

IMPACTO DOS MÉTODOS DE ABATE E SECAGEM NO ESCURECIMENTO ENZIMÁTICO E NÃO ENZIMÁTICO DE LARVAS DE *Ceratitis capitata*

KAROLINE DA SILVA NODA¹; NATASHA SPINDOLA MARASCA²; VILÁSIA GUIMARÃES MARTINS³

¹Universidade Federal do Rio Grande – karol.noda1910@gmail.com

² Universidade Federal do Rio Grande – natasha.spindola@hotmail.com

³Universidade Federal do Rio Grande – vilasiamartins@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial impõe desafios à segurança alimentar, principalmente quanto à oferta de proteínas de qualidade. Nesse cenário, os insetos comestíveis surgem como alternativa sustentável e nutritiva, destacando-se pelo alto valor proteico e pela presença de lipídios, fibras, vitaminas e minerais, além de apresentarem menor impacto ambiental em comparação às proteínas convencionais (HAWKEY *et al.*, 2020; VAN HUIS *et al.*, 2023; SMETANA *et al.*, 2023).

Apesar do potencial, a aceitação de insetos em países ocidentais ainda enfrenta barreiras culturais. As pesquisas têm se concentrado no comportamento do consumidor e em estratégias de aceitação, como a incorporação em produtos amplamente consumidos, têm se mostrado eficazes em aumentar a adesão a essa matéria-prima (ANUSHA SIDDIQUI *et al.*, 2023; ERHARD *et al.*, 2023).

Entre as espécies estudadas, a *Ceratitis capitata*, conhecida como mosca-do-Mediterrâneo, historicamente considerada praga agrícola, vem ganhando interesse devido ao seu potencial de aproveitamento alimentar. Suas larvas, que se desenvolvem em frutas e alimentam-se de tecidos vegetais, apresentam sabor mais neutro em relação a outras espécies, o que favorece sua aplicação em formulações alimentícias (CARTAXO *et al.*, 2022).

Para viabilizar sua utilização em alimentos, é fundamental compreender como as etapas de processamento, como abate e secagem, influenciam suas características nutricionais, tecnológicas e sensoriais (LENI, CALIGIANI e SFORZA, 2019). Diante disto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o impacto dos diferentes métodos de abate e secagem frente ao escurecimento enzimático e não enzimático em larvas de *Ceratitis capitata*.

2. METODOLOGIA

As larvas vivas da *Ceratitis capitata* foram fornecidas pela empresa Nui Insect Science (Pelotas, Brasil), devidamente certificada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Tecnologia de Alimentos (LTA) da Escola de Química e Alimentos (EQA) da Universidade Federal do Rio Grande (FURG).

As larvas foram abatidas de acordo com metodologias adaptadas (SINGH *et al.*, 2020; VANDEWEYER *et al.*, 2017a; ZHANG *et al.*, 2022), definindo o momento exato do abate por visualização direta, até a ausência de movimento. As larvas de *Ceratitis capitata* foram submetidas a cinco métodos de abate: congelamento (-20 °C), ultracongelamento (-80 °C), micro-ondas (2450 MHz/1300 W), branqueamento

(imersão em água fervente seguida de banho de gelo) e decocção (imersão direta em água fervente).

Após o abate, as larvas foram secas por dois métodos: (i) estufa com circulação de ar forçado ($45^{\circ}\text{C}/24\text{ h}$) e (ii) liofilização ($-60^{\circ}\text{C}/48\text{ h}$). Em seguida, as amostras foram trituradas e armazenadas a -18°C até as análises.

Para avaliar o escurecimento enzimático, a atividade da tirosinase em *Ceratitis capitata* foi determinada conforme Zhen et al. (2020), com adaptações. As amostras foram homogeneizadas em tampão fosfato (pH 6,0), centrifugadas e o sobrenadante utilizado na reação com L-DOPA. A formação de dopacromo foi monitorada a 475 nm e a atividade enzimática expressa em unidades (U), considerando a conversão de 10 μmol de L-DOPA por minuto.

