



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**  
**FACULDADE DE FARMÁCIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS**

**EDNA SANTANA DE SENA**

**ELABORAÇÃO DE PÃES E MACARRÃO ENRIQUECIDOS  
COM FARINHA DESENGORDURADA DE LARVAS DE  
MOSCA SOLDADO NEGRA (*Hermetia illucens*)**

**UFBA**

SALVADOR

2025



**EDNA SANTANA DE SENA**

**ELABORAÇÃO DE PÃES E MACARRÃO ENRIQUECIDOS  
COM FARINHA DESENGORDURADA DE LARVAS DE  
MOSCA SOLDADO NEGRA (*Hermetia illucens*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos (PGAl) da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência de Alimentos.

Prof. Dr. Cláudio Vaz Di Mambro Ribeiro

*Orientador*

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Liz Oliveira dos Santos

*Coorientador*

SALVADOR

2025

**EDNA SANTANA DE SENA**

**ELABORAÇÃO DE PÃES E MACARRÃO ENRIQUECIDOS  
COM FARINHA DESENGORDURADA DE LARVAS DE  
MOSCA SOLDADO NEGRA (*Hermetia illucens*)**

A Comissão Julgadora dos trabalhos de defesa de Dissertação de Mestrado da candidata **Edna Santana de Sena**, em sessão pública realizada em **18/03/2025**.

---

**Prof. Dr. Cláudio Vaz Di Mambro Ribeiro (Orientador)**

Faculdade de Farmácia  
Universidade Federal da Bahia (UFBA, Salvador, BA)

---

**Marcos de Almeida Bezerra (Membro externo)**

Faculdade de Formação de Professores  
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB, Jequié, BA)

---

**Carolina Oliveira de Souza (Membro interno)**

Faculdade de Farmácia  
Universidade Federal da Bahia (UFBA, Salvador, BA)

Salvador, 18 de Março de 2025.

*À Deus, por permitir que este sonho se tornasse realidade.  
Ao meu esposo, minha mãe e meu pai, por estarem sempre  
ao meu lado e me apoiarem nessa caminhada.*

*Dedico!*

## AGRADECIMENTOS

*A Deus, por ser a razão de tudo! Pela força, sabedoria e por ser meu pastor nesta jornada. Iluminando meu caminho com alegria nos momentos difíceis até a conclusão deste mestrado.*

*Ao meu amor, Victor Ferreira, por ser meu apoio, meu abrigo e meu maior incentivador. Você é meu ponto de paz em meio à correria. Eu te amo!*

*Aos meus pais, Eduardo Chabí e Antônia Sena, pelo amor incondicional, pelo apoio em cada passo e por sempre acreditarem em mim. Eu amo vocês!*

*Ao meu orientador, professor Cláudio Ribeiro, por me orientar, cobrar e incentivar a sempre buscar o melhor. Sua confiança foi essencial, e sua orientação, a resposta às minhas orações.*

*À minha coorientadora, professora Liz Oliveira, por me acompanhar desde a graduação, inspirar e incentivar continuamente. Sua dedicação e exemplo são inestimáveis.*

*Ao professor Renato Cruz, por compartilhar seus conhecimentos sobre panificação e por sua paciência. Sua generosidade e seus ensinamentos foram fundamentais para meu crescimento profissional.*

*A todos os professores, pelos ensinamentos, e, em especial, a Jéssica Ribeiro, Mariana Souza, Samantha Costa e Uillian Cerqueira, minha profunda gratidão por toda a ajuda e apoio ao longo dessa trajetória.*

*Aos meus tios, João Batista e Claudete Bispo, por me receberem em sua casa e me auxiliarem durante esse período em Salvador.*

*À minha família, pelo amor, pelos ensinamentos e por sempre acreditarem em mim. Vocês são importantes para mim.*

*À minha amiga Michele Gomes, companheira desde a graduação, por me ouvir, me ajudar nas análises e estar sempre presente. Sua amizade foi essencial nesse momento.*

*Aos amigos do laboratório LABPAN, Sthefane Pires, Laís Maciel, Jade Silva, Weza Kapitango-A-Samba e Ivo Henrique, que tornaram esses anos mais leves e sempre estenderam a mão quando precisei. Vocês são incríveis!*

