (2002)
NOSRATI, N.; BAKOVIC, M.; PALIYATH, G. Molecular Mechanisms and Pathways as Targets for Cancer Prevention and Progression with Dietary Compounds. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 18, n.10, p. E2050, out. 2017.
OLIVEIRA, R. L. Suplementação com óleo de linhaça para ovelhas leiteiras: desempenho, qualidade do leite e perfil de ácidos graxos. 2012. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – *Universidade Federal da Bahia, Salvador*, 2012.
PARK, Y.; HAMIDON, F.; RAJANGAN, C.; SOH, K.; GAN, C.; LIM, T.; ABDULLAH, W.; LIONG, M.Application of Probiotics to Produce Safe and High-quality Poultry Meat. *Food Sci. Anim. Resour.* 2016, 36, 567–576.
PARRAGA ME, SPIER SJ, THURMOND M, AND HIRSH D. A clinical trial of probiotic administration for the prevention of Salmonella shedding in the postoperative period in horses with colic. *J Vet Intern Med*. 1997; 11: 36–41. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.1997.tb00071.
PERALTA-SÁNCHEZ, J.; MARTÍN-PLATERO, A.; ARIZA-ROMERO, J.; RABELO-RUIZ, M.; ZURITA-GONZÁLEZ, M.; BAÑOS, A.; RUANO, S.; MAQUEDA, M.; VALDIVIA, E.; MARTÍNEZ-BUENO, M. Egg Production in Poultry Farming Is Improved by Probiotic Bacteria. *Front. Microbiol.* 2019, 10, 1042.
PIMENTEL, B. M. V.; FRANCKI, M.; GOLLÜCKE, B. P. Alimentos funcionais: introdução às principais substâncias bioativas em alimentos. São Paulo: *Varella*, 2005.
POLIZEL, D. M.; SOARES, L. C. B. Caroço de Algodão: qual a qualidade do coproduto que utilizo na minha propriedade? *ESALQLab*, 2021.
PRICE, P.; GAYDOS, T.; BERGHAUS, R.; BAXTER, V.; HOFACRE, C.; SIMS, M.*Salmonella Enteritidis* reduction in layer ceca with a *Bacillus* probiotic. *Vet. World* 2020, 13, 184–187.
PROAF – Pró-Reitoria de Ações Afirmativas. Alimentos Funcionais: Você sabe o que é isso? Bahia, 24 abr. 2023. Disponível em:

https://ufsb.edu.br/proaf/proaf/dace/cqv/setor-de-promocao-a-saude-estudantil/acao-bem-estar/acao-de-nutricao/promovendo-alimentacao-saudavel/alimentos-funcionais-voce-sabe-o-que-e-isso. Acesso em: 15 jun. 2025.
PUNIYA AK, SALEM AZM, KUMAR S, DAGAR SS, GRIFFITH GW, PUNIYA M ET AL., Role of live microbial feed supplements with reference to anaerobic fungi in ruminant productivity: a review. *J Integr Agric* 14: 550–560 (2015).
REA MC, CLAYTON E, O'CONNOR PM, SHANAHAN F, KIELY B, ROSS RP, ET AL., antimicrobial activity of lacticin. 3147 against clinical *Clostridium difficile* strains. *J Med Microbiol* 56: 940–946 (2007)
RECH, HERBERT et al. Variability in Distillers' Co-Product Compositions and Their Nutritional Availability for Pigs: Insights from a Systematic Literature Review. *Animals*, v. 14, n. 23, p. 3455, 2024.
REDFERN A, SUCHODOLSKI J, JERGENS A. Role of the gastrointestinal microbiota in small animal health and disease. *Vet Rec*. 2017; 181:370. doi: 10.1136/vr.103826.
RIBEIRO, S. M. R. et al. Antioxidantes da dieta. In: COSTA, N. M. B.; PELUZIO, M. C. G. *Nutrição Básica 312 Tecnologia de Alimentos: Tópicos Físicos, Químicos e Biológicos - Volume 2* e Metabolismo. Viçosa, MG: *Ed. UFV*, 2008. Cap. 11.
RICKE, S. C.; DITTOE, D. K.; RICHARDSON, K. E. Formic acid as an antimicrobial for poultry production: a review. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 7, p. 563, 2020.
RODRÍGUEZ, M. B. S.; MEGÍAS, S. M.; BAENA, B. M. Alimentos funcionales y nutrición óptima. *Revista Española de Salud Pública*, v. 77, n. 3, p. 317–331, 2003.
SAINT-CYR, M.; GUYARD-NICODÈME, M.; MESSAOUDI, S.; CHEMALY, M.; CAPPELIER, J.; DOUSSET, X.; HADDAD, N. Recent advances in screening of anti-*Campylobacter* activity in probiotics for use in poultry. *Front. Microbiol.* 2016, 7, 553.
SALLA, L. E. et al. Diferentes fontes de fibra na alimentação de ovinos à base de palma forrageira—Revista *Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 14, n. 4, 2013.
SANTOS, F. A. P. et al. Milho com diferentes graus de moagem, em combinação com polpa cítrica peletizada ou com casca de soja, para vacas leiteiras no terço médio da lactação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, n. 4, p. 1183–1191, 2007.

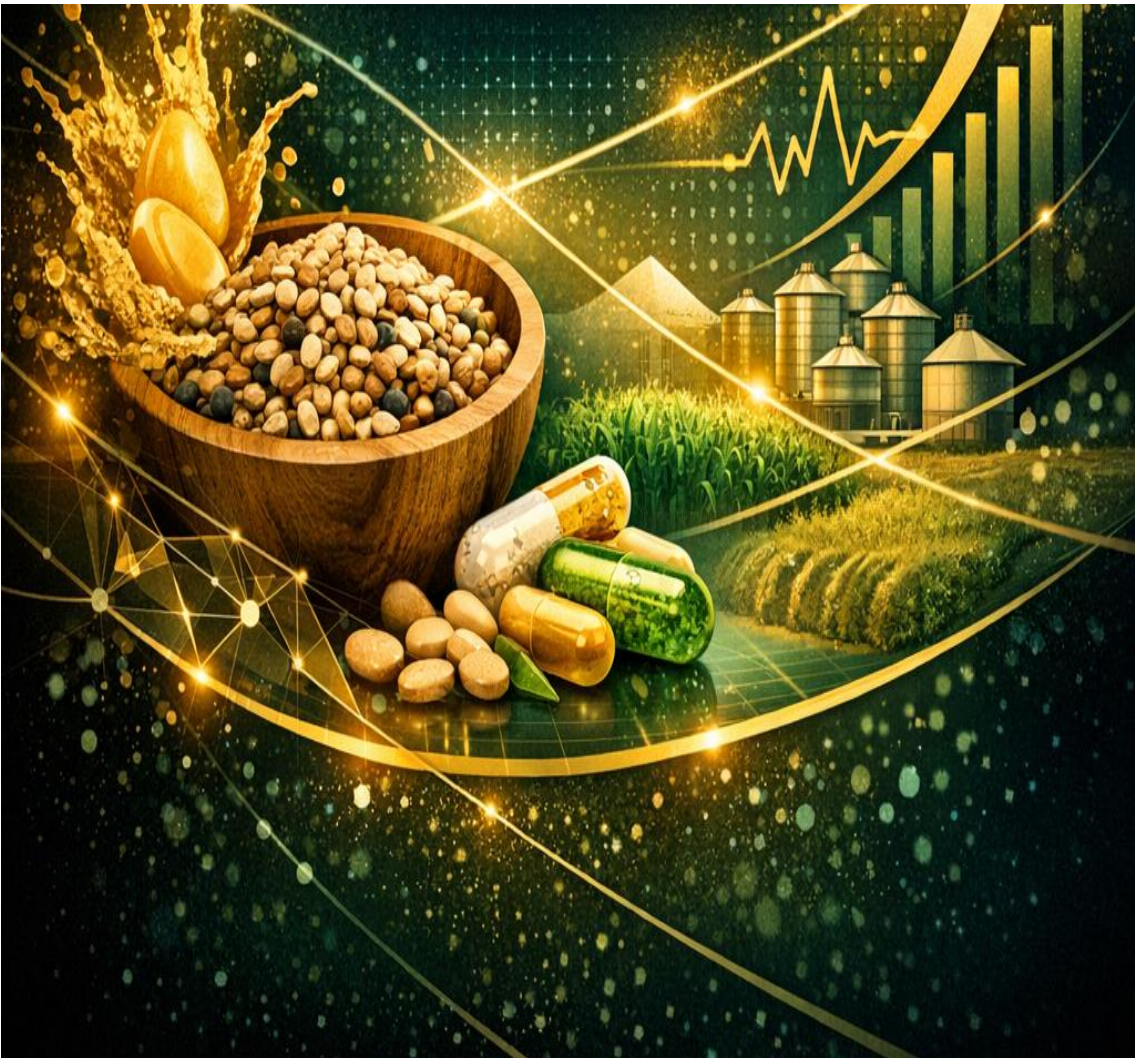
SCHALCH, F. J. et al. Substituição do milho em grão moído pela polpa cítrica na desmama precoce de bezerros leiteiros. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 30, n. 1, p. 280–285, 2001. DOI: 10.1590/S1516-35982001000100039.
SCHOGOR, Ana Luiza Bachmann. Alimentos Funcionais na Alimentação Animal. *Anais do Encontro Brasileiro de Alimentos Funcionais*, Paraná, 2019.
SHI, S.; QI, Z.; JIANG, W.; QUAN, S.; SHENG, T.; TU, J.; SHAO, Y.; QI, K... Effects of probiotics on cecal microbiome profile altered by duck *Escherichia coli* 17 infection in Cherry Valley ducks. *Microb. Pathog.* 2020, 138, 103849.
SIITIYA, J. et al. Influence of levels of dietary fiber sources on the performance, carcass traits, gastrointestinal tract development, fecal ammonia nitrogen, and intestinal morphology of broilers. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, v. 22, n. 1, 2020.
SILVA, D.J.: QUEIROZ. A.C. Análise de alimentos. Métodos químicos e biológicos. 3 ed. Viçosa: UFV, 2002. 235p.
SILVA, S. M. Linhaça: alternativa na nutrição de ruminantes para produção de leite funcional. 2014. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – *Universidade Federal de Viçosa, Viçosa*, 2014.
SILVA, W.J.M. Metabolismo mitocondrial, radicais livres e envelhecimento. *Rev. Bras. Geriat*. Rio de Janeiro. 2011.
SOAR ES, E. R.; MONTEIRTO, R.C.S.; BATISTA, A.; SOBREIRA, F.; MATTOS, T.; COSTA, C.; DALEPRANE, J. B. Compostos bioativos em alimentos, estresse oxidativo e inflamação: uma visão molecular da nutrição. *Rev. HUPE*. Rio de Janeiro. 2015.
SOBRINO, O.; ALBA, C.; ARROYO, R.; PÉREZ, I.; SARIEGO, L.; DELGADO, S.; FERNÁNDEZ, L.; DE MARÍA, J.; FUMANAL, P.; FUMANAL, A. Replacement of Metaphylactic Antimicrobial Therapy by Oral Administration of *Ligilactobacillus salivarius* MP100 in a Pig Farm. *Front. Vet. Sci.* 2021, 8, 666887.
STEINEL, C. V. B. Probióticos e prebióticos para humanos e pets: levantamento e caracterização dos produtos disponíveis no mercado varejista de Londrina-PR. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso – *Universidade Estadual de Londrina, Londrina*, 2021.
STRINGHETA, P. C.; OLIVEIRA, T. T.; GOMES, R. C.; AMARAL, M. P. H.; CARVALHO, A. F.; VILELA, M. A. P. Políticas de saúde e alegações de propriedades funcionais e de saúde para alimentos no Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, v. 43, n. 2, p. 181–194, abr./jun. 2007.