O escurecimento não enzimático, foi avaliado conforme Hwang et al. (2001), com adaptações. Amostras foram homogeneizadas em solução de $\text{CaCl}_2/\text{Tris-HCl}$ (pH 7,0), centrifugadas e o sobrenadante analisado por absorbância a 440 e 550 nm.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cor é um atributo sensorial determinante na aceitação de alimentos, especialmente quando se trata de produtos não convencionais, como os insetos comestíveis. As alterações de cor podem ocorrer por dois mecanismos principais: o escurecimento enzimático, decorrente da ação de enzimas oxidativas como a polifenoloxidase, e o escurecimento não enzimático, associado a reações químicas, como a de Maillard e a caramelização, ambas favorecidas pelo calor. No caso das larvas de *Ceratitis capitata*, que apresentam coloração naturalmente clara, variações significativas podem ser observadas de acordo com os métodos de abate e secagem empregados, como ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Aspecto visual de larvas de *Ceratitis capitata* tratadas por diferentes métodos de abate e secagem.



Fonte: As Autoras.

Conforme os resultados apresentados na Tabela 1, a secagem em estufa a 45°C apresentou valores significativamente mais elevados de escurecimento não enzimático em relação à liofilização. Esse comportamento está associado às altas temperaturas da estufa, que favorecem reações térmicas como a de Maillard e a caramelização, responsáveis pela formação de pigmentos escurecedores. Em contraste, a liofilização, conduzida sob baixas temperaturas e vácuo, reduziu de forma expressiva esse tipo de escurecimento, uma vez que limita tanto a

disponibilidade de calor quanto de oxigênio, condições essenciais para a ocorrência dessas reações (SAUCIER *et al.*, 2020).

Tabela 1 – Comparação do escurecimento enzimático e não enzimático em larvas de *Ceratitis capitata* tratadas por diferentes métodos de abate e secagem.

Método de secagem	Método de abate	Escurecimento enzimático ($\mu\text{mol/min}$)	Escurecimento não enzimático
Estufa a 45 °C	Congelamento	0,023 ^c ± 0,003	6,916 ^a ± 0,079
	Ultracongelamento	0,025 ^c ± 0,000	6,434 ^b ± 0,103
	Micro-ondas	0,006 ^c ± 0,000	1,384 ^e ± 0,088
	Branqueamento	0,005 ^c ± 0,004	1,420 ^e ± 0,095
	Decocção	0,006 ^c ± 0,002	1,325 ^e ± 0,376
Liofilização	Congelamento	0,225 ^a ± 0,021	2,526 ^c ± 0,193
	Ultracongelamento	0,385 ^b ± 0,022	2,202 ^{cd} ± 0,085
	Micro-ondas	0,007 ^c ± 0,000	1,807 ^{de} ± 0,124
	Branqueamento	0,016 ^c ± 0,000	1,426 ^e ± 0,078
	Decocção	0,011 ^c ± 0,001	1,777 ^e ± 0,076

Média de três valores com desvio padrão; letras iguais na coluna indicam que não houve diferenças significativas entre as médias, de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Quanto aos métodos de abate, os maiores índices de escurecimento não enzimático foram observados nas amostras abatidas por congelamento e ultracongelamento, principalmente quando submetidas à secagem em estufa. Essa tendência pode ser explicada pela preservação da atividade enzimática em temperaturas mais baixas, já que enzimas oxidativas como a polifenoloxidase permanecem ativas por mais tempo nessas condições. Essa hipótese é reforçada pelos altos valores de escurecimento enzimático observados em amostras congeladas e posteriormente submetidas à liofilização, quando comparadas aos demais métodos.

Por outro lado, os métodos de abate por micro-ondas, branqueamento e decocção apresentaram valores mais baixos de escurecimento enzimático e também baixos índices de escurecimento não enzimático. Isso ocorre porque esses métodos utilizam calor intenso por curtos períodos, o que garante uma inativação térmica mais eficiente das enzimas oxidativas logo após o abate, além de limitar a formação de pigmentos oriundos de reações não enzimáticas (SINGH *et al.*, 2020).