*Às minhas amigas Sabrina Gabriela e Emanoele Lima, por estarem sempre presentes, mesmo à distância, e por sempre torcerem por mim. Vocês são maravilhosas! Amo vocês!*

*À coordenação do PGAlí, professor Ederlan e professora Carolina, por todo o suporte em um momento atípico do meu mestrado. Vocês foram excepcionais!*

*Ao professor Rech e sua equipe, em especial Alex e Iuri, do laboratório de nutrição animal da UESB, por toda a ajuda e apoio em algumas análises.*

*À Solane Rocha, por me acolher em sua casa, em Itapetinga, e pelos ensinamentos. Minha gratidão do fundo do coração.*

*A Robson e Vanessa, pela atenção e por toda ajuda oferecida.*

*Às meninas do laboratório de Bromatologia da UFBA, Dona Maria, Luciane e Raimunda, por todo carinho e amizade durante todos esses anos.*

*À Sarah, do laboratório LEPETRO, por me acolher e orientar durante o tempo que passei por lá. Você sempre foi maravilhosa e prestativa.*

*Às universidades UFBA, UFRB, UEFS e UESB, pelo acesso às instalações para o desenvolvimento deste trabalho.*

*À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida (nº do processo: 88887.494091/2020-00).*

*"Porque para Deus nada é impossível"*

*Lucas 1:37*

Muito obrigada!

*“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder o entusiasmo.”*

*– Winston Churchill*

## RESUMO

A crescente demanda por alimentos nutritivos e sustentáveis tem impulsionado a busca por fontes alternativas de proteína. Diante disso, este estudo avaliou a incorporação de farinha desengordurada de larvas de mosca soldado negra (BSF) em pães e macarrão, analisando seus impactos nutricionais e tecnológicos. Para tanto, foi desenvolvida uma formulação de pão de forma, na qual utilizou-se um planejamento de misturas centróide de 7 pontos com restrição, variando margarina (8-28%), água (50-70%) e farinha de BSF (0-20%). A incorporação de 6,7% de farinha de BSF na formulação reduziu os teores de umidade e a atividade de água do produto, contribuindo para uma maior estabilidade microbiológica e prolongamento da vida útil. Entretanto, tal adição provocou alterações cromáticas e estruturais, culminando em um pão com coloração mais escura e modificações na textura da matriz. Com intuito de sanar esse percalço, uma formulação para um pão tipo australiano, foi desenvolvido com o planejamento de misturas centróide de 7 pontos com restrição, foram ajustadas as variáveis de farinha de BSF (0-10%), cacau (2-12%) e margarina (8-18%), aproveitando sua coloração naturalmente escura e sabor adocicado para mascarar características sensoriais indesejáveis da farinha de inseto. O pão tipo australiano enriquecido com 10% de farinha de BSF apresentou teor proteico de até 9,87%, lipídios entre 6,82% e 8,90%, e cinzas entre 2,14% e 2,74%, destacando maior valor nutricional. A umidade variou de 31,37% a 36,26%, com firmeza entre 949,14 g e 1568,5 g, e volume entre 182,79 mL e 265,92 mL, indicando boa expansão. A atividade de água ( $A_w$ ) variou de 0,873 a 0,912, e a coloração apresentou uma luminosidade ( $L^*$ ) entre 32,25 e 49,39, indicando variações na intensidade da cor escura, enquanto os valores de  $a^*$  e  $b^*$  indicaram mudanças no tom avermelhado e amarelado, respectivamente. Um terceiro produto foi desenvolvido, a adição de diferentes percentuais de farinha de larvas de BSF na farinha de sêmola durum com tratamentos de (11,75% à 31,76%), elevando o teor de proteínas até 21,62%. O tempo de cozimento, reduziu de 7 minutos para 5 minutos, mas a textura se tornou mais quebradiça em 31,76%. A absorção de água aumentou, e a perda de sólidos foi inferior a 6%, indicando boa retenção estrutural. Os resultados mostram um potencial da farinha de *BSF* no desenvolvimento de produtos da panificação, contribuindo para a diversificação proteica sem comprometer as características tecnológicas dos produtos até determinados níveis de inclusão.

