



Antioxidantes Naturais e Sintéticos em Alimentos Completos para Cães: uma Análise Comparativa

Natural and Synthetic Antioxidants in Complete Dog Foods: A Comparative Analysis

Fábio Augusto Garcia Coró

Pos Graduate Program in Food Technology (PPGTAL). UTFPR - Federal Technological University of Paraná. Londrina, Paraná.

Georgia Caetano de Almeida

Pos Graduate Program in Food Technology (PPGTAL). UTFPR - Federal Technological University of Paraná. Londrina.

Talita Kato

Pos Graduate Program in Food Technology (PPGTAL). UTFPR - Federal Technological University of Paraná. Londrina.

Ana Carolina Moreira do nascimento

Undergraduate in Food Technology. Scientific Initiation Program. UTFPR – Federal Technological University of Paraná.

Giovana Savian Neri

Undergraduate in Food Technology. Scientific Initiation Program. UTFPR – Federal Technological University of Paraná.

Mayka Reghiany Pedrão

Pos Graduate Program in Food Technology (PPGTAL). UTFPR - Federal Technological University of Paraná. Londrina.

Resumo: A estabilidade oxidativa é crucial para manter a qualidade nutricional e sensorial das rações para cães. Este estudo avaliou o efeito de antioxidantes sintéticos (BHT) e de um blend natural (chá verde, alecrim e óleos essenciais) — com e sem vitamina E —, além do grupo controle, sobre a estabilidade físico-química de rações armazenadas por 210 dias. A adição de antioxidantes preservou melhor a proteína bruta, a fibra e a umidade, mantendo a atividade de água abaixo de 0,60 e assegurando estabilidade microbiológica. Os marcadores de oxidação lipídica (TBARS, peróxidos e acidez) foram mais elevados no grupo controle. O BHT destacou-se por apresentar menor avanço oxidativo, enquanto o blend natural reduziu significativamente a degradação em comparação com o controle. A presença da vitamina E potencializou o blend natural, alcançando desempenho semelhante ao do BHT em determinados períodos. A avaliação acelerada (Oxipres®) confirmou que os aditivos retardam a oxidação, embora os naturais apresentem menor resistência ao longo de períodos prolongados de armazenamento. Conclui-se que o uso de antioxidantes é indispensável e que a combinação de antioxidantes naturais com vitamina E surge como alternativa promissora ao BHT para o mercado clean label, o que demanda novos estudos de dosagem e de sinergia para otimizar sua eficácia.

Palavras-chave: alecrim; chá verde; estabilidade oxidativa; índice de acidez; índice de peróxido; substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico; pet food.

Abstract: Oxidative stability is crucial for maintaining the nutritional and sensory quality of dog foods. This study evaluated the effects of a synthetic antioxidant (BHT) and a natural blend (green tea, rosemary, and essential oils), with and without vitamin E, alongside a control group,

on the physicochemical stability of dog foods stored for 210 days. Antioxidant supplementation better preserved crude protein, fiber, and moisture, maintaining water activity below 0.60 and ensuring microbiological stability. Lipid oxidation markers (TBARS, peroxide value, and acid value) were higher in the control group. BHT exhibited the lowest progression of oxidation, while the natural blend significantly reduced degradation compared with the control. Vitamin E enhanced the performance of the natural blend, achieving results comparable to those of BHT at certain time points. Accelerated testing (Oxipres®) confirmed that the additives delayed oxidation, although the natural antioxidants provided less resistance to oxidation during prolonged storage. It was concluded that antioxidants are essential and that combining natural antioxidants with vitamin E represents a promising alternative to BHT for the clean label market, warranting further studies on dosage and synergistic effects to optimize efficacy.

Keywords: rosemary; green tea; oxidative stability; acid value; peroxide value; thiobarbituric acid reactive substances; pet food.

INTRODUÇÃO

O mercado brasileiro de pet food é o terceiro maior do mundo em faturamento, movimentando mais de R\$ 40,8 bilhões em 2025. Esse crescimento reflete o aumento na produção nacional e a humanização dos animais de companhia, impulsionando a busca por alimentos seguros, nutritivos e de maior qualidade. Para preservar a integridade nutricional, o aroma e a palatabilidade das rações, o uso de antioxidantes é indispensável, pois evita a oxidação lipídica e a degradação de nutrientes sensíveis. Atualmente, a demanda por produtos clean label estimula a substituição de antioxidantes sintéticos por opções naturais, como extratos de alecrim, chá verde e tocoferóis, o que exige estudos sobre a eficácia e a estabilidade oxidativa (shelf life) desses antioxidantes. Nesse contexto, o estudo objetivou avaliar o efeito de antioxidantes sintéticos e naturais sobre a estabilidade oxidativa de rações para cães com 9% de extrato etéreo.

Regulamentado pelo MAPA (Lei nº 6.198/1974 e Instruções Normativas posteriores), o setor segue normas rigorosas de fabricação, segurança e rotulagem. No entanto, a segmentação comercial das rações (como Standard, Premium e Super Premium) não é definida por lei; é uma classificação criada pela indústria com base em preço, qualidade das matérias-primas e equilíbrio nutricional. Da mesma forma, os limites para nutrientes e os índices de oxidação seguem diretrizes de boas práticas de entidades como ABINPET, FEDIAF e CBNA, orientando escolhas que variam conforme as necessidades do pet e o poder aquisitivo do tutor.

Tabela 1 - Categorias comerciais de alimentos completos para cães no mercado brasileiro e suas principais características.

Item	Tipo de ração			
	Básico/ Econômica	Standard	Premium	Super Premium
Análises químicas dos teores de vitaminas hidrossolúveis no alimento	-	-	-	Obrigatório
Análises comprobatórias dos teores de ácido linoléico	-	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
Análises químicas dos teores de ácidos graxos Ômega-3 e Ômega-6	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
Comprovação científica de nutrientes adicionados com alegação funcional	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
Formulação fixa, sem eventuais substitutivos	-	-	-	Obrigatório
Análise de aflatoxina B1	Máx. 10 ppb	Máx. 10 ppb	Máx. 10 ppb	Máx. 10 ppb
Análise de fumonisina B1+B2	Máx. 4000 ppb	Máx. 4000 ppb	Máx. 4000 ppb	Máx. 4000 ppb
Microbiologia (salmonela, bolores e leveduras)	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
Qualidade de fabricação certificada por organismos validados (BPF)	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
Qualidade de fabricação certificada por organismos validados (APPCC)	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
Perfil de aminoácidos essenciais (análises químicas comprobatórias)	-	-	Obrigatório	Obrigatório
Índice de peróxido produto acabado	≤ 10 meq	≤ 10 meq	≤ 10 meq	≤ 10 meq
Índice de acidez produto acabado	≤ 3 mg KOH/g	≤ 3 mg KOH/g	≤ 3 mg KOH/g	≤ 3 mg KOH/g
Bolores e leveduras	≤ 10 ⁴ UFC/g	≤ 10 ⁴ UF-C/g	≤ 10 ⁴ UF-C/g	≤ 10 ⁴ UF-C/g
Atividade de água	Aw ≤ 0,60	Aw ≤ 0,60	Aw ≤ 0,60	Aw ≤ 0,60
Umidade	≤ 12%	≤ 12%	≤ 12%	≤ 12%
Digestibilidade	Reduzida	Moderada	Boa	Alta

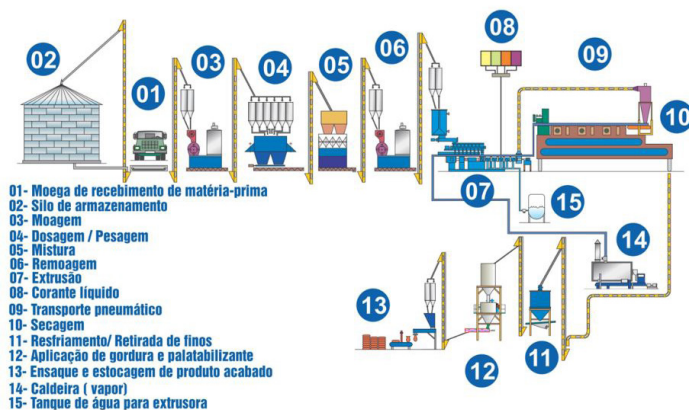
Item	Tipo de ração			
	Básico/ Econômica	Standard	Premium	Super Premium
Aditivos funcionais	Não possui	Raramente	Moderada	Alta
Proteína bruta	18-20%	21-23%	24-26%	25-36%
Extrato etéreo	6-8%	9-10%	11-12%	13-18%

Fontes: FEDIAF, 2021; CBNA, 2021; ABINPET, 2024.