TEIXEIRA, Juliana Maria Freitas. Fibra na alimentação de monogástricos. *Nutritime Revista Eletrônica*, Viçosa, v. 20, n. 2, p. 9204–9208, mar./abr. 2023. Disponível em: http://www.nutritime.com.br. Acesso em: 19 jun. 2025.
UNTERER S, B. K. Acute hemorrhagic diarrhea syndrome in dogs. *Vet Clin Small Anim Pract*. 2021; 51:79–92. doi: 10.1016/j.cvsm.2020.09.007.
VAN SOEST, P.J. Nutritional ecology of the ruminant. 2. ed., Ithaca: *Comstock*, 1994. 476p.
VAN SOEST, P.J.: ROBERTSON, J.B.; LEWIS. B.A.S. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science. v. 74, p.3583–3597. 1991.
VEIR JK, KNORR R, CAVADINI C, SHERRILL SJ, BENYACOUB J, SATYARAJ E, ET al. Effect of supplementation with *Enterococcus faecium* (SF68) on immune functions in cats. *Vet Ther Res Appl Vet Med*. 2007; 8:229–38.
VELLOSO, L.; MASOTTI, N.; BECKER, M.; LUCCI, C. S. Polpa cítrica peletizada para bovinos em confinamento. *Revista da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo*, v. 11, n. 1, p. 21-25, 1974.
VIEITES, F. M. et al. Morfologia e microbiota de frangos de corte alimentados com rações contendo óleos essenciais: revisão. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 8, p. e185985511, 2020.
WEISS, W. P. Energy prediction equations for ruminant feeds. In: *cornell nutrition conference for feed manufacturers*, 61, 1999, Proceedings, Ithaca: *Cornell University*, 1999. p. 176–185.
WU, Q.; KOSTEN, T. R.; ZHANG, X. Y. Free radicals, antioxidant defense systems, and schizophrenia. *Progress Neuropsychopharmacol Biological Psychiatry*, v. 46, p. 200-206, 2013.
XIONG, X.; TAN, B.; SONG, M.; JI, P.; KIM, K.; YIN, Y.; LIU, Y... Nutritional intervention for the intestinal development and health of weaned pigs. *Front. Vet. Sci.* 2019, 6, 46.
XU H, HUANG W, HOU Q, KWOK LY, LAGA W, WANG Y, et al. Oral administration of compound probiotics improved feed intake, weight gain, immunity, and intestinal microbiota in dogs. *Front Immunol*. 2019; 10:666. doi: 10.3389/fimmu.2019.00666.
YANG Y, IJI PA, AND CHOCT M, Dietary modulation of gut microflora in broiler chickens: a review of the role of six kinds of alternatives to in-feed antibiotics. *Worlds Poult Sci J* 65: 97–114 (2009).; Matsuguchi T, Takagi A, Matsuzaki T,

Nagaoka M, Ishikawa K, Yokokura T et al., Lipoteichoic acids from *Lactobacillus* strains elicit strong tumor necrosis factor alpha-inducing activities in macrophages through toll-like receptor 2. *Clin Diagn Lab Immunol* 10: 259–266 (2003).)
YOON IK AND STERN MD, I. O. D. M. O. R. M. F. A. P. O. R. -. A. R... *Asian-Australas J Anim Sci* 8: 533–555 (1995)
ZOMMITI, M.; CHIKINDAS, M. L.; FERCHICHI, M. Probiotics – live biotherapeutics: a story of success, limitations, and prospects—Not only for humans. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 1266–1289, set. 2020. DOI: 10.1007/s12602-019-09570-5. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s12602-019-09570-5. Acesso em: 18 jun. 2025.

## CAPÍTULO 2

# ADITIVOS NUTRICIONAIS EM DIETAS DE ANIMAIS



## 1. Introdução

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2015), os aditivos são definidos como substâncias, microrganismos ou produtos formulados que, embora não sejam ingredientes convencionais da alimentação animal, são adicionados intencionalmente com o objetivo de melhorar as características dos produtos destinados à alimentação animal ou dos produtos animais, como também para contribuir para o desempenho dos animais saudáveis ou suprir suas necessidades nutricionais.

De acordo com a Instrução Normativa nº 44, de 15 de dezembro de 2015, os aditivos são classificados em quatro categorias principais: tecnológicos, sensoriais, nutricionais e zootécnicos. Cada aditivo pode ser classificado em uma ou mais dessas categorias, conforme suas funções e propriedades. Além disso, dentro de cada categoria, os aditivos são subdivididos em grupos funcionais, podendo o mesmo aditivo pertencer a mais de um grupo (MAPA, 2015).

A categoria dos aditivos nutricionais inclui substâncias utilizadas para manter ou melhorar o valor nutricional dos ingredientes e dos produtos destinados aos animais. Conforme o Anexo II da IN nº 44/2015, os aditivos nutricionais abrangem quatro grupos funcionais: vitaminas, provitaminas e substâncias quimicamente definidas de efeito semelhante; aminoácidos, seus sais e análogos; oligoelementos ou compostos de oligoelementos; e ureia e seus derivados.

No Brasil, a regulamentação da produção e comercialização de alimentos para animais é estabelecida pela Lei nº 6.198, de 26 de dezembro de 1974, regulamentada pelo Decreto nº 6.296, de 11 de dezembro de 2007. Essa legislação atribui ao MAPA a responsabilidade de normatizar e fiscalizar tais atividades. Nesse contexto, foram publicadas a Instrução Normativa nº 13, de 30 de novembro de 2004, e sua atualização, a IN nº 44/2015, com o objetivo de estabelecer

os procedimentos básicos para a avaliação de segurança de uso, o registro e a comercialização de aditivos utilizados na alimentação animal, visando à proteção da saúde humana, animal e ambiental (Danieli; Schogor, 2020).

## 2. Vitaminas, provitaminas e substâncias quimicamente definidas de efeito similar

As vitaminas são compostos orgânicos essenciais ao metabolismo, necessários em pequenas quantidades para o funcionamento adequado de processos fisiológicos vitais. A maioria das vitaminas não é sintetizada em quantidades suficientes pelo organismo dos animais, sendo necessária a obtenção por meio da dieta ou da suplementação. Participam de funções como a regulação de reações enzimáticas, a defesa antioxidante, a manutenção da integridade celular, o crescimento, a reprodução e a imunidade (McDowell, 2000).

Classificam-se em duas grandes categorias: lipossolúveis e hidrossolúveis. As vitaminas lipossolúveis (A, D, E e K) são absorvidas juntamente com lipídios dietéticos, armazenadas no fígado e no tecido adiposo e apresentam maior risco de toxicidade quando ingeridas em excesso, devido à sua lenta excreção. Já as hidrossolúveis (complexo B e vitamina C) são solúveis em água, não são armazenadas em grandes quantidades e seu excesso é eliminado pela urina, sendo menos associadas à hipervitaminose, mas mais suscetíveis à deficiência (Fennema, 2010).

A vitamina A é fundamental para a visão, a integridade epitelial e a reprodução; sua deficiência pode causar cegueira noturna e lesões cutâneas. A vitamina D regula a homeostase de cálcio e fósforo, prevenindo o raquitismo e a osteomalácia. A vitamina E atua como antioxidante, protegendo as membranas celulares; sua deficiência pode resultar em distúrbios neuromusculares e infertilidade. A vitamina K é essencial para a coagulação sanguínea, e sua deficiência leva a hemorragias. No grupo das hidrossolúveis, destacam-se as vitaminas do

complexo B, importantes para o metabolismo energético e a síntese de macromoléculas, e a vitamina C, que participa da síntese de colágeno e da imunidade (NRC, 2006).

As provitaminas são precursoras que, após transformações metabólicas no organismo, originam vitaminas ativas. Um exemplo clássico é o β-caroteno, encontrado em alimentos como cenoura, milho e alfafa, que é convertido em vitamina A no fígado de várias espécies. O 7-dehidrocolesterol, presente na pele de alguns animais, é convertido em vitamina $D_3$ por exposição à radiação ultravioleta B. Em fungos e leveduras, o ergosterol pode ser convertido em vitamina $D_2$. A eficiência dessa conversão varia conforme a espécie; por exemplo, gatos e cães têm capacidade limitada de produzir vitamina D a partir da luz solar, necessitando obtê-la principalmente pela dieta (Fennema, 2010).

Há ainda substâncias sintéticas de estrutura química definida que não são vitaminas, mas que apresentam efeitos nutricionais semelhantes. Tais compostos podem atuar como antioxidantes ou coenzimas, desempenhando funções equivalentes às das vitaminas naturais (EFSA, 2012). Entre os exemplos mais comuns estão a menadiona (vitamina K3) e o tocoferol sintético, frequentemente utilizados na alimentação animal por sua estabilidade e equivalência fisiológica (Mcdonald et al., 2011).

## 3. Oligoelementos ou compostos de oligoelementos e seus análogos

Os oligoelementos ou compostos de oligoelementos, também chamados de microminerais, fazem parte do grupo dos aditivos nutricionais, que desempenham papéis fundamentais no metabolismo energético, no metabolismo oxidativo e na função imunológica dos animais (Overton TR, Yasui T, 2014). Eles estão em baixas concentrações no organismo e seus níveis são expressos em partes por milhão (ppm). Os principais microminerais presentes no organismo

são: cobre, zinco, iodo, selênio, ferro, cobalto, manganês, molibdênio, flúor e cromo (González; Silva, 2019).

Embora as forragens sejam importantes fontes de proteínas, fibras, ácidos graxos, minerais e vitaminas em dietas de ruminantes, alguns fatores podem influenciar essas concentrações entre as diferentes espécies de forrageiras, como, por exemplo, o tempo de armazenamento dessas forragens (Elgersma A, et al., 2015). As deficiências observadas mais frequentemente de microminerais em ruminantes são de cobre, cobalto e zinco, seguidas de selênio e iodo (González; Silva, 2019).

Overton TR e Yasui T (2014) mencionam que para vacas leiteiras os oligoelementos de principal interesse são o zinco, cobre, manganês e selênio, apesar de que seus dados também mostrem papéis potencialmente importantes do cromo, cobalto e ferro em suas dietas, sendo que zinco, cobre e manganês atuam durante o período de transição e durante o início da lactação, além de poderem incrementar na produção de leite (Mao et al., 2013).

As deficiências de minerais podem ser diagnosticadas por meio da análise do solo e dos alimentos que os animais consumem. Contudo, em virtude de variações na disponibilidade, nos custos das análises e das interferências dos diferentes minerais, o diagnóstico dessas deficiências pode ser obtido por meio de análises de fluidos dos animais, principalmente sangue e urina. Além disso, avaliar a resposta do animal à suplementação com um mineral específico é a forma mais eficaz de obter um diagnóstico de deficiência (González; Silva, 2019).

A seguir estão listados os oligoelementos e sua importância para a saúde animal.

### *a. Cromo*

Entre os diversos microelementos presentes na dieta animal, o cromo destaca-se como um dos mais relevantes para o bem-estar animal. Quando utilizado como suplemento, o cromo influencia o metabolismo de carboidratos, proteínas e lipídios, fortalecendo o sistema imunológico e contribuindo para o melhor desempenho produtivo dos animais (Lay & Levina, 2008).

Estudos também demonstraram que o cromo atua de forma indireta no metabolismo da glicose, sendo reconhecido como Fator de Tolerância à Glicose (FTG), o que aumenta a sensibilidade das células à insulina (Anderson et al., 2001).