**Palavras-chave:** *Planejamento de misturas; Fortificação de alimentos; Fontes alternativas de proteína.*

## ABSTRACT

The growing demand for nutritious and sustainable foods has driven the search for alternative protein sources. In this context, this study evaluated the incorporation of defatted black soldier fly (BSF) larva flour in bread and pasta, analyzing its nutritional and technological impacts. To this end, a loaf bread formulation was developed using a 7-point centroid mixture design with constraints, varying margarine (8-28%), water (50-70%), and BSF flour (0-20%). The incorporation of 6.7% BSF flour in the formulation reduced the moisture content and water activity of the product, contributing to greater microbiological stability and extended shelf life. However, this addition caused chromatic and structural alterations, resulting in a darker-colored bread with modifications in the texture of the matrix. To address this issue, an Australian-style bread formulation was developed using a 7-point centroid mixture design with constraints, adjusting the variables of BSF flour (0-10%), cocoa (2-12%), and margarine (8-18%), leveraging its naturally dark color and sweet flavor to mask undesirable sensory characteristics of insect flour. The Australian-style bread enriched with 10% BSF flour presented a protein content of up to 9.87%, lipids between 6.82% and 8.90%, and ash between 2.14% and 2.74%, highlighting its higher nutritional value. Moisture content ranged from 31.37% to 36.26%, with firmness between 949.14 g and 1568.5 g and volume between 182.79 mL and 265.92 mL, indicating good expansion. Water activity ( $A_w$ ) varied from 0.873 to 0.912, and color analysis showed luminosity ( $L^*$ ) values between 32.25 and 49.39, indicating variations in dark color intensity, while  $a^*$  and  $b^*$  values showed changes in reddish and yellowish tones, respectively. A third product was developed, incorporating different percentages of BSF larva flour into durum semolina flour, with treatments ranging from 11.75% to 31.76%, increasing the protein content to up to 21.62%. The cooking time decreased from 7 minutes to 5 minutes, but the texture became more brittle at 31.76% inclusion. Water absorption increased, and solid loss was below 6%, indicating good structural retention. The results highlight the potential of BSF flour in the development of bakery products, contributing to protein diversification without compromising the technological characteristics of the products up to certain inclusion levels.

**Keywords:** *Mixture design; Food fortification; Alternative protein sources.*

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ciclo de vida da mosca soldado negra (BSF).....	17
<b>Figura 2.</b> Imagens de produtos à base de insetos comestíveis disponíveis no mercado alimentício. ....	20
<b>Figura 3.</b> Aspectos nutricionais, tecnológicos e de consumo gerais de massas alimentícias enriquecidas com farinha de inseto. As setas para cima e para baixo indicam se o parâmetro aumentou ou diminuiu, respectivamente. ....	24
<b>Figura 4.</b> Modelo de caixa extratora utilizada na análise de cor por imagem digital da casca e do miolo dos pães. ....	35
<b>Figura 5.</b> Esquema representativo do processo de elaboração dos pães tipo australiano enriquecidos com farinha desengordurada de larvas de mosca soldado negra.....	36
<b>Figura 6.</b> Pães tipo australiano elaborados com adição da farinha desengordurada de larvas de mosca soldado negra, antes de serem assados. ....	36
<b>Figura 7.</b> Analisador de textura (TA-XT Plus, Stable Micro Systems) avaliando os efeitos reológicos e determinantes das concentrações ideais de farinha de larvas BSF para o enriquecimento de macarrão.....	38
<b>Figura 8.</b> Massa fresca extrusada (F) e massa cozida (G) com 11,75% (mínimo) de adição de farinha de larvas BSF. Massa fresca extrusada (H) e massa cozida (I) com 31,76% (máximo) de adição de farinha de larvas de BSF.....	39
<b>Figura 9.</b> Amostra do macarrão após calcinação em mufla a 550 °C por 6 horas. ....	41
<b>Figura 10.</b> Processo de extração de lipídios em aparelho soxhlet com éter de petróleo em amostra de macarrão. ....	42
<b>Figura 11.</b> Analisador de textura (TA-XT Plus, Stable Micro Systems) avaliando os efeitos de textura da massa alimentícia cozida no tempo ótimo de cozimento.....	43
<b>Figura 12.</b> Proveta com 110 mL de querosene adicionados a 25 g de macarrão seco para avaliação do deslocamento de volume. ....	44
<b>Figura 13.</b> Superfície de resposta para umidade (A) e perda de massa (B) dos pães desenvolvidos. ....	22
<b>Figura 14.</b> Pães desenvolvidos com farinha BSF, juntamente com um esquema representativo da caixa extratora utilizada para capturar imagens digitais da casca e do miolo dos pães.....	24
<b>Figura 15.</b> Gráfico Scores PC1 x PC2 e Dendograma do conjunto de espectros dos miolos (A) e cascas (B) dos pães de forma, com adição de farinha BSF nas concentrações: 1 - 20%, 2 - 0%, 3 - 0%, 4 - 10%, 5 - 10%, 6 - 0% e 7 - 6,7%. ....	25