O alimento completo para cães, na forma de ração extrusada, é obtido por meio de um conjunto de etapas tecnológicas sequenciais, cujo objetivo é garantir que o produto final apresente características físico-químicas e biológicas adequadas ao consumo. Inicialmente, ocorre a seleção criteriosa de fornecedores e a recepção das matérias-primas na moega, seguida do armazenamento em silos. Posteriormente, realiza-se a moagem e, quando necessário, a remoagem, visando padronizar o tamanho das partículas. As matérias-primas passam, então, pelas etapas de dosagem, pesagem e mistura, a fim de garantir a uniformidade da formulação (Pedrosa *et al.*, 2019).

Na etapa de processamento térmico, utiliza-se a extrusão, na qual podem ser incorporados aditivos, como corantes líquidos. Nesta fase, ocorrem modificações estruturais nos ingredientes, o que aumenta a digestibilidade do alimento. Após a extrusão, a ração é transportada pneumáticamente para o processo de secagem, etapa fundamental para a redução do teor de umidade e prevenção do desenvolvimento microbiano. Em seguida, é realizada a etapa de resfriamento, com retirada de finos, e a aplicação de gordura e palatilizante, com o objetivo de elevar a densidade energética e a aceitação sensorial do produto. Finalmente, o alimento é ensacado, estocado e expedido para distribuição (Alvarenga *et al.*, 2021). Na figura 1 abaixo segue descrito o fluxograma de uma fábrica de rações extrusadas para cães:

Figura 1 - Fluxograma de uma fábrica de ração extrusada.



Fonte: adaptado de Ferraz Máquinas e Engenharia, 2025.

Os antioxidantes atuam ao prevenir ou retardar a oxidação de moléculas, protegendo os componentes dos danos causados por radicais livres (Ohiagu *et al.*, 2024). Em rações para animais, garantem estabilidade, palatabilidade e segurança por meio da preservação de lipídios e de vitaminas (Schlieck *et al.*, 2021). Eles neutralizam radicais livres e protegem os alimentos contra danos oxidativos (Pacheco *et al.*, 2018), dividindo-se nas seguintes categorias (Bailey, 1996; Flieger *et al.*, 2021):

- **Primários:** Compostos fenólicos que doam átomos de hidrogênio aos radicais livres, interrompendo a reação em cadeia (Simic; Javanovic, 1994; Viglianisi; Menichetti, 2019). Destacam-se os polifenóis sintéticos (BHA, BHT, TBHQ, PG) e os tocoferóis naturais (Namiki, 1990; Lankanayaka *et al.*, 2025).
- **Secundários:** Atuam indiretamente ao quelar metais pró-oxidantes (ferro e cobre) e decompor hidroperóxidos (Gülçin, 2012). Quando aplicados com antioxidantes primários, promovem maior estabilidade (Springer, 2025).
- **Sinergistas:** Têm pouca ou nenhuma atividade própria, mas ampliam a ação dos antioxidantes primários (Ramalho; Jorge, 2006).
- **Quelantes de metais:** Ligam-se a metais de transição que catalisam radicais livres. Exemplos incluem o ácido cítrico, os fosfatos e o EDTA (Ramalho; Jorge, 2006).
- **Removedores de oxigênio:** Capturam o oxigênio do meio e ajudam na regeneração de antioxidantes primários oxidados, como o ácido ascórbico (Gulcin, 2025).
- **Biológicos e Mistos:** Incluem enzimas, como catalase e superóxido dismutase (Kehrer; Smith, 1992), além de compostos naturais, como flavonoides e proteínas hidrolisadas (Bailey, 1996; Abeyrathne *et al.*, 2022).

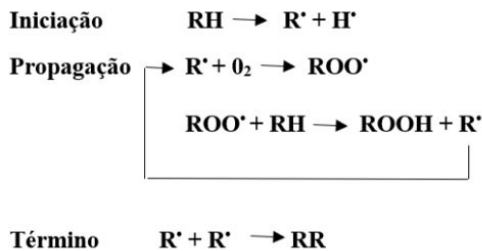
As gorduras fornecem energia, ácidos graxos essenciais (AGE) e melhoram os atributos sensoriais nas rações (Case *et al.*, 2011). Auxiliam no transporte de vitaminas lipossolúveis e na manutenção da pele e da pelagem (França *et al.*, 2011; Fediaf, 2018), mas, se oxidadas, geram compostos associados a doenças graves (Domínguez *et al.*, 2019). Os AGE (como ômega-3 e ômega-6) não são sintetizados por cães e gatos, devendo ser fornecidos na dieta (NRC, 2006; Araújo, 2011).

Fontes lipídicas e farinhas animais são amplamente empregadas pela indústria (ABINPET, 2021), mas apresentam elevada suscetibilidade à oxidação (Silva *et al.*, 1999). Diante disso, dietas com maior teor lipídico exigem níveis mais elevados de antioxidantes (Costa *et al.*, 2020). A oxidação prejudica o shelf life e compromete os atributos sensoriais e nutricionais da ração (Araújo, 2011; Kara, 2020), pois degrada vitaminas lipossolúveis e gera compostos tóxicos que alteram o odor e sabor (Soares, 2002; Dragoev, 2024). Esses ingredientes suscetíveis compõem de 30% a 35% das rações (França *et al.*, 2011; Kawauchi, 2012).

A oxidação ocorre por autooxidação, fotooxidação (induzida por luz e fotossensibilizantes) ou lipoxigenase (ação enzimática vegetal) (Silva *et al.*, 1999; Wang; Hammond, 2010; Geng *et al.*, 2023). A autooxidação é impulsionada por calor, luz e íons metálicos (Araújo, 2011; Oliveira *et al.*, 2012; Geng *et al.*, 2023) e divide-se em três fases:

1. Iniciação: A remoção do hidrogênio do ácido graxo gera o primeiro radical livre (Vasconcelos *et al.*, 2014).
2. Propagação: O radical reage com o oxigênio e forma o radical peroxil, que ataca outros ácidos graxos gerando hidroperóxidos (Coneglian *et al.*, 2011). A decomposição desses peróxidos origina aldeídos e cetonas, resultando no ranço (Wang; Hammond, 2010; Araújo, 2011).
3. Terminação: Os radicais livres são neutralizados por antioxidantes ou combinam-se entre si, formando produtos estáveis (Melo; Guerra, 2002).

Figura 2 - Mecanismo da oxidação lipídica.



Onde: RH = ácido graxo insaturado; R' = radical livre; ROO' = radical peróxido;
ROOH = hidroperóxido.

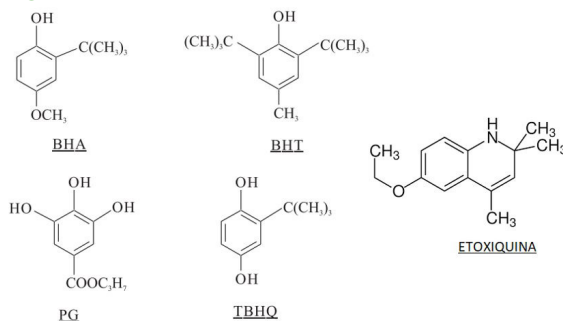
Fonte: autoria própria, adaptado de Ramalho; Jorge, 2006.

A ingestão de produtos primários da oxidação lipídica pode causar irritação da mucosa intestinal, diarreia, degeneração hepática e morte celular (Ferrari, 1998; Kanner, 2007). Já os produtos secundários (como malonaldeído, 4-hidroxinonenal e acroleína) associam-se à aterosclerose, diabetes, anemia hemolítica, inflamações e câncer (Bird *et al.*, 1982; Shoeb *et al.*, 2014; Dragoev, 2024). Além disso, o processo reduz o valor nutricional da ração ao degradar vitaminas lipossolúveis, provocar a co-oxidação da vitamina C, destruir ácidos graxos essenciais e formar lipídeos oxidados antagônicos aos nutrientes. A reação do malonaldeído com aminas secundárias também gera nitrosaminas, compostos potencialmente cancerígenos (Coneglian *et al.*, 2011; Geng *et al.*, 2023).