A deficiência de cromo, tanto em animais quanto em humanos, pode resultar na elevação dos níveis de glicose no sangue, devido à redução da eficácia da insulina. Além disso, pode provocar diminuição do colesterol sérico total e elevação do LDL-colesterol, bem como comprometer a utilização adequada da glicose e dos aminoácidos (González; Silva, 2019).

### *b. Cobre*

O cobre é um micromineral essencial para o crescimento, formação de hemoglobina e várias funções enzimáticas, mas pode ser tóxico, especialmente em ovinos. O fígado é o principal órgão que armazena este oligoelemento, e sua capacidade de depósito diminui com a idade, exceto nos ovinos. A absorção intestinal é baixa, variando de 5–10% em adultos e de 15–30% em jovens, e é influenciada por antagonistas, como molibdênio (Mo), enxofre (S), cálcio (Ca), proteína, ferro (Fe) e zinco (Zn) (Pereira et al., 2020).

O molibdênio é um dos principais antagonistas do cobre na nutrição de ruminantes. No rúmen, ele reage com o enxofre para formar compostos chamados tiomolibdano, que se ligam ao cobre formando complexos insolúveis. Esses

complexos reduzem a absorção intestinal do cobre, diminuem seu armazenamento no fígado e interferem na síntese de ceruloplasmina, a proteína responsável pelo transporte do mineral no sangue (Suttle, 2010).

Para evitar que o molibdênio cause deficiência de cobre, recomenda-se manter a relação Cu:Mo na dieta em, no mínimo, 4:1. Quando essa relação cai para menos de 2,8:1, aumenta consideravelmente o risco de hipocuprose, deficiência secundária de cobre, mesmo quando a ingestão total do mineral é aparentemente adequada. Esse efeito é ainda mais acentuado quando há excesso de enxofre na dieta, pois o excesso intensifica a formação de tiomolibdatos (González; Silva, 2019).

As exigências variam de 7–11 ppm em ruminantes e de 2–5 ppm em pequenos animais, aumentando quando há altos teores de Mo, Fe ou Zn. Boas fontes incluem sementes de leguminosas, farinhas de oleaginosas, cereais e pastagens (NRC, 2001; Pedreira, 2011).

O cobre é componente essencial de diversas metaloproteínas e enzimas oxidoredutoras, participando de processos como a pigmentação de pelos e lã, a mineralização óssea, a formação e a manutenção do sistema nervoso central, a integridade do miocárdio, a síntese do grupo heme e o metabolismo do ferro.

Sua deficiência pode causar anemia hipocrômica, redução da condição corporal, crescimento retardado, queda na produção, má absorção intestinal com diarreia, alterações ósseas (osteoporose, claudicações), problemas na pele e pelos (alopecia, despigmentação) e, em casos graves, degeneração cardíaca com risco de morte súbita (Fontes et., al, 2019).

A deficiência de cobre é uma das principais limitações nutricionais em animais a pasto nas regiões tropicais, ficando atrás apenas da deficiência de sódio e de fósforo. Os sinais incluem anemia, diarreia, alterações ósseas, problemas reprodutivos, distúrbios neurológicos e cardíacos, despigmentação (acromotriquia), falhas na queratinização de pelos e lã e imunodepressão. Em jovens, pode

causar ataxia neonatal devido à falha na mielinização dos neurônios; em potros, osteodisgênese. No Brasil, é comum em pastagens pobres em cobre, especialmente quando associada ao excesso de molibdênio, enxofre, ferro, cálcio ou zinco, ou à deficiência de cobalto, como no "mal do roncado" no Nordeste. Pastos com menos de 3 ppm de Cu podem causar deficiência; recomenda-se suplementar preventivamente para atingir 10 ppm na matéria seca, preferencialmente com sulfato de cobre, evitando excessos que são tóxicos, sobretudo para ovinos. Em casos clínicos, a suplementação parenteral é a mais indicada (González; Silva, 2019).

A ataxia enzoótica é uma doença neurológica causada por deficiência de cobre, que afeta especialmente cordeiros e cabritos jovens. A carência de cobre compromete a formação da bainha de mielina no sistema nervoso central, devido à redução da síntese de esfingolipídeos, o que leva à degeneração neuronal. Clinicamente, os animais apresentam incoordenação motora, fraqueza progressiva, tremores e dificuldade para caminhar, podendo evoluir para paralisia. A enfermidade pode ocorrer de forma congênita (animais nascem com sinais) ou tardia (manifesta-se após algumas semanas ou meses). O diagnóstico baseia-se nos sinais clínicos, no histórico de deficiência de cobre no rebanho e na confirmação por meio da análise dos níveis de cobre no fígado e no sangue. A prevenção e o tratamento envolvem a suplementação adequada de cobre na dieta, respeitando as exigências nutricionais da espécie (Fontes et al., 2019).

A tolerância ao cobre varia entre espécies, sendo os ovinos, especialmente, mais suscetíveis à intoxicação, que pode ser aguda ou crônica, e que pode ocorrer mesmo em animais a pasto quando há alto teor de Cu e baixo de molibdênio no solo. O excesso leva ao acúmulo no fígado e, sob estresse, à liberação repentina na corrente sanguínea, causando crise hemolítica com hemoglobinúria, icterícia e hemorragias. Causas incluem suplementação excessiva, ingestão de

plantas acumuladoras de Cu, uso de cama de frango, medicamentos antifúngicos e antiparasitários, substâncias moluscicidas e poluição industrial (Suttle, 2010).

### *c. Cobalto*

O cobalto é um oligoelemento essencial para a síntese da vitamina B12 pelas bactérias do rúmen. A vitamina B12 desempenha um papel fundamental em dois sistemas enzimáticos do metabolismo dos mamíferos, participando de diversos processos metabólicos, como os de carboidratos, lipídios e alguns aminoácidos, bem como o de DNA. As formas ativas da vitamina B12, a adenosilcobalamina e a metilcobalamina, atuam como coenzimas da metilmalonil-CoA mutase e da metionina sintetase, respectivamente, e são indispensáveis para a produção de energia no rúmen. (González-Montaña et al., 2020).

A deficiência de cobalto (Co) é um problema presente em todos os biomas e regiões do Brasil, com registros em diversos estados. Estima-se que mais da metade dos animais afetados pela deficiência seja criada em sistemas de manejo extensivo (Tokarnia et al., 2010). Animais em confinamento geralmente recebem suplementação mineral adequada e são alimentados com rações balanceadas que supram as necessidades minerais e proteicas essenciais para o bom desempenho. Já os animais criados em regime extensivo, por não receberem suplementação, frequentemente apresentam carência desse mineral (Riet-Correa, 2007).

A deficiência de cobalto pode causar sintomas como hiporexia (redução do apetite), crescimento prejudicado, perda de peso, esteatose hepática, anemia, comprometimento do sistema imunológico, disfunções reprodutivas e até morte. Para avaliar o status de cobalto em ruminantes, podem ser realizadas medições diretas dos níveis de cobalto ou de vitamina B12 no sangue ou em

tecidos, assim como a análise de marcadores bioquímicos, como ácido metilmalônico, homocisteína e transcobalamina no sangue, e de ácido metilmalônico na urina, além de variáveis hematológicas, consumo alimentar e desempenho no crescimento (González-Montaña et al. 2020).

***d. Zinco***

O zinco (Zn) desempenha um papel fundamental na nutrição animal, sendo componente de diversas enzimas envolvidas no metabolismo de vitaminas e carboidratos, bem como na síntese proteica, o que contribui para o crescimento saudável e o desenvolvimento adequado dos animais. Além dessas funções, o zinco é essencial para a estabilização do RNA e do DNA, para o funcionamento adequado do ribossomo, para a produção de insulina, para a atividade antioxidante e para a manutenção da integridade da pele (Angeles-Hernández et al., 2021). O zinco é o segundo mineral-traço mais abundante no organismo, porém não é armazenado nos tecidos corporais; por isso, deve estar constantemente disponível na dieta para suprir as necessidades fisiológicas dos animais (Yanuartono, Indarjulianto, & Paryuni, 2024).

Pode ser adquirido por meio do consumo de alimentos, principalmente os de origem animal, ou ainda por meio de fontes leguminosas e oleaginosas (Carciofi, 2008).

A deficiência de zinco está associada a diversos problemas, incluindo crescimento reduzido, devido à sua participação na proliferação celular e na síntese de proteínas. Também provoca cicatrização lenta e infertilidade, manifestando-se em machos pela falha na espermatogênese e em fêmeas por falhas na ovulação e na sobrevivência embrionária. Outros sinais reprodutivos de deficiência de zinco incluem hipogonadismo, atraso na puberdade, diminuição da resposta imunológica, com redução na produção de imunoglobulinas, e paraqueratose, especialmente em suínos (Duffy, R., et al., 2023).

Além disso, a deficiência pode causar alopecia, despigmentação do pelo, perda de lã, comprometimento do crescimento de cascos e chifres, que podem apresentar lesões, deformações, laminite e claudicações. Também pode ocorrer diminuição da síntese de proteínas plasmáticas, resultando em hipoalbuminemia e hipoglobulinemia, inflamação das articulações, fotofobia, anorexia e redução na produção de leite (González; Silva, 2019).

A toxicidade por zinco é rara na maioria das espécies, mas pode ocorrer quando a dieta contém níveis superiores a 1.000 ppm. As espécies mais tolerantes a níveis elevados de zinco são suínas, aves, bovinas e ovinas. A presença de minerais como cálcio, cobre, cádmio, selênio, manganês e ferro nos alimentos pode influenciar a toxicidade do zinco ao interferir na sua absorção intestinal.

As causas comuns de intoxicação por zinco incluem a mastigação de objetos galvanizados, ingestão de fungicidas ou o uso excessivo de suplementos contendo zinco. O excesso de zinco pode deslocar o cobre armazenado no fígado, provocando deficiência desse mineral; contudo, em casos de intoxicação por cobre, o zinco pode atenuar seus efeitos tóxicos, especialmente em ovinos. Em cães e gatos, a toxicidade por zinco tem sido associada à ingestão de moedas, manifestando-se por sintomas como vômito, anorexia, anemia e alterações pancreáticas (González; Silva, 2019).

***e. Ferro***

O ferro (Fe) é um mineral essencial cuja quantidade varia conforme a espécie animal e desempenha papel fundamental na constituição da hemoglobina e na hematopoese. É indispensável em processos de oxidação, atuando como transportador de oxigênio pela hemoglobina, no uso do oxigênio pelos músculos e na respiração muscular. Além disso, participa da composição de enzimas, da regulação dos glóbulos vermelhos, da pigmentação de penas, da integridade do miocárdio e do sistema nervoso central (SNC), da mineralização óssea, da síntese

de mielina, da formação de elastina e colágeno e, juntamente com o cobre (Cu), da hematopoese, visto que o Cu está relacionado à absorção e utilização do Fe (EMBRAPA, 2012; Cruz, 2013).

Todos os seres vivos possuem Fe em sua estrutura, presente como componente de metaloproteínas não enzimáticas, como hemoglobina, mioglobina, ferredoxina, transferrina, hemossiderina e ferritina, bem como de diversas enzimas, como citocromos, citocromo-oxidase, peroxidases, catalase e xantina oxidase. A absorção do Fe ocorre no intestino na forma reduzida ($Fe^{2+}$), sendo maior quando presente como carbonato de Fe e sulfato ferroso, e menor na forma de óxido férrico. A presença de altos teores de oxalatos, fitatos, cobre, cobalto, cálcio e cádmio interfere negativamente na absorção. Segundo a teoria do "bloqueio na mucosa", o organismo absorve apenas a quantidade de Fe necessária, sem absorver o excedente quando os estoques estão adequados. O Fe absorvido é transportado pela ferritina até o fígado, principal órgão de armazenamento, onde se encontra ligado a proteínas como a ferritina (23% de Fe) e a hemossiderina (37% de Fe). Outros locais de reserva incluem o baço, o músculo esquelético, o coração, o cérebro e a medula óssea (González, 2019).