<b>Figura 16.</b> Curva de nível e superfície de resposta para otimização de produção de margarina, água e farinha de larvas de BSF no desenvolvimento de pães. ....	27
<b>Figura 17.</b> Macarrões secos formulados com diferentes proporções de farinha desengordurada de larvas de BSF. ....	18
<b>Figura 18.</b> Gráfico com a curva de regressão para (A) resistência (RES) e (B) extensão (EXT) da massa com adição de farinha de larvas de mosca soldado negra (BSF). ....	23
<b>Figura 19.</b> Gráfico com a curva de regressão para (A) proteína (PROT) e (B) cinzas (CINZ) da massa com adição de farinha de larvas de mosca soldado negra (BSF). ....	25
<b>Figura 20.</b> Gráfico de regressão para o parâmetro de textura na firmeza da massa nos diferentes tratamentos, podendo observar uma diminuição inicial seguida de um aumento, com o ponto de inflexão da curva. ....	28
<b>Figura 21.</b> Gráfico de regressão sobre a força de cisalhamento dos macarrões desenvolvidos. ....	29
<b>Figura 22.</b> Gráfico de regressão para as variáveis de cor $L^*$ , $a^*$ e $b^*$ da massa crua. ....	31
<b>Figura 23.</b> Gráfico de regressão para as variáveis de cor $L^*$ , $a^*$ e $b^*$ da massa cozida. ....	32

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Exemplos de produtos alimentícios enriquecidos com farinha de inseto. ....	21
<b>Tabela 2.</b> Matriz de planejamento de misturas com restrições para otimização das formulações de pães de forma com farinha desengordurada de larvas de mosca soldado negra (*BSF). ....	18
<b>Tabela 3.</b> Teores de umidade, atividade de água (Aw) e perda de massa nos pães de forma incorporados com farinha desengordurada de larvas de mosca soldado negra (BSF). ....	23
<b>Tabela 4.</b> Composição centesimal e qualidade das massas secas enriquecidas com farinha desengordurada de larvas de mosca soldado negra em matéria natural. ....	24
<b>Tabela 5.</b> Valores de cor nas formulações de macarrão da massa crua e cozida.....	29