Assim, os resultados indicam que o escurecimento enzimático e não enzimático depende das combinações de abate e secagem. Enquanto o congelamento com liofilização reduz o escurecimento não enzimático, mas mantém o enzimático, os métodos térmicos rápidos preservam melhor a cor ao inativar enzimas e limitar reações não enzimáticas.

4. CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram que os métodos de secagem e abate influenciam diretamente o escurecimento enzimático e não enzimático das larvas de *Ceratitis capitata*. A secagem em estufa intensificou o escurecimento não enzimático, enquanto a liofilização reduziu esse efeito. Métodos térmicos rápidos, como micro-ondas, branqueamento e decocção, mostraram-se mais eficazes na preservação da cor por inativarem enzimas e limitarem reações de escurecimento.

Este estudo destaca a importância da escolha adequada das etapas de processamento para garantir a qualidade visual desse ingrediente alternativo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARTAXO, P. H. de A.; LOPES-MIELEZRSKI , G. N.; SANTOS, J. P. de O.; GONZAGA, K. S.; ARAÚJO, J. R. E. S.; BATISTA, J. de L. Artificial Diets for Rearing of *Ceratitis capitata* (Wiedemann 1824) (Diptera: Tephritidae). **Comunicata Scientiae**, [S. I.], v. 13, p. e3855, 2022.
- HAWKEY, K.; LOPEZ-VISO, C.; BRAMELD, J.; PARR, T.; SALTER, A. Insetos: Uma Fonte Potencial de Proteína e Outros Nutrientes para Rações e Alimentos. **Revisão Anual de Biociências Animais**, v. 9, p. 333-354, 2020.
- HWANG, J-Y.; SHUE, Y-S.; CHANG, H-M. Antioxidative activity of roasted and defatted peanut kernels. **Food Research International**, v. 34, n. 7, p. 639–647, 2001.
- SAUCIER, L.; M'BALLOU, C.; RATTI, C.; DESCHAMPS, M. H.; LEBEUF, Y.; VANDENBERG, G. W. Comparison of black soldier fly larvae pre-treatments and drying techniques on the microbial load and physico-chemical characteristics. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 8, n. 1, p. 45–64, 2020.
- SINGH, Y.; CULLERE, M.; KOVITVADHI, A.; CHUNDANG, P.; DALLE ZOTTE, A. Effect of different killing methods on physicochemical traits, nutritional characteristics, in vitro human digestibility and oxidative stability during storage of the house cricket (*Acheta domesticus* L.). **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 65, n. April, 2020.
- SMETANA, S.; BHATIA, A.; BATTA, U.; MOUHRIM, N.; TONDA, A. Environmental impact potential of insect production chains for food and feed in Europe. **Animal Frontiers**, v.13, p.112–120, 2023.
- VANDEWEYER, D.; LENAERTS, S.; CALLENS, A.; CAMPENHOUT, L. VAN. Effect of blanching followed by refrigerated storage or industrial microwave drying on the microbial load of yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*). **Food Control**, v. 71, p. 311–314, 2017a.
- VAN HUIS, A.; RUMPOLD, B. Strategies to convince consumers to eat insects? A review. **Food Quality and Preference**, v. 110, p. 104927, 2023.
- ZHANG, F.; XU, Y.; KONG, B.; CHEN, Q.; SUN, F.; ZHANG, H.; LIU, Q. Comparative study of two types of pre-extraction treatment (drying or non-drying) on physicochemical, structural and functional properties of extracted insect proteins from *Tenebrio molitor* larvae. **Current Research in Food Science**, v. 5, p. 1570–1580, 2022.
- ZHEN, Y. K.; CHUNDANG, P.; ZHANG, Y.; WANG, M. Z.; VONGSANGNAK, W.; PRUKSAKORN, C.; KOVITVADHI, A. Impacts of Killing Process on the Nutrient Content, Product Stability and In Vitro Digestibility of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Meals. **Applied sciences**, v. 10, n. 17, 2020.