As pastagens costumam apresentar níveis adequados de ferro (Fe), variando entre 50 e 300 ppm e, na base seca, em torno de 50 ppm. Entretanto, esses níveis podem reduzir-se significativamente em pastagens mais velhas e durante o inverno. A disponibilidade de Fe nas forrageiras é bastante variável (10–40%) e sua absorção intestinal é baixa, sendo menor em animais adultos (5–15%) do que em animais jovens (15–20%). Entre as fontes vegetais, as folhas de leguminosas destacam-se como a principal fonte natural de Fe. A farinha de sangue, embora rica em ferro, apresenta baixa biodisponibilidade, enquanto sementes de cereais e leite são pobres nesse elemento (González, 2019).

A deficiência de ferro (Fe) manifesta-se por anemia em diferentes espécies, acompanhada de atraso no crescimento, despigmentação das patas, distúrbios

ósseos, desenvolvimento anormal das penas, desmielinização difusa e simétrica do sistema nervoso central (SNC) e da medula espinal, além de alterações gastrointestinais (Cruz, 2013).

Historicamente, a deficiência de Fe é mais reconhecida em suínos e em humanos. Leitões criados sobre pisos de concreto e alimentados apenas com leite apresentam maior risco de anemia ferropriva, uma vez que o leite tem baixo teor de ferro e as reservas hepáticas do neonato duram apenas 2 a 3 semanas. Bezerros também são suscetíveis, com incidência de até 35%, pois suas necessidades diárias de Fe (50 mg) superam a oferta de Fe proveniente de uma dieta exclusiva de leite (2–4 mg). Nas demais espécies, a deficiência é rara, exceto em casos de infestações parasitárias severas ou de doenças concomitantes. Animais confinados com dietas inadequadas também apresentam maior predisposição (González, 2019).

O Fe desempenha funções essenciais no transporte de elétrons (citocromos), na ativação de oxigênio (oxidases, oxigenases) e no transporte de $O_2$ (hemoglobina, mioglobina). Está presente no organismo tanto em formas complexas ligadas a proteínas, como as hemoproteínas, compostos heme, tais como hemoglobina, mioglobina, citocromos, catalase e peroxidase, quanto em compostos não heme: flavoenzimas, transferrina e ferritina. No gado, é fundamental considerar diagnósticos diferenciais, como hemoglobinúria do pós-parto, infestações parasitárias e intoxicação por plantas crucíferas, como repolho e couve (González, 2019).

A toxicidade por ferro (Fe) em animais é rara e ocorre, na maioria das vezes, devido à suplementação excessiva ou a tratamentos, como a aplicação de soluções injetáveis de Fe-dextrano em leitões. Em ruminantes, o nível máximo tolerável de Fe é de 1.000 ppm (González, 2019).

### *f. Iodo*

O iodo (I) atua diretamente na glândula tireoide, onde se concentra em maior quantidade e é essencial para a síntese dos hormônios tireoidianos (HT): tiroxina (T4) e triiodotironina (T3). Aproximadamente 80% do I presente no organismo está associado à tireoide, enquanto os 20% restantes distribuem-se pelos pulmões, fígado, rins, cérebro, músculos e órgãos reprodutivos. Na T3, cerca de 58,5% do peso corresponde ao iodo e na T4, 65,3%. Esses hormônios regulam o metabolismo energético, o desenvolvimento corporal, a função reprodutiva, o crescimento de pelos, lã e faneras, além de controlar a oxidação celular (Grace, 1994; Kaneko et al., 1997; NRC, 2001; Underwood e Suttle, 1999; Andrade, 2009; Valle, 2000; Mcdowell, 2003; Vasconcelos, 2022).

A absorção intestinal do I é eficiente em diferentes formas químicas, sendo o iodeto inorgânico ($I^-$) o mais comum, seguido pelo iodato ($IO_4^-$) e por formas orgânicas. Em vacas, cerca de 80% do I ingerido é absorvido no rúmen e 10% no omaso. Aproximadamente 25–30% do I dietético é captado pela tireoide por meio de um mecanismo ativo dependente de $Na^+$-$K^+$-ATPase, estimulado pelo hormônio TSH e inibido por íons como tiocianato ($SCN^-$), perclorato ($ClO_4^-$) e nitrato ($NO_3^-$). Essa inibição pode ser revertida com altas doses de I, embora o excesso também possa reduzir a própria captação pela glândula. Outros tecidos, como a glândula mamária, a placenta, as glândulas salivares e o estômago, também podem concentrar I (González, 2019).

As plantas marinhas constituem boas fontes de iodo (I), enquanto a maioria das plantas terrestres apresenta baixos teores, o que leva à existência de regiões com deficiência natural do mineral e ao risco de bócio. Com a prática da iodação do sal, a ocorrência de bócio tornou-se menos frequente. A exigência média diária de I para animais é de 0,5 ppm (base seca).

O leite, antes considerado uma fonte inadequada, pode ser relevante no aporte de I devido à suplementação de sal iodado (em forma orgânica) nas vacas leiteiras e ao uso de desinfetantes iodados na higienização dos tetos, podendo contribuir com até 50% das necessidades de um adulto humano. Entre as fontes vegetais, as farinhas de soja, algodão, linhaça e amendoim contêm de 0,1 a 0,2 ppm de I, enquanto os cereais apresentam até 0,1 ppm. Peixes marinhos são excepcionalmente ricos (0,3 a 3 ppm, em base úmida) em comparação aos peixes de água doce (0,02 a 0,04 ppm) (González, 2019).

Em condições de carência, a tireoide absorve praticamente todo o I disponível na circulação—em contrapartida, quando há excesso, pode ocorrer acúmulo em outros tecidos, como músculos e fígado. Em animais jovens e neonatos, o I é essencial para a produção hormonal e para a termorregulação (Enjalbert et al., 2006; Nunes, 2011).

A avaliação do balanço de I pode ser feita por meio de dosagem no sangue, na urina ou no leite, sendo considerados indicadores de deficiência níveis inferiores a 8 g/dL no leite de vacas e a 2 g/dL no plasma de suínos. Em condições normais de ingestão, a concentração plasmática de iodeto inorgânico em cães varia entre 5 e 10 g/dL; níveis plasmáticos de T4 podem cair para menos de 8 ng/mL e os de T3 para menos de 0,5 ng/mL em casos de deficiência. A dosagem dos hormônios tireoidianos, especialmente a T4 plasmática, é o método mais prático para monitorar a concentração de I no organismo (González, 2019).

A deficiência de iodo (I) geralmente está associada a solos pobres em iodo, à distância do mar, à baixa capacidade das plantas de absorvê-lo e retê-lo, além de baixos níveis de pluviosidade, podendo apresentar diferentes graus de severidade. Essa carência reduz a produção de hormônios tireoidianos (HT), o que afeta todos os órgãos dependentes desses hormônios. Em casos extremos, manifesta-se fisicamente pelo aumento da glândula tireoide, conhecido como bó-

cio, que corresponde à hiperplasia não neoplásica e não inflamatória da glândula. O bócio também pode ocorrer devido à ingestão de substâncias bociogênicas, ao excesso de I na dieta ou a falhas genéticas nas enzimas da via biossintética dos HT, sendo observado em todos os mamíferos (Underwood; Suttle, 1999; González, 2019).

As substâncias bociogênicas alteram a síntese, a liberação ou a ação dos HT. Entre elas, destacam-se os tiocianatos, produzidos no rúmen pela digestão de plantas ricas em glicosídeos cianogênicos, como o trevo branco, o gergelim, a soja e a mandioca. A goitrina também desempenha um papel bociogênico. Esta substância é derivada dos glicosinolatos presentes nas crucíferas do gênero Brassica, como repolho, couve, brócolis, couve-flor, colza e nabo, e da mimosina, um alcaloide da leguminosa *Leucaena leucocephala*. O excesso de I, decorrente do consumo de algas secas ou de suplementação excessiva, pode causar bócio ao inibir a proteólise da tireoglobulina nos lisossomos (González, 2019).

A carência de I, denominada hipotireoidismo, provoca sintomas como fraqueza muscular, redução da taxa metabólica, crescimento lento, ritmo cardíaco diminuído, alterações na pele e nas faneras, inatividade, letargia e intolerância ao frio. Pode ocorrer perda de pelos, alopecia simétrica bilateral, hiperqueratose, hiperpigmentação, mixedema (espessamento cutâneo por acúmulo de mucina), constipação, anemia, diminuição da libido e redução da concentração espermática em machos. Nas fêmeas, observam-se distúrbios reprodutivos, como anestro, alterações no ciclo estral fisiológico, infertilidade, aumento da mortalidade embrionária, aborto, retenção de placenta e redução da fertilidade (Doherty; Mulville, 1992; Mcdowell, 1999; Valle, 2002; González, 2019).

A deficiência de I tem importância econômica especial em ovinos, sensíveis à carência e dependentes da produção de lã, e em bovinos, nos quais está associada à dermatose com alopecia localizada. Durante a gestação, o I atravessa a barreira placentária, concentrando-se no líquido amniótico, na tireoide e em

outros tecidos fetais. Sua falta pode provocar efeitos irreversíveis no desenvolvimento fetal, levando à morte embrionária, à reabsorção, ao aborto ou ao nascimento prematuro, com elevada mortalidade neonatal (Mcdowell, 1992; Pavlata et al., 2004; Nunes, 2011).

Há interação entre I e selênio (Se) na conversão de T4 em T3 pelas enzimas deiodinases I e II, que dependem de Se para serem ativadas. A deficiência de Se compromete essa conversão, enquanto a deficiência de I aumenta a atividade das deiodinases como mecanismo compensatório (Kaneko et al., 1997; Zagrodzi et al., 1997).

O excesso de iodo é predominantemente excretado pela urina e pelo leite, com pequenas quantidades eliminadas pelas fezes, pela saliva, pelas lágrimas e pelo suor (Grace, 1994; González, 2019). Nos ruminantes, as fezes constituem uma via significativa de excreção. A tolerância ao iodo varia entre as espécies: bovinos e ovinos suportam até 50 ppm, suínos até 400 ppm, frangos até 300 ppm e cavalos, mais suscetíveis, apenas até 5 ppm (NRC, 2001; González, 2019). Apesar dessa tolerância, o fornecimento excessivo, especialmente em vacas acima de 50 mg/dia, pode provocar toxicidade, sendo os animais jovens e as vacas em lactação mais vulneráveis (Andrade, 2009).

A intoxicação por iodo pode ocorrer tanto por suplementação exagerada quanto pelo uso de compostos iodados no tratamento ou na prevenção de doenças, como podridão dos cascos e actinomicose, ou ainda pelo uso de soluções antissépticas com elevadas concentrações de iodo (González, 2019). O consumo excessivo prolongado pode levar à tirotoxicose e até ao bócio, devido ao bloqueio da organificação do iodo quando há excesso no organismo (concentração plasmática > 25 μg/mL). Os sinais clínicos da intoxicação por I incluem anorexia, diminuição do apetite, secreções oculares e nasais excessivas, salivação, lacrimejamento, descamação da pele e dos cascos, dificuldade para deglutir, tosse

seca, fraqueza e redução na produção de leite (Olson et al., 1984; González, 2019).

Além disso, a concentração de iodo no leite aumenta proporcionalmente ao consumo, o que requer atenção, pois os seres humanos são mais sensíveis ao mineral. Leite com níveis elevados de iodo pode representar um risco à saúde pública (NRC, 2001).

