

## INFLUÊNCIA DOS COMPOSTOS DE MAILLARD E AMINAS BIOGÊNICAS NA SÍNTESE E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO PROTEICA EM CÃES

LUCAS B. SCARPIM<sup>1</sup>, LETICIA G. PACHECO<sup>1</sup>, ANA PAULA G. GONÇALVES<sup>1</sup>, THAÍS S. ÁVIDA<sup>1</sup>, STEPHANIE DE S. THEODORO<sup>2</sup>, CAMILA GOLONI<sup>1</sup>, CAROLINA C. OLIVEIRA<sup>1</sup>, ELOÍSE CRISTINA DE RAMOS<sup>1</sup>, VLADIMIR E. COSTA<sup>3</sup>, AULUS C. CARCIOFI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal, <sup>2</sup>Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Pirassununga,

<sup>3</sup>Instituto de Biociências, <sup>3</sup>Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu.

Contato: lucas.scarpim@unesp.br / Apresentador: LUCAS B. SCARPIM

**Resumo:** Este estudo avaliou o balanço de compostos de Maillard (CM) e aminas biogênicas (AB) em cães alimentados com dietas contendo farinha de vísceras de frango convencional (FVF) ou hidrolisada (FVH), extrusadas sob dois níveis de energia mecânica específica (EME), e suas correlações com a síntese proteica (SP) e eficiência de utilização proteica (EFU). Elevada EME e inclusão de FVH elevaram a formação de CM ( $303 \pm 8$  vs  $2.171 \pm 31$  mg/kg;  $P < 0,01$ ), com aumento da ingestão e das concentrações plasmáticas de hidroximetilfurfural (HMF) e lisina-alanina ( $P < 0,05$ ). O HMF foi predominantemente excretado na urina ( $46 \pm 1\%$ ), com retenção de  $43 \pm 2\%$ , e correlacionou-se negativamente com a SP e a EFU ( $P < 0,05$ ). A inclusão de FVH elevou as concentrações dietéticas ( $114,5 \pm 1,4$  vs  $259,6 \pm 3,1$  vs  $379,6 \pm 4,8$  mg/kg) e a ingestão de AB ( $P < 0,01$ ), sem alterar sua excreção fecal ( $P > 0,05$ ). O balanço foi negativo para putrescina e positivo para as demais AB, com a serotonina passando de um balanço negativo para positivo nas dietas com FVH ( $P < 0,01$ ). A ingestão de AB apresentou correlação positiva com a SP e a EFU ( $p = 0,77$  e  $p = 0,64$ ;  $P < 0,05$ ), cujos valores foram maiores na dieta com FVH sob EME controlada ( $P < 0,05$ ). Assim, as AB não constituem, isoladamente, indicadores fisiológicos de baixa EFU, síntese ou qualidade proteica.

**Palavras-Chaves:** Hidroximetilfurfural; serotonina; turnover proteico; 13C-Fenilalanina.

## INFLUENCE OF MAILLARD COMPOUNDS AND BIOGENIC AMINES ON PROTEIN SYNTHESIS AND UTILIZATION EFFICIENCY IN DOGS

**Abstract:** This study evaluated the balance of Maillard compounds (MC) and biogenic amines (BA) in dogs fed diets containing conventional poultry by-product meal (PBM) and hydrolyzed poultry by-product meal (HPM), extruded under two levels of specific mechanical energy (SME), and their correlations with protein synthesis (PS) and protein utilization efficiency (PUE). High SME and the inclusion of HPM increased MC formation ( $303 \pm 8$  vs  $2171 \pm 31$  mg/kg;  $P < 0.01$ ), with higher intake and plasma concentrations of hydroxymethylfurfural (HMF) and lysine-alanine ( $P < 0.05$ ). HMF was predominantly excreted in urine ( $46 \pm 1\%$ ), with a retention of  $43 \pm 2\%$ , and was negatively correlated with PS and PUE ( $P < 0.05$ ). The inclusion of HPM increased dietary concentrations ( $114.5 \pm 1.4$  vs  $259.6 \pm 3.1$  vs  $379.6 \pm 4.8$  mg/kg) and intake of BA ( $P < 0.01$ ), without affecting its fecal excretion ( $P > 0.05$ ). The balance was negative for putrescine and positive for the others BA, with serotonin shifting from negative to positive balance in HPM diets ( $P < 0.01$ ). BA showed a positive correlation with PS and PUE ( $p = 0.77$  and  $p = 0.64$ ;  $P < 0.05$ ), with higher values observed in the HPM diet under controlled SME ( $P < 0.05$ ). Thus, BA are not, by themselves, reliable indicators of low PUE, PS, or protein quality.