A oxidação de compostos orgânicos é uma das principais causas da redução do prazo de validade das rações, resultando em perda de palatabilidade, alterações de cor e odor, degradação dos ingredientes e diminuição do valor nutricional. Por isso, os antioxidantes são aditivos tecnológicos indispensáveis para prevenir ou retardar a deterioração de óleos e subprodutos animais e vegetais (Coneglian *et al.*,

2011; Hurst, 2018). Entre as opções mais utilizadas na indústria de pet food estão os antioxidantes fenólicos sintéticos, como BHA, BHT, TBHQ, PG e etoxiquina. A estrutura molecular desses compostos permite doar prótons a radicais livres, interrompendo a fase inicial da reação oxidativa (Buck, 1981; Coneglian *et al.*, 2011; Kawauchi, 2012).

Figura 3 - Estrutura dos antioxidantes sintéticos.



Fonte: adaptado de Ramalho; Jorge, 2006.

A ingestão de produtos primários e secundários da oxidação lipídica, como o malonaldeído e a acroleína, pode causar danos severos à saúde animal, incluindo irritação intestinal, lesão hepática e doenças crônicas, como aterosclerose e câncer (Ferrari, 1998; Kanner, 2007; Shoeb *et al.*, 2014). Além dos riscos patológicos, esse processo reduz drasticamente o valor nutricional da ração ao degradar vitaminas e ácidos graxos essenciais, resultando em perda de palatabilidade e alterações de odor e de cor (Coneglian *et al.*, 2011; Hurst, 2018). Por essas razões, o uso de antioxidantes é indispensável como aditivo tecnológico para garantir a conservação dos alimentos pet food.

Historicamente, os antioxidantes sintéticos têm sido os mais utilizados para inibir a fase inicial da oxidação lipídica (Buck, 1981; Kawauchi, 2012). Dentre eles, o BHA destaca-se na proteção de gorduras animais e na resistência a altas temperaturas (Ramalho; Jorge, 2006), enquanto o BHT atua com alta eficácia em óleos vegetais e possui efeito sinérgico quando combinado ao BHA (Deiana *et al.*, 2002; Dai *et al.*, 2024). O TBHQ apresenta grande estabilidade térmica acima de 200 °C e alta sinergia com o ácido cítrico (Genena, 2005; Anbudhasan *et al.*, 2014), enquanto o propilgalato (PG) requer cautela, pois pode atuar como pró-oxidante em doses elevadas (Chan, 2015). Já a etoxiquina, apesar de sua resistência a condições extremas (Hilton, 1989), foi proibida na Europa e teve seu uso praticamente zerado no Brasil devido a preocupações quanto à sua segurança (Bunghez *et al.*, 2012).

No Brasil, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento estabelece limites máximos para a inclusão desses aditivos, como o teto de 150 mg/kg para BHA/BHT e de 100 mg/kg para PG (Mapa, 2016). Essas restrições fundamentam-se em estudos que associam os sintéticos a potenciais reações adversas, incluindo lesões hepáticas, alterações gastrointestinais e problemas celulares (Wilder *et al.*, 1960; Kawauchi, 2012; Anbudhasan *et al.*, 2014). Essa preocupação impulsionou

uma forte tendência de mercado voltada à substituição dessas moléculas por alternativas de origem vegetal (Pokorny *et al.*, 2001; Coneglian *et al.*, 2011).

Entre as alternativas naturais, a vitamina E é amplamente empregada por combinar nutrição e conservação. Enquanto a forma α -tocoferol atua no organismo animal, se degrada facilmente na extrusão; as frações gama e delta-tocoferol oferecem maior estabilidade térmica contra a oxidação das rações (Coneglian *et al.*, 2011; Shastak, 2023; Beynen, 2024). O extrato de alecrim também se consolidou como uma das opções mais eficientes, apresentando desempenho igual ou superior aos sintéticos devido à capacidade de seus compostos fenólicos de neutralizar radicais livres mesmo sob calor elevado (HRAS *et al.*, 2000; YANG *et al.*, 2016). Outras fontes, como o extrato de chá verde, a cúrcuma e o ácido ascórbico, têm demonstrado potencial para preservar a integridade nutricional e reduzir marcadores inflamatórios e oxidativos (Frankel, 1996; Ghasemi *et al.*, 2014; Campigotto *et al.*, 2020).

Apesar dos claros benefícios à saúde e da preferência dos tutores por produtos clean label, a aplicação de antioxidantes naturais enfrenta desafios operacionais significativos. Eles exigem doses de inclusão mais elevadas do que as dos sintéticos, o que encarece a formulação. Além disso, por derivarem de matrizes vegetais, sofrem variações na concentração dos princípios ativos, exigem métodos analíticos mais complexos para a padronização e são mais suscetíveis ao estresse térmico durante os processos de extrusão e de secagem (Cuppet, 2001; Pokorny, 2007; Salami *et al.*, 2016).

DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Foram elaboradas quatro formulações de rações, padronizadas com 9% de extrato etéreo, valor compatível com o teor lipídico encontrado em grande parte das rações premium disponíveis no mercado, bem como em formulações destinadas a cães idosos (sênior), que frequentemente apresentam apelo natural. Os macroingredientes incluíram milho, farelo de soja, farinha de carne e ossos, farinha de vísceras, óleo de aves e sal comum. Como fonte de micronutrientes, utilizou-se um premix vitamínico-mineral. A formulação base foi mantida constante entre os tratamentos, variando apenas quanto à inclusão e ao tipo de antioxidante adicionado. A composição detalhada das rações é apresentada na Tabela 2.

A respeito da escolha dos antioxidantes testados, o BHT foi selecionado como antioxidante sintético por sua ampla aplicação na indústria de pet food devido à alta eficiência na prevenção da rancificação de óleos e gorduras e ao custo competitivo.

Os antioxidantes naturais utilizados no experimento foram compostos por extrato de chá verde, extrato de alecrim e um blend de óleos essenciais adquiridos comercialmente. A composição detalhada do blend não pode ser divulgada por se tratar de informação confidencial da empresa. A seleção dos antioxidantes naturais baseou-se na ampla utilização de tocoferóis (vitamina E), extrato de alecrim e extrato de chá verde, compostos reconhecidos por sua eficácia na inibição da oxidação

lipídica e amplamente empregados em formulações comerciais de antioxidantes para pet food. Além disso, foram incluídos óleos essenciais com o objetivo de potencializar o efeito antioxidante e promover sinergia com os demais compostos naturais selecionados.

Tabela 2 - Formulação das dietas experimentais para cães contendo diferentes antioxidantes: BHT, extratos naturais (chá verde, alecrim, óleos essenciais) com ou sem vitamina E.

Ingredientes	T1CN	T2CP	T3SemE	T4ComE
	Formulação (Kg)			
Milho	653,5	653,4	652	652
Premix mineral e vitamínico cães	3	3	3	3
Farelo de soja	50	50	50	50
Farinha de carne e ossos	73	73,5	73,5	73,5
Farinha de vísceras	181	181	181	181
Óleo de aves	36,5	36,5	36,5	36,5
Sal común molida	3	2,5	2,5	2,5
BHT	0	0,1	0	0
Extratos naturais (chá verde + alecrim + óleos essenciais)	0	0	1,5	0
Extratos naturais (chá verde + alecrim+ óleos essenciais) + vitamina E	0	0	0	1,5

*Legenda: * T1: Controle negativo, sem adição de antioxidantes. T2: Inclusão de antioxidante sintético BHT (0,1 kg/tonelada). T3: Inclusão de antioxidante natural composto por extrato de chá verde, extrato de alecrim e óleos essenciais (1,5 kg/tonelada). T4: Inclusão de antioxidante natural composto por extrato de chá verde, extrato de alecrim, óleos essenciais e vitamina E. (1,5 kg/tonelada). Todas as formulações foram padronizadas para conter os mesmos níveis de proteína e lipídios, variando apenas quanto à inclusão e ao tipo de antioxidante testado.*

*** Os níveis de inclusão foram calculados para a produção de 1.000 kg de ração por batida.*

**** Ingredientes do premiss mineral vitamínico: biotina, fosfatidilcolina, pantotenato de cálcio, vitamina A, vitamina E, vitamina B1, vitamina B12, vitamina B2, vitamina B6, vitamina D3, vitamina E, vitamina K3, ácido fólico, iodato de cálcio, monóxido de manganês, selenito de sódio, sulfato de cobre pentahidratado, sulfato de ferro, óxido de zinco, BHA, BHT, propilgalato, e veículo Q.S.P.*

Fonte: Autoria própria, adaptado de Ramalho; Jorge, 2006.