## Sumário

<b>RESUMO</b> .....	<b>8</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>9</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	<b>16</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1 Objetivo geral</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>14</b>
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>15</b>
<b>3.1. Insetos comestíveis na alimentação humana</b> .....	<b>15</b>
<i>3.1.1. Mosca soldado negra</i> .....	<i>16</i>
<b>3.2. Perfil nutricional de farinha de inseto</b> .....	<b>18</b>
<b>3.3. Farinhas de insetos como ingrediente alimentício</b> .....	<b>18</b>
<b>3.4. Produtos alimentícios elaborados com farinhas de insetos</b> .....	<b>19</b>
<i>3.4.1. Pães enriquecidas com farinha de inseto</i> .....	<i>21</i>
<i>3.4.2. Massa alimentícia enriquecida com farinha de inseto</i> .....	<i>23</i>
<i>3.4.3. Otimização de formulações</i> .....	<i>26</i>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>27</b>
<b>4.1. Matérias-primas</b> .....	<b>27</b>
<b>4.2. Composição centesimal e tecnológica da farinha desengordurada de larvas BSF</b> 27	
<i>4.2.1. Determinação do teor de proteína bruta</i> .....	<i>27</i>
<i>4.2.2. Determinação do teor de cinzas</i> .....	<i>28</i>
<i>4.2.3. Determinação do teor de lipídios</i> .....	<i>28</i>
<i>4.2.4. Determinação de umidade</i> .....	<i>29</i>
<i>4.2.5. Determinação de atividade de água (A<sub>w</sub>)</i> .....	<i>29</i>
<i>4.2.6. Determinação da capacidade da absorção de água (CAA) e de óleo (CAO)</i> .....	<i>29</i>
<i>4.2.7. Determinação de pH</i> .....	<i>30</i>
<i>4.2.8. Determinação de cor</i> .....	<i>30</i>
<i>4.2.9. Determinação do índice de acidez titulável</i> .....	<i>30</i>
<i>4.2.10. Determinação de índice peróxido</i> .....	<i>31</i>
<i>4.2.11. Determinação de índice de rancidez</i> .....	<i>31</i>

4.2.12. Determinação de quitina .....	32
4.2.13. Determinação de carboidratos.....	32
<b>4.3. Elaboração dos pães de forma .....</b>	<b>32</b>
4.3.1. Planejamento de misturas .....	32
4.3.2. Fabricação dos pães de forma .....	33
4.3.3. Determinação de umidade, atividade de água e perda de massa .....	34
4.3.4. Aquisição de imagem.....	34
<b>4.4. Elaboração dos pães tipo australiano.....</b>	<b>35</b>
4.4.1. Planejamento de misturas .....	35
4.4.2. Elaboração dos pães tipo australiano.....	35
4.4.3. Determinação nutricional e tecnológica dos pães .....	37
4.4.4. Análise estatística.....	37
<b>4.5. Elaboração de macarrão tipo talharim seco.....</b>	<b>37</b>
4.5.1. Propriedades reológicas .....	37
4.5.2. Desenvolvimento do macarrão.....	38
4.5.3. Determinação do teor de proteína bruta.....	39
4.5.4. Determinação do teor de umidade .....	40
4.5.5. Determinação do teor de cinzas .....	40
4.5.6. Determinação do teor de lipídios .....	41
4.5.7. Determinação de cor .....	42
4.5.8. Tempo de cozimento ótimo (OCT).....	42
4.5.9. Determinação de textura .....	42
4.5.10. Perda de sólidos .....	43
4.5.11. Aumento de volume.....	44
4.5.12. Absorção de água.....	44
4.5.13. Análise estatística.....	45
<b>5 RESULTADOS .....</b>	<b>46</b>
<b>6 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>47</b>
<b>5.1 .....</b>	<b>55</b>
<i>Manuscrito: Farinha desengordurada de larvas de mosca soldado negra (BSF) em formulação de pães de forma: Aplicação de planejamento de mistura com restrição e análise multivariada de cor .....</i>	<i>55</i>
<b>Farinha desengordurada de larvas de mosca soldado negra (BSF) em formulação de pães de forma: Aplicação de planejamento de mistura com restrição e análise multivariada de cor.....</b>	<b>12</b>
<b>Incluir o nome e ISSN do periódico .....</b>	<b>12</b>
<b>5.2 .....</b>	<b>12</b>

<i>Patente: Desenvolvimento de pão tipo australiano enriquecido com farinha desengordurada de larva de mosca soldado negro (BSF) ou Black Soldier Fly (Hermetia illucens).</i> .....	12
<b>5.3</b> .....	12
<i>Manuscrito: Propriedades físico-químicas e tecnológicas de macarrão tipo talharim enriquecido com farinha desengordurada de larvas de Hermetia illucens.</i> .....	12
<b>5 CONCLUSÃO GERAL</b> .....	37