**Keywords:** Hydroxymethylfurfural; protein turnover; serotonin; 13C-Phenylalanine.

**Introdução:** Diversos fatores podem afetar a eficiência de utilização da proteína (EFU) de um alimento e as taxas de síntese proteica (SP) em cães. Dentre estes destacam-se as aminas biogênicas (AB), tradicionalmente associadas a matérias-primas de menor qualidade e a processos putrefativos (Ladero et al., 2010), e os compostos de Maillard (CM), relacionados a processamento térmico excessivo (Scarpim et al., 2025). Neste contexto, destaca-se o hidroximetilfurfural (HMF), que, além de indicar degradação nutricional da proteína, está associado a potenciais efeitos hepatotóxicos, mutagênicos e genotóxicos (Capuano et al., 2011; Oba et al., 2022). Apesar de estudados de forma isolada nos alimentos, ainda há escassez de informações sobre suas correlações com o metabolismo proteico em cães. Assim, objetivou-se avaliar o balanço de CM e AB em cães alimentados com dietas extrusadas contendo farinha de vísceras de frango convencional (FVF) ou hidrolisada (FVH), bem como suas correlações com a SP e a EFU.

**Material e Métodos:** Uma dieta à base de FVF foi formulada e três níveis de substituição por FVH (0, 50 e 100%) foram avaliados em dietas extrusadas sob dois níveis de energia mecânica específica (EME): controlada (10 kWh/t; temperatura da massa de 100 °C) e alta (25 kWh/t; 150 °C), totalizando seis tratamentos experimentais. Os CM (furosina, lisina-alanina, carboximetil lisina e hidroximetilfurfural [HMF]) foram avaliados nas rações, fezes, urina e plasma de cães (Oba et al., 2022) e as AB (putrescina, cadaverina, histamina, serotonina, espermidina e espermina) nas rações e fezes para estimar ingestão, excreção e retenção metabólica. Estes parâmetros foram avaliados em 48 cães ( $14,9 \pm 1,1$  kg;  $4,8 \pm 2,0$  anos) em um delineamento em blocos casualizados ( $n = 8$  por tratamento). Nas dietas 100% FVF e 100% FVH, sob ambas as EME, aplicou-se o método de oxidação indireta de aminoácido indicador utilizando <sup>13</sup>C-Fenilalanina como traçador, para estimar as taxas de SP (Pacheco et al., 2024) e a EFU (Bender et al., 1957). Para isso, utilizou-se o método de diluição com dieta com baixa proteína, obtendo-se seis níveis de proteína bruta (NPB; 6, 8, 10, 12, 14 e 16% na matéria seca) para cada tratamento, totalizando 24 dietas (4 tratamentos  $\times$  6 níveis). Cada dieta foi avaliada em seis cães adaptados ao uso de máscaras de respirometria. As correlações entre CM e AB com a SP e EFU foram avaliadas por regressão polinomial ( $P < 0,05$ ) e correlação de Spearman ( $p$ ; Al-Hameed et al., 2002). O balanço de CM e AB foram avaliados em um esquema fatorial, submetidos a ANOVA e contrastes polinomiais ( $P < 0,05$ ).