As rações produzidas foram acondicionadas em embalagens plásticas com espessura de $280 \pm 10 \mu\text{m}$ e armazenadas em local seco, protegido da luz e à temperatura ambiente (aproximadamente 25°C) por um período de 210 dias. As amostras foram devidamente destinadas às análises de índice de peróxidos, índice de acidez, oxidação lipídica (substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico – TBARS), composição proximal, atividade de água e estabilidade oxidativa acelerada. Os resultados obtidos nas análises de TBARS, de índice de peróxidos e de índice de acidez foram submetidos à análise de variância e ao teste de comparação de médias de Tukey, adotando-se nível de significância de 5% ($p < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas no software BIOSTAT®. Os dados referentes à

estabilidade oxidativa acelerada foram avaliados apenas de forma descritiva, uma vez que o número de repetições não foi suficiente para aplicação de testes estatísticos inferenciais. Da mesma forma, os resultados das análises proximais e da atividade de água foram comparados apenas quanto às diferenças percentuais observadas, devido ao número limitado de amostras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta os resultados das análises de composição proximal e da atividade de água das amostras de rações destinadas a cães com diferentes aditivos antioxidantes. Observa-se que os parâmetros avaliados apresentaram variações ao longo dos 210 dias de armazenamento, com os valores expressos na base de matéria natural. Para uma avaliação comparativa, as diferenças entre os tempos T0 e T210 foram expressas em percentual. No tempo 0, os teores de extrato etéreo observados foram: T1 8,11%, T2 8,62%, T3 8,79% e T4 9,11%. Todos os valores ficaram próximos do valor-alvo de 9%, indicando que as formulações estavam adequadamente ajustadas conforme o planejado.

Tabela 3 - Resultados da composição proximal (%) e da atividade de água (Aw) das rações destinadas à alimentação de cães, elaboradas com antioxidantes naturais e sintéticos, incluindo a variação percentual entre os tempos T0 e T210.

Análise	Tempos e diferença T0 x T210 (%)	T1CN	T2CP	T3SemE	T4ComE
Proteína bruta	T0	20,95%	21,03%	21,24%	20,39%
	T210	20,16%	21,71%	22,14%	21,05%
	Diferença (%)	- 0,79%	0,68%	0,90%	0,66%
Fibra bruta	T0	2,37%	1,94%	2,52%	2,36%
	T210	1,82%	2,41%	2,49%	1,83%
	Diferença (%)	- 0,55%	-0,47%	- 0,03%	- 0,53%
Matéria mineral	T0	6,27%	7,51%	6,75%	7,15%
	T210	6,35%	7,07%	7,08%	6,70%
	Diferença (%)	0,08%	- 0,44%	0,33%	- 0,45%
Umidade	T0	10,34%	10,10%	10,06%	10,16%
	T210	10%	9,82%	9,93%	9,79%
	Diferença (%)	- 0,34%	- 0,28%	- 0,13%	- 0,37%
Atividade de água	T0	0,32	0,41	0,51	0,5
	T210	0,54	0,54	0,58	0,57
	Diferença (%)	0,22	0,13	0,07	0,07

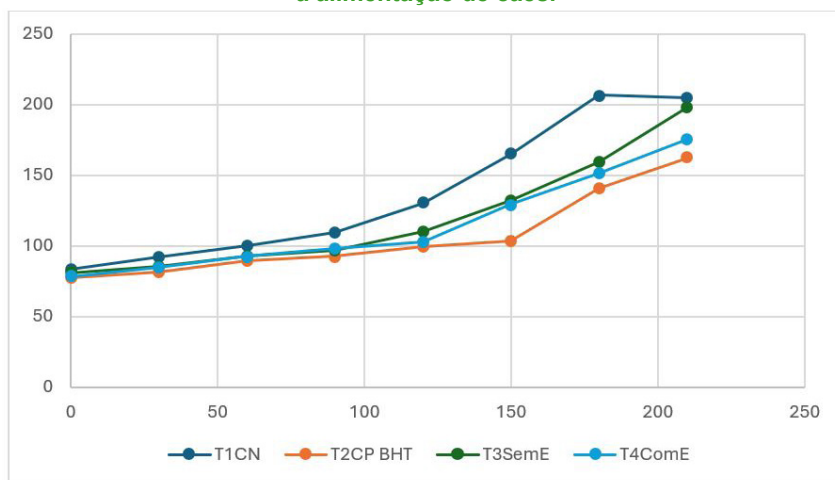
Legenda: * T1CN (tratamento controle sem antioxidantes); T2CP (tratamento com BHT); T3SemE (tratamento com blend de antioxidantes naturais sem vitamina E); T4ComE (tratamento com blend de antioxidantes naturais com vitamina E).

Fonte: autoria própria, adaptado de Ramalho; Jorge, 2006.

Ao longo de 210 dias, todas as dietas mantiveram os teores de proteína dentro das diretrizes da ABINPET (2021). Os antioxidantes ajudaram a conter a perda de nitrogênio e a inibir o estresse oxidativo, que degrada aminoácidos e reduz a digestibilidade proteica (Santos, 2023; Wang *et al.*, 2025), padrão também observado na preservação de ácidos graxos com alecrim e tocoferóis (Rocha Júnior *et al.*, 2021). Os níveis de fibra mantiveram-se dentro do padrão comercial (2% a 5%), com maior queda no controle, o que indica proteção dos antioxidantes sobre as frações solúveis (ABINPET, 2021). A matéria mineral permaneceu estável e dentro do teto de 10%.

A umidade ficou abaixo do limite de 12% (Mapa, 2017), devido à evaporação, sobretudo no tratamento sintético. A atividade de água aumentou mais no controle, mas permaneceu abaixo de 0,60 em todos os grupos, o que garante segurança microbiológica (Americano, 2016; Murakami *et al.*, 2018). Conclui-se que os antioxidantes preservam a matriz físico-química e controlam a oxidação e a migração de umidade na ração (Franco; Landgraf, 2008; Loria, 2020).

Gráfico 1 - Evolução dos valores de TBARS (mg de malonaldeído/kg) em função do tempo de armazenamento (em dias) em ração destinada para a alimentação de cães.



Legenda: * T1CN (tratamento controle sem antioxidantes); T2CP (tratamento com BHT); T3SemE (tratamento com blend de antioxidantes naturais sem vitamina E); T4ComE (tratamento com blend de antioxidantes naturais com vitamina E).

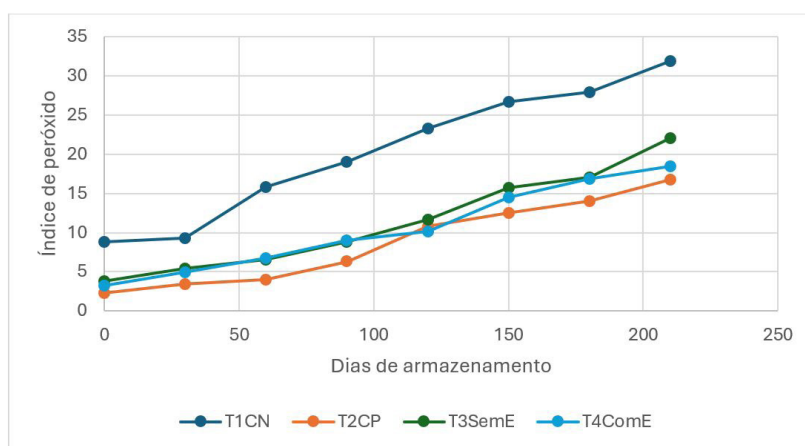
Fonte: autoria própria, adaptado de Ramalho; Jorge, 2006.