### *g. Manganês*

O manganês (Mn) é um oligoelemento essencial para plantas e animais, atuando como ativador e constituinte de diversas enzimas, como tiaminase, carnosinase, arginase, prolinase intestinal, piruvato carboxilase e Mn-superóxido dismutase. Participa ativamente na síntese de ácidos graxos, na fosforilação oxidativa mitocondrial, no ciclo de Krebs e em reações catalisadas pela fosfatase alcalina e pela piruvato oxidase. Também é um ativador de hidrolases, quinases, descarboxilases, transferases, glicosiltransferases, enolases e dipeptidases intestinais. Em caso de deficiência, o magnésio ($Mg^{2+}$) pode substituir parcialmente o $Mn^{2+}$ sem prejuízo significativo da atividade enzimática (EMBRAPA, 2021; Mcdowell, 1992; Underwood e Suttle, 1999; González, 2019).

O mineral está distribuído em todo o organismo, com maior concentração no fígado, associado a sais biliares, e nos eritrócitos. Sua presença é relativamente baixa em comparação com outros oligoelementos, correspondendo a cerca de 10% da quantidade de cobre no corpo. Nos tecidos, é mais abundante onde há maior atividade mitocondrial, sendo essencial para o desenvolvimento ósseo, o funcionamento reprodutivo, o desenvolvimento dos órgãos genitais, o funcionamento do corpo lúteo e a manutenção do tecido nervoso. Também atua na síntese de colina, colesterol, protrombina e sulfato de condroitina, sendo este último fundamental para a manutenção adequada da matriz óssea orgânica e da cartilagem epifisária (Spears, 2003; Domingues et al., 2001; González, 2019).

A absorção do manganês ocorre em todo o intestino delgado, mas é limitada, não ultrapassando 1% do conteúdo total, e pode ser reduzida por altos níveis de cálcio, fósforo e ferro na dieta. As principais formas suplementares são o sulfato e o óxido de manganês, sendo o sulfato mais biodisponível. Após a absorção, o mineral pode permanecer livre no sangue ou ligar-se à α-2-macroglobulina. Parte dele circula ligada à transferrina dos eritrócitos, sendo posteriormente captada pelo fígado, que excreta a maior parte via biliar, garantindo o controle homeostático (Henry, 1992; Mcdowell, 1992; Kincaid, 1999; Underwood; Suttle, 1999; NRC, 2001; González, 2019).

A concentração sanguínea de Mn é baixa (5–10 ng/mL), e o plasma não é um bom indicador do status mineral; a medição no sangue total é mais adequada por refletir melhor o teor presente nas hemácias. A distribuição do Mn no organismo é maior nos ossos, fígado, rins e pâncreas, e suas reservas corporais são reduzidas (González, 2019).

Em caso de excesso na dieta, há diminuição da absorção e aumento da excreção fecal. Os níveis ideais de Mn na dieta variam entre 20 e 40 ppm, sendo os gatos menos exigentes (5 ppm) e as aves mais exigentes (60 ppm). Pode haver deficiência em solos pobres em Mn (< 3 ppm), especialmente em solos alcalinos e ricos em cálcio, fósforo e ferro (González, 2019).

A deficiência de manganês (Mn) pode acarretar impactos significativos na saúde e no desempenho de diferentes espécies animais. Nas aves, especialmente nas poedeiras, pode provocar queda na produção de ovos, aumento da incidência de cascas frágeis e redução da eclodibilidade. O Mn é essencial para o crescimento adequado, e sua deficiência pode causar problemas no desenvolvimento da tíbia, prejudicando a vitalidade dos osteoblastos e a reprodução de condrócitos, levando à morte dessas células e à desregulação dos níveis de hormônios e enzimas relacionadas ao metabolismo ósseo, resultando em osteoporose metafisária. Uma manifestação típica em pintos é a perose, caracterizada

por má formação da articulação tíbio-metatarsiana, encurtamento do tendão de Aquiles e torção do membro posterior (EMBRAPA, 2021; Sun et al., 2021; González, 2019).

Nos mamíferos, os sinais de deficiência incluem anormalidades esqueléticas, redução do crescimento, distúrbios reprodutivos e alterações no metabolismo de lipídios e carboidratos. Em bovinos, a carência de Mn pode resultar no nascimento de bezerros fracos e com ataxia, alta mortalidade neonatal, perturbações no estro, aciclicidade, cios silenciosos, baixa fertilidade, atraso na ovulação, aumento de abortos e desenvolvimento folicular deficiente. Outros sinais clínicos incluem inchaço articular, especialmente nos membros posteriores, fraqueza muscular, inflamações e deformações articulares, manqueira e baixo peso corporal. A deficiência também reduz a atividade da Mn-superóxido dismutase, enzima fundamental na proteção contra radicais livres (Frédéric, 2002; Santos, 1999; Underwood e Suttle, 1999; González, 2019).

O diagnóstico da deficiência de Mn é desafiador, pois os níveis plasmáticos não são bons indicadores, pois esse mineral se encontra em maior proporção nas hemácias. Contudo, em casos de deficiência, os valores podem cair para menos de 20 ng/mL no plasma e para menos de 6 ppm no fígado. Quando necessária, a suplementação pode ser realizada com sais de manganês, como cloreto, sulfeto, carbonato ou dióxido, de baixo custo e com boa eficácia (González, 2019).

O manganês (Mn) é considerado um dos oligoelementos menos tóxicos, e a intoxicação em ruminantes é pouco provável. Estudos indicam que apenas a partir de 1.000 mg/kg de matéria seca (MS) na dieta ocorre redução na ingestão de alimento e no crescimento. O National Research Council (NRC) estabelece este valor como limite máximo tolerável, reafirmando dados já publicados na década de 1980 (Jenkins; Hidiroglou, 1991 apud NRC, 2001).

Os níveis máximos toleráveis de Mn variam entre 400 e 2.000 ppm, sendo os frangos os mais tolerantes e os suínos e os coelhos os mais sensíveis. Em concentrações acima de 2.000 ppm, como as encontradas em certos solos de origem vulcânica, podem ocorrer depressão do apetite, atraso no crescimento, infertilidade, anemia, lesões gastrointestinais e sinais neurológicos (González, 2019).

***h. Selênio***

O selênio atua de forma fundamental no metabolismo da vitamina E, colaborando na fagocitose, na síntese de prostaglandinas e na defesa antioxidante do organismo, ao integrar enzimas essenciais como a glutationa peroxidase (GSH-Px), responsável pela redução do peróxido de hidrogênio e dos hiperóxidos lipídicos, protegendo as membranas celulares contra danos oxidativos (Schmidt; Silva, 2018; NRC, 2001; Valle, 2002; Kommisrud, 2005).

A biodisponibilidade do selênio depende da forma química ingerida — orgânica ou inorgânica — e de fatores nutricionais da dieta, como os níveis de cálcio, nitratos e sulfatos, e a presença de antagonistas, como glicosídeos cianogênicos presentes em algumas leguminosas, que podem reduzir sua absorção (Underwood; Suttle, 1999; Almeida, 2009; Spears, 2003). Cerca de 40% do selênio ingerido atinge o duodeno para absorção, sendo posteriormente transportado ao fígado, ligado a globulinas e distribuído aos tecidos de armazenamento ricos em proteínas (Graham, 1991; Valle, 2002).

Além da função antioxidante, o selênio desempenha um papel crucial na reprodução, no crescimento, na prevenção de doenças e na manutenção da integridade tecidual. Está envolvido na síntese de prostaglandinas e se acumula em tecidos reprodutivos, como placentas, ovários, hipófise e glândula adrenal, sugerindo necessidade específica nestas regiões (Valle, 2002; Corah e Ives, 1991). No útero, age como antioxidante para garantir um ambiente saudável para a

fertilização, a implantação e o desenvolvimento embrionário, sendo essencial monitorar seus níveis em vacas gestantes para evitar o esgotamento das reservas corporais (Underwood; Suttle, 1999; Smith; Akinbamijo, 2000).

O selênio também protege contra intoxicações por metais pesados, como cádmio e mercúrio, devido à sua capacidade de formar complexos com esses metais (Almeida, 2009). Sua suplementação em pequenos ruminantes aumenta a concentração de imunoglobulina G e melhora a resposta linfocitária, o que se reflete em maior atividade imunológica e na redução da incidência de mastites em bovinos, contribuindo para a saúde do úbere (NRC, 2001).

Em nível celular, o selênio estimula a proliferação das células da granulosa e a síntese de estradiol, inibindo a produção de óxido nítrico, além de atuar diretamente no metabolismo da progesterona, protegendo o corpo lúteo e assegurando sua produção adequada (Basini; Tamanini, 2000; Jukola et al., 1996).

O selênio é um oligoelemento essencial com níveis críticos estreitos entre a deficiência e a toxicidade. Sua importância foi reconhecida desde 1957, ao prevenir doenças como distrofia muscular enzoótica (doença do músculo branco) em bezerros e cordeiros, além da diátese exsudativa em pintos e da degeneração hepática em ratos. Solos derivados de rochas ígneas e ácidos apresentam baixos teores de selênio, o que torna a suplementação fundamental para evitar manifestações clínicas (González, 2019).

A atividade da glutationa peroxidase, presente em grande concentração nos eritrócitos, é um índice funcional do status do selênio a longo prazo, e a vitamina E atua sinergicamente, limitando a peroxidação lipídica. O selênio também atua como cofator de enzimas, como a desidrogenase fórmica, a glicina redutase e a iodotironina 5'-desiodase — essa última responsável pela conversão do hormônio tireoidiano T4 em T3. Outras funções incluem a formação de selenoproteínas nos espermatozoides, a incorporação de bases nitrogenadas, a participação

no metabolismo de ácidos graxos essenciais e a atuação na resposta imune, em conjunto com a vitamina E (González, 2019).

A deficiência de selênio, frequentemente associada à baixa concentração do mineral em forragens e solos — especialmente em regiões com alta umidade e precipitação — resulta na diminuição da atividade da glutationa peroxidase (GSH-Px), expondo as células a danos oxidativos causados por radicais livres de oxigênio (Underwood; Suttle, 1999; Valle, 2002).

Clinicamente, a deficiência de selênio pode manifestar-se por diátese exsudativa em pintos, conhecida como doença do músculo branco, que também está relacionada à deficiência de vitamina E (Schmidt; Silva, 2018; Vasconcelos, 2022). Em ruminantes, a deficiência pode causar distrofia muscular nutricional, miopatia, infertilidade, maior incidência de retenção placentária, nascimento de vitelos natimortos, além de sintomas como falta de vitalidade, crescimento retardado, diarreia, morte súbita por lesões no miocárdio e maior suscetibilidade a doenças oportunistas (Underwood; Suttle, 1999; Valle, 2002).

No Brasil, apesar de existirem regiões com excesso de selênio (seleníferas), a maioria do território é deficiente em selênio, o que afeta principalmente aves, ovinos e ruminantes jovens em rápido crescimento (González, 2019).

A deficiência de Se e de vitamina E resulta no acúmulo de peróxidos nas membranas celulares, o que causa necrose e fibrose, especialmente nos músculos esqueléticos e cardíacos. O consumo de ácidos graxos insaturados e a silagem inadequada podem agravar o quadro por destruição da vitamina E. A distrofia muscular enzoótica apresenta-se em formas pré-natais, neonatais e pós-natais, podendo causar morte súbita e sinais menos agudos, como diminuição da produção, fraqueza, claudicação, edema e diarreia, e responde positivamente ao tratamento com Se e vitamina E (González, 2019).

Além disso, a deficiência está associada ao aumento da incidência de retenção placentária em vacas, condição que melhora com a suplementação de Se e

de vitamina E, e à síndrome de fígado gorduroso, possivelmente relacionada ao dano oxidativo nos hepatócitos. O diagnóstico pode ser feito pela avaliação da atividade da GSH-Px nas hemácias (níveis críticos inferiores a 60 U/g Hb em vacas) e por enzimas indicadoras de dano muscular, como CK e AST, que tendem a aumentar em condições de deficiência (González, 2019).