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ANOVA	Análise de Variância
$A_w$	Atividade de água
ACCC	Association of Official Analytical Collaboration
BSF	Mosca Soldado Negra
CAA	Capacidade de Absorção de Água
CAO	Capacidade de Absorção de Óleo
COEF	Coefficiente
DP	Desvio Padrão
FBSF	Farinha de Mosca Soldado Negra
HCA	Análise de Agrupamento Hierárquico
HCl	Ácido Clorídrico
LED	Light Emitting Diode
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
MDF	Medium Density Fiberboard
MP	Megapixel
NaOH	Hidróxido de Sódio
OCT	Tempo Ótimo de Cozimento
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PCA	Análise de Componentes Principais
PH	Potencial Hidrogeniônico
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
RGB	Vermelho (Red), Verde (Green) e Azul (Blue)
UEFS	Universidade Estadual de Feira de Santana

UESB	Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UFRB	Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
VDR	Valores Diários de Referência

## 1 INTRODUÇÃO

Considerando o crescimento exponencial da população global e o aumento das demandas nutricionais, os insetos e os produtos alimentícios à base de insetos surgem como alternativas promissoras às fontes tradicionais de proteína na dieta humana (Delfino *et al.*, 2025). A farinha de larvas de *Hermetia illucens*, conhecida como Mosca Soldado Negra (BSF), destaca-se como uma das opções mais viáveis, especialmente para a produção de ração animal e alimentícia. Seu valor nutricional inclui proteínas (30–53 g/100 g), lipídios (20–41 g/100 g), além de minerais essenciais como cálcio (840–934 mg/100 g), ferro (2,1–3 mg/100 g) e zinco (6,8–15 mg/100 g). (Santori *et al.*, 2024).

Sob o Regulamento de Novos Alimentos da União Europeia (UE) 2015/2283, alimentos contendo espécies como *Acheta domesticus*, larvas de *Tenebrio molitor*, *Locusta migratoria* e *Alphitobius diaperinus* foram autorizados para consumo (EFSA, 2015). Atualmente, a *Hermetia illucens* também está em processo de autorização, com resumos disponíveis na seção de Novos Alimentos do portal da Comissão Europeia. Já no Brasil, a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) ainda não apresenta uma orientação específica para esse tipo de produto. A única referência da agência sobre o assunto é a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 14, de 2014, que trata dos limites toleráveis para a presença de fragmentos de insetos em alimentos, resultante de falhas no processo produtivo (Brasil, 2014).

No contexto agroalimentar, os pães e as massas estão entre os produtos mais ingeridos no mundo (Bresciani *et al.*, 2022). A massa seca tradicional, conhecida como massa de sêmola de trigo duro, é produzida por extrusão, combinando com água e, opcionalmente, outros ingredientes, como ovos e farinhas alternativas (Recchia *et al.*, 2019). O pão, consumido por pessoas de todas as classes socioeconômicas, é um alimento pronto para o consumo, acessível, de sabor agradável e sem restrições socioculturais ou religiosas, mas destaca-se pelas suas características nutricionais limitadas, sendo pobre em proteínas, fibras, vitaminas, minerais e ácidos graxos (Makokha *et al.*, 2023).

A integração de ingredientes de insetos em massas pode comprometer a vida útil dos produtos devido ao alto teor de gordura, que aumenta a suscetibilidade à rancidez oxidativa e pode alterar as propriedades funcionais dos produtos assados, facilitando a retenção de umidade. No entanto, a fortificação de pães e massas com ingredientes ricos em proteínas, como a farinha de inseto, pode ser uma alternativa importante para suprir necessidades nutricionais (Tanga *et al.*, 2025).

Portanto, o objetivo desta pesquisa foi elaborar pães e macarrão enriquecidos com farinha desengordurada de larvas de mosca soldado negra (BSF) por meio de planejamentos experimentais, visando determinar a formulação ideal em relação aos teores de farinha de inseto adicionada e avaliar seus impactos tecnológicos e físico-químicos.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

- ✓ Elaborar pães e macarrão com a incorporação de farinha desengordurada de larvas de mosca soldado negra (BSF; *Hermetia illucens*), utilizando planejamentos experimentais, e avaliar os impactos tecnológicos e nutricionais.