**Resultado e Discussão:** A alta EME e a inclusão de FVH elevaram a formação de HMF ( $303\pm8$  vs  $2.171\pm31$  mg/kg;  $P<0,01$ ). Sua ingestão acompanhou a concentração dietética, e resultou em aumento de HMF e lisina-alanina plasmáticos ( $P<0,05$ ). O HMF foi excretado principalmente na urina ( $46\pm1\%$ ;  $P<0,01$ ), indicando absorção intestinal (Henares et al., 2009), enquanto a retenção corporal média foi de  $43\pm2\%$  ( $P<0,01$ ). Em humanos, ingestões de HMF superiores a  $22,3$  mg/kg<sup>0,75</sup> são apontadas como hepatotóxicas e mutagênicas (Capuano et al., 2011). Neste estudo, a ingestão nas dietas alta EME excedeu esse limiar ( $47,9\pm15$  mg/kg<sup>0,75</sup>). A ingestão de HMF apresentou também correlação negativa com a SP e EFU dos cães (Tabela 1;  $P<0,05$ ). A inclusão de FVH elevou as concentrações de AB nas dietas ( $114,5\pm1$  vs  $259,6\pm3$  vs  $379,6\pm5$  mg/kg;  $P<0,01$ ), resultando em maior ingestão ( $P<0,01$ ) pelos cães. Cerca de  $60\pm1\%$  do total das AB nas dietas correspondeu à soma de espermina e espermidina, mantendo o índice de AB  $<1$ , evidenciando frescor e a importância da análise completa do perfil de AB (Wójcik et al., 2021). Seu balanço foi negativo para putrescina e positivo para as demais AB ( $P<0,05$ ), sugerindo síntese intestinal, sem efeito de excreção fecal ( $P>0,05$ ). A serotonina passou de um balanço negativo para positivo ( $-0,10\pm0,01$  vs  $0,21\pm0,03$  mg/kg<sup>0,75</sup>) nas dietas com FVH ( $P<0,01$ ), sugerindo possíveis efeitos fisiológicos benéficos ligados ao eixo intestino-cérebro (Shine et al., 2022). As AB apresentaram correlação positiva com a SP e a EFU (Tabela 2;  $P<0,05$ ), com maiores valores de SP e EFU ( $P<0,05$ ) na dieta com FVH sob EME controlada.

Tabela 1. Correlação entre ingestão de hidroximetilfurfural e síntese proteica e eficiência de utilização da proteína em cães.

| Tratamentos <sup>5</sup> | 6% <sup>1</sup>  |                 |                  | 8%   |       |       | 10%  |       |       | 12%         |       |       | 14%  |       |       | 16%  |       |       |
|--------------------------|------------------|-----------------|------------------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|
|                          | HMF <sup>2</sup> | SP <sup>3</sup> | EFU <sup>4</sup> | HMF  | SP    | EFU   | HMF  | SP    | EFU   | HMF         | SP    | EFU   | HMF  | SP    | EFU   | HMF  | SP    | EFU   |
| FVF controlada EME       | 6,8              | 0,9             | 48,4             | 7,4  | 2,4   | 91,2  | 8,2  | 2,7   | 82,1  | 8,9         | 3,0   | 76,2  | 9,5  | 3,3   | 73,2  | 10,3 | 3,0   | 61,7  |
| FVH controlada EME       | 6,8              | 0,9             | 51,0             | 7,5  | 2,8   | 93,3  | 8,2  | 3,2   | 92,1  | 8,8         | 3,4   | 89,4  | 9,6  | 3,4   | 78,8  | 10,4 | 3,3   | 67,2  |
| FVF alta EME             | 7,1              | 0,8             | 43,3             | 10,9 | 1,4   | 58,8  | 14,6 | 2,0   | 64,2  | 18,3        | 2,6   | 70,9  | 22,1 | 2,6   | 61,3  | 25,8 | 2,6   | 53,3  |
| FVH alta EME             | 7,5              | 0,8             | 40,6             | 15,3 | 1,3   | 52,4  | 23,1 | 1,8   | 59,3  | 30,9        | 2,3   | 63,0  | 38,7 | 2,5   | 57,4  | 46,5 | 2,4   | 49,5  |
| Correlação por nível     | -0,53            | -0,64           |                  |      | -0,80 | -0,82 |      | -0,61 | -0,76 |             | -0,62 | -0,68 |      | -0,74 | -0,56 |      | -0,77 | -0,71 |
| P-valor                  | <0,05            |                 |                  |      |       |       |      |       |       |             |       |       |      |       |       |      |       |       |
| Correlação geral         | SP = -0,63       |                 |                  |      |       |       |      |       |       | EFU = -0,58 |       |       |      |       |       |      |       |       |
| P-valor                  | <0,001           |                 |                  |      |       |       |      |       |       |             |       |       |      |       |       |      |       |       |

Tabela 2. Correlação entre ingestão de aminas biogênicas e síntese proteica e eficiência de utilização da proteína em cães.