A suplementação de selênio pode ser feita por via oral, incorporando sais de selenito ou selenato de sódio no concentrado, ou por injeção associada à vitamina E, usada principalmente para tratar deficiências agudas e prevenir patologias (Braun et al., 1991; Almeida, 2009). Deve-se ter cautela com a dose, pois intoxicações ocorrem em doses muito superiores à recomendada, sendo 1 mg/kg de peso corporal potencialmente fatal, enquanto a dose adequada para tratamento é de 0,1 mg/kg (González, 2019).

O selênio apresenta uma faixa estreita entre os níveis essenciais e tóxicos, sendo comum a ocorrência de intoxicações, que podem ser agudas ou crônicas. Considera-se intoxicação crônica quando a dieta contém entre 5 e 40 mg de Se por kg de matéria seca, durante várias semanas ou meses (NRC, 2001). Plantas que acumulam selênio, como as do gênero *Astragalus*, representam um risco significativo para intoxicação aguda (Nunes, 2011; González, 2019). Em regiões com solos ricos em Se, as forragens também podem apresentar altos níveis de Se, o que aumenta o risco de intoxicação (Nunes, 2011).

A intoxicação por Se, também chamada de “doença alcalina” ou selenose, é comum em regiões seleníferas, onde as plantas acumulam Se em níveis entre 100 ppm e 9.000 ppm (González, 2019).

Os sinais clínicos da intoxicação aguda incluem febre, diarreia, hemorragias e edema tecidual. Já na intoxicação crônica, os sintomas característicos são anorexia, claudicação (devido à insuficiência circulatória nos membros inferiores), atraso no crescimento, irregularidades no cio, crescimento anormal dos cascos e pelos, cegueira, descoordenação motora e alcalose metabólica. Casos graves

podem levar à morte por insuficiência circulatória e por lesões cardíacas (Grace, 1994; Harris et al., 2006; Nunes, 2011).

A alta ingestão de proteínas pode atenuar os efeitos tóxicos da selenose, por meio da formação de complexos Se-sulfitos que facilitam a excreção do selênio. O arsênico também favorece a excreção de Se via bile (González, 2019).

***i. Molibdênio***

O molibdênio é um mineral essencial que atua como componente estrutural em vários complexos enzimáticos e está envolvido no catabolismo das bases púricas, sendo facilmente tóxico (Vasconcelos, 2022; Schmidt; Silva, 2018).

Descoberto em 1782, o interesse biológico pelo Mo cresceu em 1938, quando se observou que seu excesso causava diarreia e enfraquecimento em gado, condição que respondia ao tratamento com sulfato de cobre (Cu), evidenciando uma estreita relação antagonista entre Mo e Cu (González, 2019). A essencialidade do molibdênio foi confirmada em 1953, com a descoberta de que a enzima xantina oxidase, uma flavoproteína, depende dele para funcionar adequadamente. Posteriormente, outras enzimas dependentes de Mo foram identificadas, como aldeído oxidase, sulfito oxidase e nitrato redutase, que participam do metabolismo de purinas, pirimidinas, pteridinas, aldeídos, da cadeia de transporte de elétrons e da oxidação de sulfitos (González, 2019).

O molibdênio está presente em pequenas quantidades nos tecidos animais, com concentrações típicas de 1-4 ppm no fígado e de cerca de 0,1 ppm no músculo. Apesar de ser essencial para os animais, sua importância clínica em humanos ainda é incerta, pois não há registro de estados deficitários com sinais clínicos claros. A interação entre Mo e cobre é significativa: o Mo inibe a síntese de ceruloplasmina no fígado, reduzindo a disponibilidade de cobre. Altos níveis de Mo e de sulfatos também reduzem a absorção intestinal de cobre. Por outro lado, o aumento de cobre na dieta reduz a deposição de Mo no fígado, enquanto

níveis elevados de sulfato aumentam a excreção urinária de Mo, diminuindo sua acumulação nos tecidos (González, 2019).

A absorção intestinal média de Mo é de cerca de 20%, com reservas principalmente no fígado e nos ossos. A principal via de excreção é a urinária, seguida pela biliar. A concentração de Mo no sangue geralmente é de 1 μg/dL. A deficiência da enzima sulfito oxidase, dependente de Mo, é crítica e pode ser letal devido à incapacidade de metabolizar o enxofre em sulfato para sua excreção. A deficiência de molibdênio em animais é rara, pois as necessidades diárias desse mineral são muito baixas, em torno de 0,2 ppm. Até o momento, não foram identificados sinais clínicos claros de deficiência de Mo que não estejam associados a excessos de cobre (Cu). Contudo, em ovinos, foram relatados casos de deficiência que resultaram em cálculos renais de xantina (González, 2019). Em aves, a deficiência pode se manifestar por diminuição da eclodibilidade e por distúrbios na plumagem.

A deficiência de molibdênio pode ocorrer em situações com altos teores de minerais interferentes, principalmente tungstênio (W), que atua como antagonista do Mo, além de cobre e enxofre (S), que também afetam a disponibilidade do molibdênio. O molibdênio pode ser tóxico em níveis elevados, especialmente para ovinos e bovinos, as espécies mais sensíveis, enquanto os equinos demonstram maior resistência (González, 2019). Pastagens com mais de 20 ppm de Mo podem provocar intoxicação. A presença adequada de cobre (Cu) na dieta aumenta a tolerância aos níveis altos de molibdênio, já que o excesso de Mo está frequentemente relacionado a uma depleção das reservas de Cu no organismo.

Os sinais clínicos de intoxicação por molibdênio incluem crescimento retardado, perda de peso e anorexia. Em bovinos, sintomas adicionais incluem diarreia, osteoporose, maior propensão a fraturas, problemas articulares, falhas na fertilidade, além de lesões testiculares, baixa libido e comprometimento da espermatogênese (González, 2019). Animais monogástricos apresentam maior

resistência à toxicidade de Mo. Em aves, níveis elevados de Mo associaram-se à diminuição do crescimento, à anemia e a problemas de fertilidade (Vasconcelos, 2022; EMBRAPA, 2012).

## 4. Aminoácidos, seus sais e análogos

Aminoácidos (AA) são classificados como substâncias químicas que possuem dois grupos funcionais: o grupo amino (NH2) e o grupo carboxila (COOH). Cada molécula de aminoácido possui uma estrutura básica formada por um átomo de carbono central (C), ligado a um grupo amino e a outro grupo carboxila; as outras duas ligações são acompanhadas de um átomo de hidrogênio (H) e de um grupo R (Kamble et al., 2021; Nelson; Cox, 2022).

Diversos processos atrelados à expressão gênica são regulados por aminoácidos, incluindo o controle da função de proteínas que intercedem na tradução do RNA mensageiro (RNAm). De acordo com a necessidade nutricional, os aminoácidos podem ser classificados em essenciais, não essenciais e moderadamente essenciais (Kamble et al., 2021).

Alguns aminoácidos são produzidos pelo próprio corpo e não necessitam de suplementação, sendo chamados de aminoácidos não essenciais. Ainda existem aminoácidos chamados de condicionalmente essenciais; isso significa que podem tornar-se essenciais em determinadas situações, como estados fisiológicos (lactação, estresse térmico e gestação), idade, disponibilidade de substrato para conversão ou capacidade absortiva do animal, e estados sanitários (queimaduras, lesões e infecções) (Wu et al., 2014; Kamble et al., 2021).

Por outro lado, há aminoácidos que o organismo não sintetiza e, portanto, devem ser obtidos por meio dos alimentos. Esses aminoácidos são denominados aminoácidos essenciais (Kamble et al., 2021; Nelson; Cox, 2022). Fontes proteicas têm como principal finalidade fornecer aminoácidos e, além disso,

possibilitam a suplementação de alimentos energéticos, permitindo o adequado balanceamento dos nutrientes da ração (Fialho & Barbosa, 2008).

Dentre a numerosidade de funções biológicas que os aminoácidos podem exibir, se tem como exemplo: regulam o metabolismo de substâncias, tais como hormônios e enzimas; são substâncias de transporte, tais como o carreamento de elétrons pelo Citocromo C e oxigênio pela hemoglobina; compõem elementos estruturais de músculos, tecido conjuntivo e membranas; defensores do organismo, tais como os interferons e imunoglobulinas e componentes do ácido nucleico, como em nucleoproteínas (Reece, 2008).

A nutrição proteica desempenha um papel determinante no metabolismo, no desempenho e na saúde de diferentes espécies de interesse zootécnico. Os aminoácidos essenciais — aqueles que o organismo não consegue sintetizar em quantidade suficiente — devem ser fornecidos pela dieta em níveis adequados, considerando as particularidades metabólicas de cada espécie (Case, 2003).

### 4.1 Aves

Em aves, aminoácidos como metionina, lisina e treonina são considerados os principais necessários à sua dieta e são suplementados rotineiramente nas rações. Além disso, a precisão na concentração desses aminoácidos é de grande importância para o adequado desempenho do metabolismo animal (Bittencourt et al., 2021).

Em galinhas poedeiras, a metionina é o principal aminoácido limitante, e sua utilização potencializa a eficiência no uso da proteína. Em casos de deficiência na dieta animal, pode haver prejuízo na produção e no peso dos ovos, além de aumento na deposição de gordura hepática, o que pode levar à sobrecarga do animal (Costa et al., 2014).

A lisina é considerada o segundo aminoácido limitante em aves; é encontrada em elevadas concentrações na proteína muscular e impacta as taxas de conversão alimentar, a quantidade e a qualidade da carne na carcaça, bem como o crescimento do animal, melhorando os rendimentos de corte. Vários fatores podem influenciar sua exigência, como o ambiente térmico, a linhagem, a disponibilidade de nutrientes, o estresse, a qualidade dos alimentos utilizados como ingredientes das rações, o sexo, o estado sanitário e a energia digestível (Costa et al., 2001; Lana et al., 2005; Nascimento et al., 2016).

A treonina, em frangos de corte, é o terceiro aminoácido limitante e desempenha um papel relevante como precursora de outros aminoácidos não essenciais. Sua exigência para manutenção é elevada em relação aos demais aminoácidos, devido ao seu elevado teor nas secreções intestinais endógenas e ao seu papel importante na manutenção da saúde e da integridade intestinais. Dessa forma, a treonina torna-se especialmente importante nas fases avançadas do desenvolvimento (Peter et al., 2000; Oliveira, 2008).

### 4.2 Suínos

Na alimentação de suínos, a formulação das dietas normalmente baseia-se em milho e farelo de soja, o que resulta em deficiências específicas de aminoácidos essenciais. Nesses sistemas, lisina, metionina e triptofano são reconhecidos como os principais aminoácidos limitantes, em ordem de importância (Beterchini, 2012; Genova et al., 2017).

A lisina é utilizada como referência na formulação de rações devido à sua baixa síntese endógena e elevada participação na deposição de proteína corporal (Batterham et al., 1990; Pedrozo, 2002). A metionina, além de ser fundamental para a síntese proteica, atua como doadora de grupo metil e como precursora da cistina, participando da formação de pontes disulfeto em proteínas

estruturais, como a insulina (Baker, 1991). O triptofano, além de integrar a estrutura das proteínas, é precursor da serotonina, o que influencia diretamente o apetite e o comportamento alimentar dos suínos (Henry et al., 1992).