A análise do TBARS ao longo de 210 dias confirmou que o controle apresentou a maior oxidação lipídica, enquanto o BHT foi o mais eficiente. Os antioxidantes naturais também reduziram a formação de MDA e, ao final, o tratamento natural com vitamina E foi estatisticamente equivalente ao tratamento com BHT, evidenciando o efeito protetor sinérgico da vitamina E. Definir níveis seguros de MDA em rações é desafiador devido à falta de dados toxicológicos, mas estimam-se teores acima de 1 mg/kg de matéria seca comercial (Beynen, 2022). A EFSA fixa o limite para

humanos em 0,07 mg/kg/dia (Papastergiadis *et al.*, 2014). Estocagens prolongadas chegam a médias de 162 mg/kg de MDA em rações secas e de 190 mg/kg em rações úmidas após 12 meses (Kara, 2021).

Estes achados corroboram os de Glodde *et al.* (2018) e Kutzner *et al.* (2022) quanto à eficácia dos tocoferóis e do alecrim na preservação de rações extrusadas. A fonte lipídica também afeta o processo, sendo o óleo de aves mais suscetível do que o sebo bovino (Frigard *et al.*, 1998). Apesar dos sintéticos resistirem melhor ao estresse térmico severo (Silva *et al.*, 2017), a otimização de dosagens e sinergias em extratos vegetais permite equiparar o desempenho das opções naturais no setor pet food (Mariutti; Bragagnolo, 2009; Brewer, 2011).

Gráfico 2 - Evolução dos valores de índice de peróxido (meq O₂/kg) em função do tempo de armazenamento (em dias) em ração destinada para a alimentação de cães.

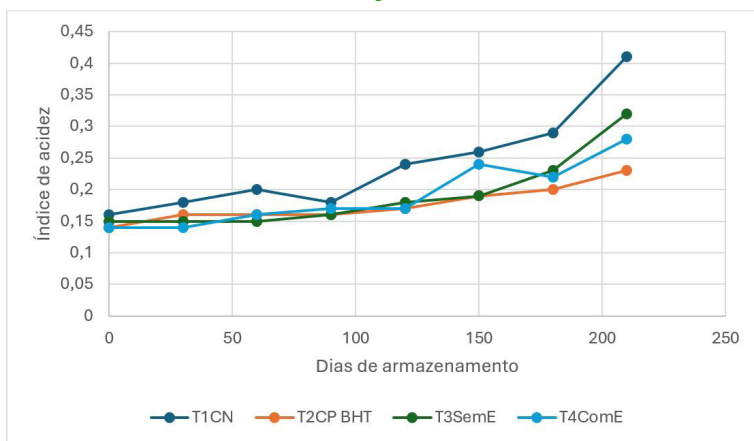


Legenda: * T1CN (tratamento controle sem antioxidantes); T2CP (tratamento com BHT); T3SemE (tratamento com blend de antioxidantes naturais sem vitamina E); T4ComE (tratamento com blend de antioxidantes naturais com vitamina E).

Fonte: autoria própria, adaptado de Ramalho; Jorge, 2006.

O índice de peróxidos aumentou em todos os tratamentos durante o armazenamento, com o controle apresentando os maiores valores. O BHT sintético foi o mais eficaz na contenção dessa oxidação primária. Os antioxidantes naturais reduziram significativamente a oxidação, sendo potencializados pela adição de vitamina E. Entre 120 e 210 dias, a formulação natural com vitamina E superou a versão sem o composto e igualou-se ao BHT, devido à capacidade dos tocoferóis de interromper radicais livres (Costa *et al.*, 2020; Silva, 2017). Embora a literatura aponte maior estabilidade oxidativa e aceitação sensorial com o BHT (Glodde *et al.*, 2018; Ribeiro, 2018), os resultados confirmam que a combinação de naturais com vitamina E é uma alternativa viável para alimentos de apelo natural. Paralelamente, o índice de acidez elevou-se gradualmente ao longo de 210 dias (Gráfico 3 e Anexo C), indicando a hidrólise lipídica e a rancificação das rações.

Gráfico 3 - Evolução dos valores de índice de acidez (mg KOH/g) em função do tempo de armazenamento (em dias) em ração destinada para a alimentação de cães.



Legenda: * T1CN (tratamento controle sem antioxidantes); T2CP (tratamento com BHT); T3SemE (tratamento com blend de antioxidantes naturais sem vitamina E); T4ComE (tratamento com blend de antioxidantes naturais com vitamina E).

Fonte: autoria própria, adaptado de Ramalho; Jorge, 2006.

O índice de acidez elevou-se ao longo do tempo, de forma mais acentuada no tratamento controle. O BHT sintético apresentou o melhor desempenho, mantendo os menores valores ao longo de todo o período. Os antioxidantes naturais também reduziram a acidez em relação ao controle, e a adição de vitamina E potencializou essa ação, resultando em menor liberação de ácidos graxos livres em comparação com a versão sem tocoferol. Ao final dos 210 dias, os grupos BHT e natural com vitamina E não diferiram estatisticamente, indicando eficácia equivalente no controle do processo oxidativo.

Esses achados alinham-se aos de Glodde *et al.* (2018), que observaram atraso na liberação de ácidos graxos livres com o uso de BHT. Já Costa *et al.* (2020) relataram menor desempenho de naturais na contenção da acidez no estágio final do armazenamento, enquanto Moura *et al.* (2019) reforçam o papel da vitamina E na inibição de radicais livres na fase lipídica. A acidez também é influenciada pela umidade e pela atividade de água da ração, ambas associadas à liberação de ácidos graxos (Murakami *et al.*, 2018).

Conclui-se que o BHT proporciona maior estabilidade à rancificação hidrolítica. No entanto, os antioxidantes naturais associados à vitamina E oferecem proteção relevante, constituindo uma alternativa promissora para o mercado sem aditivos sintéticos. Adicionalmente, a estabilidade oxidativa acelerada foi avaliada por meio do Oxipres®, estimando-se os tempos de indução lipídica inicial (T0) e final (T210) sob condições controladas de temperatura e de pressão de oxigênio.

Tabela 4 - Evolução dos valores da estabilidade oxidativa acelerada em dias em função do tempo de armazenamento em ração de cães.

Formulações	Estabilidade oxidativa	
	T0	T210
T1CN	101 dias	57 dias
T2CP	160 dias	75 dias
T3SemE	149 dias	36 dias
T4ComE	137 dias	33 dias

*Legenda: *T1CN (tratamento controle sem antioxidantes); T2CP (tratamento com BHT); T3SemE (tratamento com blend de antioxidantes naturais sem vitamina E); T4ComE (tratamento com blend de antioxidantes naturais com vitamina E).*

** A análise estatística não pôde ser realizada devido ao número reduzido de repetições, limitado a uma amostra por tempo e por tratamento, o que inviabilizou a aplicação de testes inferenciais.*

Fonte: Autoria própria, adaptado de Ramalho; Jorge, 2006.

No ensaio inicial, o BHT apresentou o maior tempo de indução (160 dias), seguido pelos naturais sem vitamina E (149 dias) e com vitamina E (137 dias), enquanto o controle apresentou a menor resistência (101 dias). Após 210 dias de estocagem, todos perderam estabilidade, mas a queda foi mais acentuada nos naturais (36 e 33 dias, respectivamente). O BHT permaneceu o mais estável ao final, com 75 dias residuais. O controle manteve-se por 57 dias, um resultado atípico e sem precedentes na literatura, possivelmente influenciado por variações analíticas ou da matriz lipídica. A falta de amostragem impediu a realização de testes estatísticos.