| Tratamentos <sup>5</sup> | 6% <sup>1</sup> |                 |                  | 8%  |      |      | 10% |      |      | 12%        |      |      | 14% |      |      | 16% |      |      |
|--------------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----|------|------|-----|------|------|------------|------|------|-----|------|------|-----|------|------|
|                          | IA <sup>6</sup> | SP <sup>3</sup> | EFU <sup>4</sup> | IA  | SP   | EFU  | IA  | SP   | EFU  | IA         | SP   | EFU  | IA  | SP   | EFU  | IA  | SP   | EFU  |
| FVF controlada EME       | 1,3             | 0,9             | 48,4             | 1,5 | 2,4  | 91,2 | 1,7 | 2,7  | 82,1 | 2,0        | 3,0  | 76,2 | 2,2 | 3,3  | 73,2 | 2,4 | 3,0  | 61,7 |
| FVH controlada EME       | 1,4             | 0,9             | 51,0             | 2,4 | 2,8  | 93,3 | 3,3 | 3,2  | 92,1 | 4,3        | 3,4  | 89,4 | 5,3 | 3,4  | 78,8 | 6,2 | 3,3  | 67,2 |
| FVF alta EME             | 1,3             | 0,8             | 43,3             | 1,5 | 1,4  | 58,8 | 1,7 | 2,0  | 64,2 | 2,0        | 2,6  | 70,9 | 2,2 | 2,6  | 61,3 | 2,4 | 2,6  | 53,3 |
| FVH alta EME             | 1,4             | 0,8             | 40,6             | 2,4 | 1,3  | 52,4 | 3,3 | 1,8  | 59,3 | 4,3        | 2,3  | 63,0 | 5,3 | 2,5  | 57,4 | 6,2 | 2,4  | 49,5 |
| Correlação por nível     |                 | 0,23            | 0,22             |     | 0,10 | 0,11 |     | 0,18 | 0,23 |            | 0,13 | 0,18 |     | 0,12 | 0,11 |     | 0,17 | 0,22 |
| P-valor                  | <0,05           |                 |                  |     |      |      |     |      |      |            |      |      |     |      |      |     |      |      |
| Correlação geral         | SP = 0,77       |                 |                  |     |      |      |     |      |      | EFU = 0,64 |      |      |     |      |      |     |      |      |
| P-valor                  | <0,001          |                 |                  |     |      |      |     |      |      |            |      |      |     |      |      |     |      |      |

1 - Níveis proteicos (%); 2 - Ingestão de hidroximetilfurfural (mg/kg<sup>0,75</sup>); 3 - Síntese proteica (g/kg<sup>0,75</sup>); 4 - Eficiência de utilização proteica (%); 5 - Farinha de vísceras de frango convencional (FVF) ou hidrolisada (FVH) extrusadas em controlada ou alta energia mecânica específica; 6 - Ingestão de aminas biogênicas (mg/kg<sup>0,75</sup>)

**Conclusão:** Elevada EME e inclusão de FVH aumentaram a formação, ingestão e retenção de HMF, correlacionando-se negativamente com a SP e a EFU. Embora a inclusão de FVH tenha elevado a concentração de AB nas dietas e sua ingestão, estas não comprometeram a SP e a EFU dos cães. Assim, elevadas concentrações ou ingestões de AB não constituem, isoladamente, indicadores fisiológicos de baixa qualidade proteica.

**Agradecimentos:** A MBRF Ingredientes pelo financiamento desta pesquisa. A MBRF pelo suporte ao Laboratório de Pesquisa em Nutrição e Doenças Nutricionais de Cães e Gatos e a Manzoni Industrial Ltda pela doação da extrusora.

**Referências Bibliográficas:** ALI ABD AL-HAMEED, K. Spearman's correlation coefficient in statistical analysis. International Journal of Nonlinear Analysis and Applications, 13(1), 3249-3255, 2022. BENDER, AE et al. Biological evaluation of proteins: a new aspect. British Journal of Nutrition, 11(2), 140-148, 1957. CAPUANO, E et al. Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): A review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. LWT-food science and technology, 44(4), 793-810, 2011. LADERO, V et al. Toxicological effects of dietary biogenic amines. Current Nutrition & Food Science 6(2):145-156, 2010. OBA, PM et al. Nutrient and Maillard reaction product concentrations of commercially available pet foods and treats. Journal of animal science 100(11), 2022. PACHECO, LG et al. Comparison of the precursor, amino acid oxidation, and end-product methods for the evaluation of protein turnover in senior dogs. Plos One, 19(6), e0305073, 2024. SCARPIM, LB et al. Extrusão e hidrólise na formação de compostos de Maillard e disponibilidade metabólica da proteína da farinha de vísceras de aves em cães. XXIV Congresso CBNA PET, 2025. SHINE, JM et al. Understanding the effects of serotonin in the brain through its role in the gastrointestinal tract. Brain, 145(9), 2967-2981, 2022.