### 4.3 Ruminantes

Nos ruminantes, a proteína dietética é fracionada em proteína degradável no rúmen (PDR) e proteína não degradável no rúmen (PNDR), sendo ambos importantes para o suprimento de aminoácidos no intestino delgado (Sniffen et al., 1992; Camargo, 2020). Entre os aminoácidos essenciais, a lisina e a metionina se destacam por influenciarem o crescimento microbiano, a fermentação ruminal e a produção de carne e leite (Marques et al., 2024). A suplementação de lisina e metionina protegidas da degradação ruminal é prática reconhecida para melhorar o perfil de proteína metabolizável, otimizando o desempenho produtivo e a eficiência alimentar (Edmunds et al., 2013; Valadares Filho et al., 2020).

### 4.4 Gatos

Os felinos domésticos, carnívoros estritos por natureza, necessitam de um aporte elevado de proteína de origem animal, com destaque para alguns aminoácidos essenciais. Entre eles, arginina, metionina, cistina e taurina são imprescindíveis (Genova et al., 2015). A arginina é essencial para o ciclo da ureia, prevenindo a toxicidade da amônia (Case, 2003). A metionina, além de suas funções já descritas, é precursora da cistina, que participa da estrutura de proteínas e da manutenção de tecidos como pelos e unhas. A taurina, por sua vez, desempenha funções vitais não relacionadas à síntese proteica, incluindo a conjugação de ácidos biliares, a manutenção da função retiniana e a saúde cardiovascular (Case, 2003). Sua deficiência pode levar à cardiomiopatia dilatada,

à degeneração retiniana e a problemas reprodutivos, tornando obrigatória a suplementação em dietas comerciais para gatos.

Portanto, o fornecimento adequado de aminoácidos essenciais é fundamental para atender às exigências nutricionais, otimizar a produtividade e garantir a saúde animal. Estratégias como o uso de aminoácidos e de suplementos proteicos são ferramentas importantes para melhorar o aproveitamento desses componentes e reduzir custos e impactos ambientais.

### *a) Sais*

Os sais de aminoácidos são compostos químicos formados pela associação de aminoácidos a sais minerais. Essa combinação confere maior estabilidade físico-química, maior solubilidade em meios aquosos e aumento da biodisponibilidade dos aminoácidos, favorecendo sua absorção e utilização metabólica. Tais características justificam seu uso como estratégia nutricional para a correção de deficiências, com aplicação em diferentes espécies animais (NRC, 1994).

No contexto da União Europeia, os aminoácidos, seus sais e análogos são classificados como aditivos nutricionais pertencentes a uma categoria independente (grupo funcional 3c), em conformidade com o disposto no Regulamento (CE) nº 1831/2003 (Jornal Oficial da União Europeia, 2019).

### *b. Análogos*

Os análogos de aminoácidos são compostos estruturais semelhantes aos aminoácidos naturais, modificados para conferir-lhes propriedades funcionais específicas. No lugar do grupo amina (-$NH_2$) típico dos aminoácidos, ela possui um grupo hidroxila (-OH). Esses compostos são utilizados na prática da nutrição animal como substitutos totais ou parciais de aminoácidos essenciais ao formular rações com baixo teor de proteína. O objetivo de tal prática é atender

aos requisitos nutricionais dos animais sem aumentar as emissões de nitrogênio. Frequentemente apresentados como sais ou derivados hidroxilados, esses compostos podem ser metabolizados pelos animais para gerar os aminoácidos correspondentes, atuando como precursores metabólicos (Zarghi et al., 2024).

As formas mais utilizadas são o ácido 2-hidroxi-4-metilbutanoico livre (MHA-FA) e o 2-hidroxi-4-metilbutanoato de cálcio (MHA-Ca), e as formas protegidas, MHA-FA ou MHA-Ca, encapsuladas ou revestidas com gorduras/polímeros. Sua ação depende da metabolização no organismo do animal, como exemplo temos o 2-hidroxi-4-metilbutanoato de cálcio (MHA-Ca), que é um análogo hidroxilado da metionina e que quando absorvido no intestino, é metabolizado no fígado e sendo convertido em L-metionina, porém esta conversão é menos eficiente quando comparada com a absorção direta da L-metionina, o que reduz a disponibilidade relativa da mesma (Htoo et al., 2021).

A indústria da aquicultura tem se beneficiado de análogos de aminoácidos como alternativa à farinha de peixe, insumo de alto custo e de alto impacto ambiental. Segundo estudos, o peso de camarões brancos (Litopenaeus vannamei) criados com dietas vegetais enriquecidas com L-metionina e MHA-Ca não difere significativamente do peso de animais alimentados com dietas ricas em proteína animal (Zhang et al., 2022).

Em aves, os análogos de aminoácidos têm ampla aplicação, especialmente em dietas para frangos de corte. De acordo com ZARGHI et al. (2024), a MHA-FA melhorou o ganho de peso e a conversão alimentar e é útil na formulação de dietas com baixo teor de proteína bruta. Contudo, sua biodisponibilidade foi baixa, o que evidencia a necessidade de ajustes no balanço de aminoácidos para garantir um desempenho adequado.

No caso dos ruminantes, o desafio fundamental é proteger os aminoácidos da degradação no rúmen. A metionina livre, por exemplo, é severamente degra-

dada pela microbiota do rúmen, o que a torna menos nutricional. Por conseguinte, a metionina é oferecida em formas protegidas ou em análogos como o 2-hidroxi-4-metilbutanoato de cálcio (MHA-Ca). Bovinos alimentados com rações de menor teor proteico, mas suplementadas com metionina e lisina protegidas, apresentaram desempenho equivalente ao de animais em dietas convencionais, além de reduzir a excreção de nitrogênio e de contribuir para maior eficiência alimentar (Delavaud et al., 2023).

Em suínos, por exemplo, Htoo et al. (2021) demonstraram que a eficácia do MHA-Ca é de cerca de 70% em comparação à metionina pura em base peso/peso, o que impacta o desempenho zootécnico quando não há correção das quantidades oferecidas.

Portanto, o uso de análogos e sais de aminoácidos em todas as espécies de animais de produção possibilita o desenvolvimento de dietas mais eficientes, com menor teor de proteína bruta e maior exatidão na formulação. Além da economia de custos com ingredientes proteicos convencionais, essa abordagem reduz a excreção de resíduos nitrogenados e torna a produção animal mais sustentável.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S. Efeito da administração intramuscular de vitamina E e selénio aos 21 dias anteparto na redução da incidência de retenções placentárias em bovinos leiteiros de S. Miguel. Dissertação de Mestrado em Produção Animal. Ponta Delgada, Portugal, 2009.

Anderson, R. A., Polansky, M. M., & Bryden, N. A. (2001). Chromium-histidine complexes as nutrient supplements. *Chemical Abstracts*, 134.

ANDRADE, M. Efeito da administração de oligoelementos nas performances da vaca leiteira. Validação do método NIR (Near Infrared Reflectance Spectroscopy) para a análise de forragens. Dissertação de Mestrado em Produção Animal. Angra do Heroísmo, Portugal, 2009.

Angeles-Hernandez, J. C., Miranda, M., Muñoz-Benitez, A. L., Vieyra-Alberto, R., Morales-Aguilar, N., Paz, E. A., & Gonzalez-Ronquillo, M. (2021). A suplementação de zinco melhora o desempenho do crescimento em pequenos ruminantes: uma revisão sistemática e análise de metarregressão. *Ciência da Produção Animal*.

BAKER, D. H. Methionine. In: Amino Acids in Animal Nutrition. Wallingford: CAB International, 1991. p. 45-63.

BASINI, G.; TAMANINI, C. Selenium stimulates estradiol production in bovine granulosa cells: possible involvement of nitric oxide. Domestic Animal Endocrinology, 18: 1–17, 2000.

BATTERHAM, E. S. et al. Effect of frequency of feeding on the utilization of lysine by growing pigs. British Journal of Nutrition, v. 64, p. 81–94, 1990.

BETERCHINI, A. Nutrição de suínos: fundamentos e práticas. São Paulo: dos Criadores, 2012.

BITTENCOURT, T. M. et al. Proteína na nutrição de não ruminantes. Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde, v.25, n.3, p.268–274, 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 13, de 30 de novembro de 2004. Estabelece normas para o uso de aditivos na alimentação animal. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 44, de 15 de dezembro de 2015. Dispõe sobre a classificação e o registro de aditivos na alimentação animal. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2015.

BRAUN, U.; FORRER, R.; FÜRER, W.; LUTZ, H. Selenium and Vitamin E in blood serum of cows from farms with increased incidence of disease. Veterinary Record, 128: 543–547, 1991.

CAMARGO, A. C. Proteína na alimentação de ruminantes. Revista de Zootecnia Tropical, v.38, p.55–64, 2020.

CASE, L. P. et al. Canine and Feline Nutrition. 2. ed. St. Louis: Mosby, 2003.

CHANDANI KAMBLE; CHAVAN, R.; KAMBLE, V. A review on amino acids. Research & Reviews: A Journal of Drug Design & Discovery, v.8, n.3, p.19–27, 2021.

CORAH, L. R.; IVES, S. The effects of essential trace minerals on reproduction in beef cattle. Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, 7: 41-57, 1991.

CRUZ, F. K. Licopeno e minerais orgânicos na alimentação de poedeiras. Dissertação de Mestrado em Zootecnia, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2013.

DANIELI, B.; SCHOGOR, A. L. B. Uso de aditivos na nutrição de ruminantes: revisão. Veterinária e Zootecnia, v.27, p.1–13, 2020.
DELAVAUD, C. et al. Effects of rumen-protected methionine and lysine on performance and nitrogen balance in beef cattle. Animal Feed Science and Technology, v.299, p.115275, 2023.
DOHERTY, T. J.; MULVILLE, J. P. Diagnosis and treatment of large animal diseases. W.B. Saunders. Philadelphia, 1992.
DOMINGUES, P.; LANGONI, H.; PADOVANI, C.; GONZALES, J.; FREGONESI, O. Determinação de gordura, proteína, cobre, ferro, manganês, zinco e contagem de células somáticas no leite de vacas com mastite subclínica. Seminário: Ciências Agrárias, Londrina, 2(22): 169-174, 2001.
EDMUNDS, T. et al. The role of rumen-protected amino acids in dairy cow nutrition. Journal of Dairy Science, v.96, p.1652–1662, 2013.
EFSA. European Food Safety Authority. Guidance on the assessment of the safety of feed additives for the target species. EFSA Journal, v.10, n.1, p.2536, 2012.
Elgersma, A., Søegaard, K., & Jensen, S. K. (2015). Interrelations between herbage yield, α-tocopherol, β-carotene, lutein, protein, and fiber in non-leguminous forbs, forage legumes, and a grass-clover mixture as affected by harvest date. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63, 406–414.
EMBRAPA. Suínos e aves: estatísticas. Disponível em: https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas. Acesso em: 10 mai. 2022.
EMBRAPA. Trajetória da agricultura brasileira. Disponível em: https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira, 2012.
FENNEMA, O. R. Química de alimentos. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
FIALHO, E. T.; BARBOSA, H. P. Alimentos alternativos para suínos. Lavras: UFLA/FAEPE, 2008.
Fontes TN, Carvalho JS, Mendonça MFF, Farias SS, Mori CS, Silva DN, Madureira KM & Peixoto TC (2019). Surto de ataxia enzoótica em caprinos e ovinos no estado da Bahia. Pesquisa Veterinária Brasileira 39(12) :961–969.
FRÉDÉRIC, R. Mise en évidence des carences en oligo-éléments dans les exploitations bovines. Proceedings of the Veterinary Sciences Congress, 95-106, 2002.
GONÇALVES, J. R. S. et al. Vitaminas na nutrição de ruminantes. Ciência Animal Brasileira, v.12, n.4, p.765–774, 2011.