Os dados confirmam a superioridade dos sintéticos em estocagens prolongadas devido à sua maior resistência térmica e à ação antioxidante (Glödde *et al.*, 2018). Achados similares de Santos (2022), com métodos acelerados em alimentos semiúmidos, também indicam um tempo de indução mais longo para os sintéticos. Embora o Oxipres® seja útil para simular o prazo de validade, ele deve ser validado por meio de testes reais. Os limites dos naturais no estudo sugerem que ajustes de dosagem e sinergias são necessários para otimizar sua eficácia em rações ricas em lipídios.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adição de antioxidantes, sintéticos ou naturais, é indispensável para preservar a estabilidade oxidativa, a segurança e a integridade nutricional das rações para cães. Ao combater a degradação da matriz lipídica, esses aditivos evitam a elevação dos índices de peróxidos, de acidez e de TBARS, além de proteger indiretamente a proteína e as fibras, e de controlar microbiologicamente a atividade de água. Embora o antioxidante sintético BHT ainda lidere em eficácia e estabilidade térmica a longo prazo, as soluções naturais combinadas com vitamina E mostraram-se altamente promissoras, alcançando desempenho estatisticamente

semelhante em momentos decisivos do armazenamento. Apesar da menor resistência do extrato vegetal sob condições extremas, o ajuste de dosagens e o uso de combinações sinérgicas surgem como o caminho definitivo para consolidar os antioxidantes naturais no mercado clean label, garantindo um alimento seguro, nutritivo e alinhado às novas exigências do setor de pet food.

REFERÊNCIAS

- ABINPET. Manual de alimentação para cães e gatos: edição 10. 2021. Disponível em: https://abinpet.org.br/wp-content/uploads/2020/05/manual_pet_food_ed10_completo_digital.pdf. Acesso em: 9 mar. 2025.
- ABNT. NBR 9869:2005 – Alimentos – Determinação do teor de extrato etéreo por extração com éter etílico. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005.
- AMERICANO, M. M. S. Qualidade microbiológica de ração para cães produzida e comercializada no Estado de Mato Grosso. 75 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Biociência Animal, Universidade de Cuiabá, Cuiabá, 2016. Disponível em: <https://repositorio.pgsscogna.com.br/handle/123456789/2931>. Acesso em: 10 ago.2025.
- ANBUDHASAN, P.; SURENDRARAJ, A.; KARKUZHALI, S.; SATHISSKUMARAN, P. Natural antioxidants and their benefits. International Journal of Food and Nutritional Sciences, v. 3, n. 6, p. 225-232, 2014.
- AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 16th ed. Arlington: AOAC International, 1995.
- ARAÚJO, J. M. A. Química de alimentos: teoria e prática. 5. ed. Viçosa, MG: UFV, 2011.
- BAILEY, A. E. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. 5. ed. New York: John Wiley, 1996. v. 3.
- BEYNEN, Anton C. Malondialdehyde in pet food. ResearchGate, out. 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/364210715_Beynen_AC_2022_Malondialdehyde_in_petfood. Acesso em: 18 ago. 2025.
- BEYNEN, Anton C. Vitamin E in dog food. Bonny Canteen, v. 5, p. 214-223, 2024.
- BIRD, R. P.; DRAPER, H. H.; BASRUR, P. K. Effect of malonaldehyde and acetaldehyde on cultured mammalian cells. Production of micronuclei and chromosomal aberrations. Mutation Research, v. 101, p. 237-246, 1982.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal – CBRA: Métodos analíticos oficiais para controle de produtos de alimentação animal. Brasília, DF: MAPA, 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 44, de 15 de dezembro de 2016. Brasília, DF: MAPA, 2016.

BREWER, M. S. Natural antioxidants: sources, compounds, mechanisms of action, and potential applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 10, p.221-247, 2011.

BUCK, D. F. Antioxidants in oils. *Journal of the American Oil Chemists Society*, v. 58, p. 275, 1981.

BUNGHEZ, F.; SOCACIU, C.; CATUNESCU, G. M. Antioxidants used in pet feed. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture*, v. 69, n. 2, p. 488-489, 2012.

CASE, L. P.; DARISTOTLE, L.; HAYEK, M. G. Canine and feline nutrition: a resource for companion animal professionals. 3. ed. Missouri: Mosby Elsevier, 2011.

CBNA. Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal. Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 2021. Disponível em: <https://www.cbna.com.br/>. Acesso em: 7 ago. 2025.

CBO – Centro de Bioengenharia e Oxidação. Manual técnico do equipamento Oxipress. Valinhos, SP, 2025. Material interno.

CHAN, P. N. A. Chemical properties and applications of food additives: preservatives, dietary ingredients, and processing aids. In: *Handbook of Food Chemistry*, p. 75-100, 2015.

CONEGLIAN, S. M.; LIMA, B. S.; SILVA, L. G.; LAZZARI, C. M.; SERRANO, R. D. C.; TONELLO, C. L. Utilização de antioxidantes nas rações. *PUBVET*, Londrina, v. 5, n. 5, ed. 152, art. 1026, 2011.

COSTA, E. M.; SILVA, A. A.; REZENDE, R. M. Estabilidade oxidativa de rações extrusadas com antioxidantes naturais. *Revista de Ciência Animal*, v. 51, n. 3, p. 1-9, 2020.

CUPPETT, S. The use of natural antioxidants in food products of animal origin. In: POKORNY, J.; YANISHLIEVA, N.; GORDON, M. *Antioxidants in food: practical applications*. Cambridge: CRC Press, Woodhead Publishing Ltd., 2001. p. 284-310.

DEIANA, M.; ROSA, A.; CASU, V.; PIGA, R.; DESSI, M. A.; ARUOMA, O. I. Protection of lipid and protein oxidation by BHT and BHA in model food emulsions. *Food Chemistry*, v. 77, n. 1, p. 63-67, 2002.

EDIAF. Diretrizes nutricionais para alimentos completos e complementares para gatos e cães. Dez. 2018. Disponível em: https://cbna.com.br/arquivos/FEDIAF_PT-ok-v4.pdf. Acesso em: 9 mar. 2025.

FERRARI, C. K. B. Oxidação lipídica em alimentos e sistemas biológicos: mecanismos gerais e implicações nutricionais e patológicas. *Revista de Nutrição*,

v. 11, p. 3-14, 1998.

FERRAZ MÁQUINAS E ENGENHARIA LTDA. Fluxograma de produção de ração farelada/extrusada. Ribeirão Preto – SP. Disponível em: <https://www.ferrazmaquinas.com.br/conteudo/fluxograma-de-producao-de-racao-fareladaextrusada.html>. Acesso em: 10 ago. 2025.

FRANÇA, J.; SAAD, F. M. O. B.; SAAD, C. E. P.; SILVA, R. C.; REIS, J. S. Avaliação de ingredientes convencionais e alternativos em rações de cães e gatos. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 40, p. 222-231, 2011.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. Microbiologia dos Alimentos. São Paulo: Editora Atheneu, 2008.

FRANKEL, E. N. Antioxidants in lipid foods and food quality. Food Chemistry, v. 57, n. 1, p. 51-55, 1996.

FRIGARD, T.; PETTERSEN, J.; SANDNES, K. Lipid oxidation in extruded diets for dogs. Animal Feed Science and Technology, v. 71, n. 1-2, p. 85–100, 1998.

GENENA, A. K. Extração e caracterização do extrato de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.): estudo de sua ação antioxidante. 2005. 155 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/87213>. Acesso em: 9 mar. 2025.

GHASEMI, H. A.; SHIVAZAD, M.; ESMAEILPOUR, O.; MOHAMMADABADI, T. Effects of green tea supplementation on growth performance, blood parameters, and antioxidant status of broiler chickens in a tropical climate. Livestock Science, v. 162, p. 102-107, 2014.

GLODDE, F.; GÜNAL, M.; KINSEL, M.; ABUGHASALEH, A. Effects of natural antioxidants on the stability of omega-3 fatty acids in dog food. Journal of Veterinary Research, v. 62, p. 103–108, 2018. DOI: 10.2478/jvetres-2018-0014.

HILTON, J. W. Antioxidants: function, types and necessity of inclusion in pet foods. Canadian Veterinary Journal, v. 30, p. 682-684, 1989.

HRAS, A. R.; HADOLIN, M.; KNEZ, Z.; BAUMAN, D. Comparison of antioxidative and synergistic effects of rosemary extract with α -tocopherol, ascorbyl palmitate and citric acid in sunflower oil. Food Chemistry, v. 71, n. 2, p. 229-233, 2000.

HURST, J. W.; FINLEY, W. J.; DEMAN, M. J. Additives and contaminants. In: Food Science Text Series, p. 527-565, 2018.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. 3. ed. São Paulo, 1985. v.1 - Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. Modificado no ICTA - UFRGS.