GONZÁLEZ, F. H. D.; SILVA, S. C. Minerais e vitaminas no metabolismo animal. Porto Alegre: Laboratório de Análises Clínicas Veterinárias, Faculdade de Veterinária, UFRGS, 2019.
González-Montaña, J. R., Escalera-Valente, F., Alonso, A. J., et al. (2020). Relação entre a vitamina B12 e o metabolismo do cobalto em ruminantes domésticos: uma atualização. *Animals*, 10(10), 1–36.
GRACE, N. Managing Trace Element Deficiencies. 1st Edition, AgResearch, New Zealand, 1994.
GRAHAM, T. M. Trace Element Deficiencies in Cattle. Veterinary Clinics of North America, Food Animal Practice, 7: 153-215, 1991.
HARRIS, B. ADAMS, A. L.; VAN HORN, H. H. Mineral Needs of Dairy Cattle. Disponível em: http://edis.ifas.ufl.edu/DS122, 2006.
HENRY, P. R.; AMMERMAN, C. B.; LITTELL, R. C. Relative bioavailability of manganese from a manganese-methionine complex and inorganic sources for ruminants. Journal of Dairy Science, 75: 3473–3478, 1992.
HENRY, Y. et al. Effects of dietary tryptophan deficiency on voluntary feed intake in growing pigs. Journal of Animal Science, v.70, p.1871-1880, 1992.
HTOO, J. K. et al. Bioavailability of MHA-Ca compared with L-methionine in weaned piglets—Journal of Animal Science, v.99, n.6, 2021.
JUKOLA, E.; HAKKARAINEN, J.; SALONIEMI, H.; SANKARI, S. Blood selenium, vitamin E, vitamin A, and ß-carotene concentrations and udder health, fertility treatments, and fertility. Journal of Dairy Science, 79: 838, 1996.
KANEKO, J. J.; HARVEY, J.; BRUCE, L. M. Clinical Biochemistry of Domestic Animals. 5th Edition. San Diego: Academic Press, 1997.
KINCAID, R. L. Assessment of trace mineral status of ruminants: A review. Department of Animal Sciences, Washington State University, Pullman, 1999.
KOMMISRUD, E.; ØSTERÅS, O.; VATN, T. Blood selenium associated with health and fertility in Norwegian dairy herds. Acta Veterinaria Scandinavica, 46: 229-240, 2005.
LANA, S. R. V. et al. Níveis de lisina digestível em rações para frangos de corte de 1 a 21 dias de idade mantidos em ambiente termoneutral —Revista Brasileira de Zootecnia, v.34, n.5, p.1614–1623, 2005.
Lay, P. A., & Levina, A. (2008). Chemical properties and toxicity of chromium (III) nutritional supplements. *Chemical Research in Toxicology*, 21(3), 563–571.

Mao HL, Mao HL, Wang JK, Liu JX, Yoon I. Effects of Saccharomyces cerevisiae fermentation product on in vitro fermentation and microbial communities of low-quality forages and mixed diets. J Anim Sci. 2013; 91:3291-8.
MARQUES, O. F. C. et al. Contextualização da proteína na alimentação de ruminantes. Ciência Animal, v.34, n.1, p.149-163, 2024.
MCDONALD, P. et al. Nutrição animal. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011.
MCDOWELL, L. R. Minerais para ruminantes sob pastejo em regiões tropicais, enfatizando o Brasil—Gainesville: University of Florida, 3rd ed., 1999.
MCDOWELL, L. R. Minerals in animal and human nutrition. San Diego: Academic Press, 1992.
MCDOWELL, L. R. Vitamins in animal and human nutrition. 2. ed. Ames: Iowa State University Press, 2000.
NASCIMENTO, L. et al. Digestible lysine for broiler chickens with lower genetic potential grown on a free-range system. Ciência e Agrotecnologia, 2016.
NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). Nutrient requirements of dairy cattle. 7. ed. Washington: National Academy Press, 2006.
NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). Nutrient requirements of poultry. 9. ed. Washington, D.C.: National Academies Press, 1994.
NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger. Porto Alegre: Artmed, 2022.
NRC. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle* (7ª ed. rev.). Washington, D.C.: National Academy Press.
NUNES, G. H. S. et al. Aspectos produtivos e de qualidade das linhagens de posturas comerciais. Revista Brasileira de Zootecnia, Ed. 22, n.4, p. —, 2011.
NUNES, H. P. B. Avaliação da administração de oligoelementos nas performances reprodutivas no pós-parto em nulíparas. Dissertação de Mestrado em Engenharia Zootécnica, Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo, 2010.
OLIVEIRA, H. P. et al. Relações treonina: lisina em dietas para frangos de corte nas fases pré-inicial e inicial. RCPA, v.18, n.2, p.93–100, 2016.
OLSON, W. G.; STEVENS, J. B.; ANDERSON, J.; HAGGARD, D. W. Iodine toxicosis in six herds of dairy cattle. Journal of the American Veterinary Medical Association, 184: 179–181, 1984.
Overton, T. R., & Yasui, T. (2014). Practical applications of trace minerals for dairy cattle. *Animal Science Journal*, 92, 416–426.

PAVLATA, L.; PECHOVÁ, A.; DOVRÁC, R. Microelements in Colostrum and Blood of Cows and their Calves during Colostral Nutrition. Acta Veterinaria Brno, 73: 421–429, 2004.
Pedreira, M. S., & Berchielli, T. T. (2011). Minerais. In: *Jaboticabal* (2ª ed., pp. 345–366). Jaboticabal: Funep.
PEDROZO, C. A. Exigências de lisina para suínos em crescimento. Revista Brasileira de Zootecnia, v.31, p.1985-1995, 2002.
Pereira, A. S.; Santos, M. N.; Oliveira, T. R. Metabolismo do cobre na nutrição animal. *Revista Científica de Produção Animal*, v. 22, n. 1, p. 45–58, 2020.
PETER, C. M. et al. Limiting order of amino acids and the effects of phytase on protein quality in corn gluten meal fed to young chicks. Journal of Animal Science, v.78, p.2150–2156, 2000.
REECE, W. O. Anatomia funcional e fisiologia dos animais domésticos. São Paulo: Roca, 2008.
Riet-Correa, F. (2007). *Doenças de ruminantes e eqüídeos*. Santa Maria: Pallotti.
SANTOS, J. E. P. Efeitos da nutrição na reprodução. Revisão. Veterinary Medicine Teaching and Research Center, School of Veterinary Medicine, UC-Davis, 1999.
SCHMIDT, N. S. et al. Pesquisa e Desenvolvimento na Cadeia Produtiva de Frangos de Corte no Brasil. RESR: Piracicaba, ed. 56, 2018.
SMITH, O. B.; AKINAMILO, O. O. Micronutrients and reproduction in farm animals. Animal Reproduction Science, 60(61): 549-560, 2000.
SNIFFEN, C. J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. Journal of Animal Science, v.70, p.3562–3577, 1992.
SPEARS, J. W. Trace Mineral Bioavailability in Ruminants. The Journal of Nutrition. American Society for Nutritional Sciences, 2003.
SUN, Y. et al. Efeitos do cloridrato de manganês no desempenho de crescimento, na capacidade antioxidante, nos parâmetros da tíbia e no teor de manganês na deposição de frangos. Animais, 11, 3470, 2021. https://doi.org/10.3390/.
Suttle, N.F. The Mineral Nutrition of Livestock. 4th ed. London: CABI International, 2010. 579p.
Tokarnia, C. H., Peixoto, P. V., Barbosa, J. D., Brito, M. F., & Döbereiner, J. (2010). Deficiência de cobre. In: *Deficiências minerais em animais de produção* (pp. 88–102).
UNDERWOOD, E. J.; SUTTLE, N. F. The mineral nutrition of livestock. 3. ed. Wallingford: CABI Publishing, 2001.

UNIÃO EUROPEIA. Comissão Europeia. Regulamento de Execução (UE) 2019/12 da Comissão, de 3 de janeiro de 2019, relativo à autorização de L-arginina como aditivo em alimentos para animais de todas as espécies. Jornal Oficial da União Europeia, L 2/21, 4 jan. 2019. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:32019R0012. Acesso em: 08 ago. 2025.

VALADARES FILHO, S. C. et al. Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos. 4. ed. Viçosa: UFV, 2020.

VALLE, S. F. Caracterização do perfil mineral de bovinos de corte em Cachoeira do Sul. Tese de Mestrado, Universidade do Rio Grande do Sul, 2002.

VASCONCELOS, E. L. F.; LIMA, J. C. W. A.; LIMA JÚNIOR, R. A. Deficiência de minerais em frangos de corte e poedeiras: revisão da literatura. Monografia (Bacharelado em Medicina Veterinária) – Centro Universitário Brasileiro – UNIBRA, Recife, 2022.

WU, G. et al. Amino acid nutrition in animals: protein synthesis and beyond. Annual Review of Animal Biosciences, v.2, n.1, p.387-417, 2014.

Yanuartono, Y., Indarjulianto, S., & Paryuni, A. D. (2024). Zinc deficiency in ruminants and its management: A brief review. *Jurnal Ilmu Peternakan Dan Veteriner Tropis (Journal of Tropical Animal and Veterinary Science)*, 14(3), 102–118. https://doi.org/10.46549/jipvet.v14i3.408

ZAGRODZI, P. et al. Iodine deficiency in cattle: compensatory changes in thyroidal selenoenzymes. Research in Veterinary Science, 64: 209-211, 1998.

ZARGHI, H. et al. Comparative evaluation of DL-methionine and MHA-FA in broiler diets. Poultry Science, v.103, n.5, 2024.

ZHANG, W. et al. Effects of methionine analogues in low-fishmeal diets for Pacific white shrimp. Aquaculture Nutrition, 2022.

# SOBRE OS AUTORES

**ANNA CAROLINE SILVA DE OLIVEIRA**
Universidade Federal do Pará, Médica Veterinária, 2025

**MARCOS VINICIOS PINHEIRO MATIAS**
Universidade Federal do Pará, Médico Veterinário, 2026

**DIOVANNA FERNANDES ABREU**
Universidade Federal do Pará, Médica Veterinária, 2026

**EDILANE DA CONCEIÇÃO SILVA COSTA**
Universidade Federal do Pará, Médica Veterinária, 2026

**IRIS NARA FERNANDA ANDRADE BARBOSA**
Universidade Federal do Pará, Médica Veterinária, 2026

**JULIANA FERREIRA REIS**
Universidade Federal do Pará, Médica Veterinária, 2026

**LAYSE GABRIELLE MORAES SOUSA**
Universidade Federal do Pará, Médica Veterinária, 2026

**POTIRA CORREA DA SILVA**
Universidade Federal do Pará, Médica Veterinária, 2026

**SANDRA CRISTINA DE ÁVILA**
Possui graduação em Zootecnia pela Faculdade de Zootecnia e Agronomia de Uberaba (1984), mestrado em Zootecnia pela Universidade Federal de Minas Gerais (1989), doutorado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Pará (2003) e pós-doutorado no CIRAD, em Montpellier, França (2014). Tem experiência na área de zootecnia, com ênfase na avaliação de alimentos para animais, com atuação principalmente no uso de subprodutos na alimentação animal. É professora na UFPA desde 2000. Atualmente, está no Instituto de Medicina Veterinária da UFPA, no Campus Castanhal.

# ALIMENTOS FUNCIONAIS E ADITIVOS NUTRICIONAIS

## NA NUTRIÇÃO ANIMAL



Anna Caroline Silva de Oliveira
Marcos Vinicios Pinheiro Matias
Diovanna Fernandes Abreu
Edilane da Conceição Silva Costa
Iris Nara Fernanda Andrade Barbosa
Juliana Ferreira Reis
Layse Gabrielle Moraes Sousa
Potira Correa da Silva
Sandra Cristina de Ávila