KANNER, J. Dietary advanced lipid oxidation end products are risk factors to human health. Molecular Nutrition & Food Research, Weinheim, v. 51, n. 9, p. 1094–1101, 2007.

KAWAUCHI, I. M. Valor nutricional e parâmetros de qualidade de subprodutos de origem animal para cães. 2012. 100 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/104061>. Acesso em: 9 mar. 2025.

KARA, K. Effect of stocking conditions on fatty acid composition and oxidation capacities of different class and type dog food. *Italian J. Anim.Sci.*, v. 20, p. 1042-1053, 2021.

KEHRER, J. P.; SMITH, C. V. Natural antioxidants in human health and disease. In: FREI, B. Natural antioxidants in human health and disease. San Diego: Academic Press, 1992. p. 25.

LORIA, K. L. The science behind managing moisture, water activity. *Pet Food Processing*, 19 nov. 2020. Disponível em: <https://www.petfoodprocessing.net/articles/14273-the-science-behind-managing-moisture-water-activity>. Acesso em: 29 jun. 2025.

MARIUTTI, L. R. B.; BRAGAGNOLO, N. A oxidação lipídica em carne de frango e o impacto da adição de sálvia (*Salvia officinalis* L.) e de alho (*Allium sativum* L.) como antioxidantes naturais. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, v.68, p. 1-11, 2009.

MARIUTTI, L. R. B.; BRAGAGNOLO, N. Antioxidantes naturais da família Lamiaceae: aplicação em produtos alimentícios. *Revista Journal of Food Technology*, v. 10, n. 2, p. 96-103, 2007.

MELO, E. A.; GUERRA, N. B. Ação antioxidante de compostos fenólicos naturalmente presentes em alimentos. *Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 36, n. 1, p. 1-11, 2002.

MÉTRIS INSTRUMENTS. Oxipres user manual: accelerated oxidation test system. Velp Scientifica. Usmate, Itália: Métris Instruments, 2004.

NAMIKI, M. Natural antioxidants in human health and disease. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 29, p. 273, 1990.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. Nutrient requirements of dogs and cats. Washington, D.C.: National Academies Press, 2006. Disponível em: <https://www.nap.edu/catalog/10668/nutrient-requirements-of-dogs-and-cats>. Acesso em: 29 jun. 2025.

OHIAGU, F.; CHIKEZIE, P.; MADUKA, T.; CHIKEZIE, C.; NWAIWU, O.; PAUDEL, K. Antioxidants, Radical Scavengers, and Their Impact on Oxidative Stress. *Free Radicals and Antioxidants*, v. 14, n. 2, p. 62-85, dez. 2024.

OLIVEIRA, R. R.; LAGE, M. E.; NETO, O. J. S.; SALES, M. C. Antioxidantes naturais em produtos cárneos. *PUBVET, Londrina*, v. 6, n. 10, ed. 197, art. 1324, 2012.

PAPASTERGIADIS, A.; DESMET BALLESTRA, A.; FATOUH, L.; JACXSSENS,

C. Exposure assessment of Malondialdehyde, 4-Hydroxy-2-(E)-Nonenal and 4-Hydroxy-2-(E)-Hexenal through specific foods available in Belgium. *Food and Chemical Toxicology*, v. 73, Jul. 2014.

PEDROSA, T. R. S.; COSTA, T. R.; HEITOR, N. S.; ELIAS, M. B.; NICOLAU, K. A.; VIEIRA, L. K. Processo produtivo de ração canina: um estudo de caso da linha premium de uma fábrica de ração do Centro-Oeste Mineiro. In: JORNADA CIENTÍFICA, 12., 2019, Bambuí, MG. Anais... Bambuí: Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Bambuí, 2019.

POKORNY, J. Are natural antioxidants better – and safer – than synthetic antioxidants? *European Journal of Lipid Science and Technology*, v. 109, n. 6, p. 629–642, 2007.

POKORNY, J.; YANISHLIEVA, N.; GORDON, M. Antioxidants in food: practical applications. Boca Raton; Boston; New York; Washington, D.C.: Woodhead Publishing, CRC Press, 2001.

RAMALHO, V. C.; JORGE, N. Antioxidant action of rosemary extract in soybean oil submitted to thermoxidation. *Grasas y Aceites*, v. 59, p. 128–131, 2008.

RAMALHO, V. C.; JORGE, N. Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. *Química Nova*, v. 29, n. 4, p. 755-760, 2006.

RICE-EVANS, C. A.; MILLER, N. J.; BOLWELL, P. G.; BRAMLEY, P. M.; PRIDHAM, J. B. The relative antioxidant activities of plant-derived polyphenolic flavonoids. *Free Radical Research*, v. 22, n. 4, p. 375-383, 1995.

ROCHA JUNIOR, C. M.; BERTECHINI, A.G.; TEIXEIRA A.O.; MOREIRA, L.M.; BRIGHENTI, C.R.G.; SÁ-FORTES, M.L.; NUNES, C.A.; CORASSA, A. Evaluation of antioxidants on oxidative stability and fatty acid profile of poultry offal oil used in the pet food industry. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, v. 42, n. 3 (supl. 1), p. 18131824, 2021.

SALDEEN, K.; SALDEEN, T. Importance of tocopherols beyond α -tocopherol: evidence from animal and human studies. *Nutrition Research*, v. 25, n. 10, p. 877–889, out. 2005.

SANTOS, F. O. Avaliação de estabilidade por método acelerado em alimento específico semiúmido para cães com inclusão de antioxidantes sintéticos e naturais. 2023. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Animal) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2023. Disponível em: <https://hdl.handle.net/11449/255175>. Acesso em: 29 jun. 2025.

SANTOS, F. O. M. E. Estudo do uso de antioxidantes naturais em substituição aos sintéticos na formulação de alimento úmido para cães. 2022. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2022. Disponível em: <https://www.seer.ufpr.br>. Acesso em: 29 jun. 2025.

SHASTAK, Y.; OBERMUELLER-JEVIC, U.; PELLETIER, W. A Century of Vitamin E: Early Milestones and Future Directions in Animal Nutrition. *Agriculture*, Basel, v.

13, n. 8, p. 1526, 2023

SHOEB, M.; ANSARI, N.; SRIVASTAVA, S.; RAMANA, K. 4-hydroxynonenal in the pathogenesis and progression of human diseases. *Current Medicinal Chemistry*, v. 21, n. 2, p. 230–237, 2014.

SILVA, A. A.; SILVA, C. S.; SANTOS, L. F.; COUTINHO, L. N.; GOMES, M. S.; OLIVEIRA, A. S. Estabilidade oxidativa e qualidade de bifeinhos para cães formulados com antioxidante natural. *PUBVET*, Londrina, v. 11, n. 2, p. 130–137, fev. 2017.

SILVA, F. A. M.; BORGES, M. F. M.; FERREIRA, M. A. Métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante. *Química Nova*, v. 22, p. 94–103, 1999.

SILVA, R. R. *et al.* Efeito da adição de extratos vegetais na qualidade e estabilidade de rações armazenadas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 50, e61027, 2020.

SIMIC, M. G.; JAVANOVIC, S. V. Inativação de radicais de oxigênio por compostos fenólicos da dieta na anticarcinogênese. In: HO, C. T.; OSAWA, T.; HUANG, T. M.; ROSEN, R. T. *Food Phytochemicals for Cancer Prevention*. Washington, 1994. p. 20.

SINDIRAÇÕES. Boletim informativo do setor – Dezembro/2024. Disponível em: https://sindiracoes.org.br/wp-content/uploads/2024/12/boletim_informativo_setor_dez24_vs_final_port_sindiracoes.pdf. Acesso em: 9 mar. 2025.

SOARES, S. E. Avaliação de nutrientes. *Revista de Nutrição*, v. 15, p. 01, 2002.

VASCONCELOS, S. M. L.; SILVA, M. A. M.; GOULART, M. O. F. Low molecular weight pro-antioxidants and antioxidants from diet: structure and function. *Nutrire: Revista da Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição*, v. 31, n. 3, p. 95–118, 2006.

VASCONCELOS, T. B.; ANA, R. N. R. C.; JOSINO, J. B.; MACENA, R. H. M.; BASTOS, V. P. D. Radicais livres e antioxidantes: proteção ou perigo? *Científica: Ciências Biológicas e da Saúde*, 2014.

WANG, T.; HAMMOND, E. G. Lipoxygenase and lipid oxidation in foods. In: DECKER, Eric A.; ELIAS, Ryan J.; McCLEMENTS, David Julian (ed.). *Oxidation in Foods and Beverages and Antioxidant Applications*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2010. cap. 5, p. 105–121.

WANG, Y.; HE, Y.; YU, J.; MAO, L.; ZHANG, Y. Natural plant polyphenols as antioxidants and preservatives in animal feed: a review. *Animal Nutrition*, v. 7, n. 4, p. 1112–1120, 2021.

WANG, J.; WU, N.; YAO, Y.; CHEN, S.; XU, L.; ZHAO, Y.; TU, Y. Protein oxidation and its effect on functional properties of livestock products during the processing and storage: A review. *Food Chemistry: X*, v. 27, 2025.

WILDER, O. H. M.; OSTBY, P. C.; GREGORY, B. R. Food additives, safety, effect of feeding butylated hydroxyanisole to dogs. Food Additives Safety, v. 8, p. 504-506, 1960.

YANG, Y.; XIAOXIAO, S.; XIAONAN, S.; JIANG, L.; QI, B. *et al.* Rosemary extract can be used as a synthetic antioxidant to improve vegetable oil oxidative stability. Industrial Crops and Products, v. 80, p. 141-147, 2016.

AGRADECIMENTOS

The authors are thankful for the granting of Productivity Scholarships in Industrial Development (DT) and Scientific Initiation (PIBIT and PIBIC) granted by CNPq, Fundação Araucária de Amparo à Pesquisa, and LabMulti - UTFPR Campus Londrina.

ANEXO A- RESULTADO DO TESTE DE TBARS

Tempo de armazenamento	T1CN	T2CP	T3SemE	T4ComE
T 0	83,47 fA ($\pm$ 2,25)	77,76 dA ($\pm$ 3,88)	81,02 eA ($\pm$ 3,87)	78,42 fA ($\pm$ 3,87)
T30	92,40 eA ($\pm$ 1,98)	81,34 daB ($\pm$ 3,09)	85,44 eB ($\pm$ 3,02)	84,80 eB ($\pm$ 4,99)
T60	99,93 eA ($\pm$ 2,05)	89,61 cC ($\pm$ 2,99)	92,91 dB ($\pm$ 3,75)	92,65 deB ($\pm$ 4,86)
T90	109,51 dA ($\pm$ 2,42)	92,69 cC ($\pm$ 3,47)	96,82 cB ($\pm$ 4,06)	98,27 dB ($\pm$ 4,01)
T120	130,56 cA ($\pm$ 2,55)	99,30 bC ($\pm$ 3,44)	110,01 cB ($\pm$ 5,01)	103,22 dB ($\pm$ 4,70)
T150	165,22 bA ($\pm$ 3,09)	103,53 bC ($\pm$ 4,88)	132,48 bB ($\pm$ 4,87)	129,37 cB ($\pm$ 4,10)
T180	206,67 aA ($\pm$ 3,88)	140,96 aC ($\pm$ 3,98)	159,57 bB ($\pm$ 5,12)	151,74 bB ($\pm$ 4,90)
T210	204,67 aA ($\pm$ 4,02)	162,57 aB ($\pm$ 4,05)	198,38 aA ($\pm$ 3,80)	175,32 aB ($\pm$ 5,52)

Legenda: * T1CN (tratamento controle sem antioxidantes); T2CP (tratamento com BHT); T3SemE (tratamento com blend de antioxidante natural sem vitamina E); T4ComE (tratamento com blend de antioxidante natural com vitamina E).

** Letras minúsculas nas colunas, quando diferentes, indicam que as amostras são diferentes a 5%. Letras maiúsculas nas linhas, quando diferentes, indicam que as amostras diferem entre si a 5% de significância.

ANEXO B – RESULTADO ÍNDICE DE PERÓXIDO

Tempo de armazenamento	T1CN	T2CP	T3SemE	T4ComE
T0	8,84 fA ($\pm 1,27$)	2,29 dA ($\pm 0,74$)	3,84 eA ($\pm 0,25$)	2,25 fA ($\pm 0,73$)
T30	9,27 eA ($\pm 1,99$)	3,44 daB ($\pm 0,82$)	5,44 eB ($\pm 0,97$)	4,91 eB ($\pm 1,01$)
T60	15,89 eA ($\pm 2,84$)	3,98 cC ($\pm 0,98$)	6,54 dB ($\pm 1,61$)	6,76 deB ($\pm 1,63$)
T90	19,03 dA ($\pm 1,56$)	6,32 cC ($\pm 2,11$)	8,79 cB ($\pm 1,82$)	9,04 dB ($\pm 2,77$)
T120	23,31 cA ($\pm 1,87$)	10,81 bC ($\pm 0,41$)	11,65 cB ($\pm 0,78$)	10,11 dB ($\pm 2,02$)
T150	26,73 bA ($\pm 1,23$)	12,50 bC ($\pm 0,96$)	15,71 bB ($\pm 0,95$)	14,49 cB ($\pm 1,77$)
T180	27,92 aA ($\pm 1,87$)	14,01 aC ($\pm 1,09$)	17,09 bB ($\pm 1,77$)	16,85 bB ($\pm 1,65$)
T210	31,91 aA ($\pm 2,05$)	16,75 aB ($\pm 1,95$)	22,07 aA ($\pm 1,92$)	18,47 aB ($\pm 1,87$)

Legenda: * T1CN (tratamento controle sem antioxidantes); T2CP (tratamento com BHT); T3SemE (tratamento com blend de antioxidante natural sem vitamina E); T4ComE (tratamento com blend de antioxidante natural com vitamina E).

** Letras minúsculas nas colunas, quando diferentes, indicam que as amostras são diferentes a 5%. Letras maiúsculas nas linhas, quando diferentes, indicam que as amostras diferem entre si a 5% de significância.

ANEXO C- RESULTADO ÍNDICE DE ACIDEZ

Tempo de armazenamento	T1CN	T2CP	T3SemE	T4ComE
T0	0,16 fA ($\pm 0,03$)	0,14 dA ($\pm 0,02$)	0,15 eA ($\pm 0,015$)	0,14 fA ($\pm 0,02$)
T30	0,18 eA ($\pm 0,02$)	0,16 daB ($\pm 0,03$)	0,15 eB ($\pm 0,017$)	0,14 eB ($\pm 0,017$)
T60	0,2 eA ($\pm 0,015$)	0,16 cC ($\pm 0,03$)	0,15 dB ($\pm 0,018$)	0,16 deB ($\pm 0,015$)
T90	0,18 dA ($\pm 0,017$)	0,16 cC ($\pm 0,02$)	0,16 cB ($\pm 0,011$)	0,17 dB ($\pm 0,02$)
T120	0,24 cA ($\pm 0,02$)	0,17 bC ($\pm 0,018$)	0,18 cB ($\pm 0,012$)	0,17 dB ($\pm 0,03$)

T150	0,26 bA	0,19 bC	0,19 bB	0,24 cB
	($\pm 0,018$)	($\pm 0,012$)	($\pm 0,014$)	($\pm 0,03$)
T180	0,29 aA	0,20 aC	0,23 bB	0,22 bB
	($\pm 0,018$)	($\pm 0,03$)	($\pm 0,013$)	($\pm 0,02$)
T210	0,41 aA	0,23 aB	0,32 aA	0,28 aB
	($\pm 0,015$)	($\pm 0,03$)	($\pm 0,02$)	($\pm 0,017$)

Legenda: * T1CN (tratamento controle sem antioxidantes); T2CP (tratamento com BHT); T3SemE (tratamento com blend de antioxidante natural sem vitamina E); T4ComE (tratamento com blend de antioxidante natural com vitamina E).

** Letras minúsculas nas colunas, quando diferentes, indicam que as amostras são diferentes a 5%. Letras maiúsculas nas linhas, quando diferentes, indicam que as amostras diferem entre si a 5% de significância.