### 2.2 Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar a composição centesimal e tecnológica da farinha desengordurada de larvas de BSF;
- ✓ Avaliar a aplicabilidade da farinha desengordurada de larvas BSF em produtos de panificação;
- ✓ Analisar a influência da adição de farinha de larvas BSF nas propriedades reológicas;
- ✓ Otimizar formulações de pães e macarrão enriquecidos com farinha desengordurada de larvas BSF com planejamentos de misturas;
- ✓ Determinar a proporção ideal de farinha desengordurada de larvas de mosca soldado negra para maximizar o teor protéico sem comprometer atributos como sabor, textura e aparência do produto;
- ✓ Realizar a caracterização tecnológica e físico-química dos produtos elaborados com farinha desengordurada de larvas BSF.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1. Insetos comestíveis na alimentação humana

A Organização das Nações Unidas estima que a população mundial deverá atingir 9,7 bilhões de pessoas até 2050 (ONU, 2019), o que exigirá um aumento significativo na produção de alimentos (Oliveira *et al.*, 2017). Com o crescimento populacional global, a demanda por fontes proteicas tem aumentado, enquanto a disponibilidade de terras agrícolas é limitada (Kouřimská *et al.*, 2016). Esta situação torna o fornecimento adequado de proteínas um desafio (Gamero-Barraza *et al.*, 2024).

Entre as fontes alternativas de proteínas animais, os insetos comestíveis têm se destacado por atenderem aos requisitos essenciais de segurança alimentar. Estudos recentes também ressaltam os benefícios de incluir alimentos à base de insetos na dieta humana (Verneau *et al.*, 2021). O consumo de insetos é uma prática tradicional em 113 países, dos quais mais de 2.000 espécies são consideradas comestíveis (Kouřimská *et al.*, 2016). Besouros, lagartas, abelhas, vespas, formigas, gafanhotos, grilos, cigarras, percevejos, cupins, libélulas, moscas e outras espécies são as mais consumidas, com maior prevalência na África, Ásia e América Latina (Jongema *et al.*, 2015). Eles também oferecem um valor nutricional comparável ao das carnes tradicionais, tornando-se uma alternativa viável diante da crescente demanda (Dreon *et al.*, 2009).

Historicamente, o consumo de insetos era comum entre povos indígenas brasileiros. Atualmente, algumas regiões, como o Norte e o Nordeste, ainda preservam essa tradição, consumindo formigas tanajuras e larvas. (Brasil, 2013). Na Ilha do Marajó (PA), as larvas de besouro ("bicho do tucumã") são uma iguaria tradicional, consumidas de forma in natura, fritas ou em farofas. Já no Parque Indígena Nacional do Xingu, os insetos são fontes de alimento, sendo consumidos torrados ou assados juntos com beiju, incluindo espécies de formigas como saúva ou tanajura, além de cigarras, cupins e gafanhotos (Tunes Suzel, 2020).

O ciclo de colheita dos insetos é de apenas 45 dias, em contraste com os 4 a 36 meses necessários para os animais de fazenda tradicionais (Brogan *et al.*, 2021). Em comparação com a pecuária convencional, os insetos têm um impacto ambiental reduzido, requerendo menos alimentos, água e espaço, além de apresentarem taxas de conversão de biomassa mais eficientes (Fernandez-Cassi *et al.*, 2020).

Sob o Regulamento de Novos Alimentos da União Europeia (UE) 2015/2283, alimentos contendo espécies como *Acheta domesticus*, larvas de *Tenebrio molitor*, *Locusta migratoria* e *Alphitobius diaperinus* foram autorizados para consumo (EFSA, 2015). Atualmente, há

solicitações de autorização para outros insetos, incluindo a *Hermetia illucens* (mosca soldado negra), cujos resumos estão disponíveis na seção de Novos Alimentos do portal da Comissão Europeia (Regulamento (UE) 2015/2283).

Já no Brasil, a Anvisa ainda não apresenta uma orientação específica para esse tipo de produto. A única referência da agência sobre o assunto é a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 14, de 2014, que trata dos limites toleráveis para a presença de fragmentos de insetos em alimentos, resultante de falhas no processo produtivo (Brasil, 2014). O Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), controla os produtos de origem animal para consumo humano, permitindo a criação, abate e produção de alimentos no mesmo local, desde que em estruturas independentes e com garantia de preservação das condições sanitárias (Brasil, 2020). A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), ligada ao Ministério da Saúde, é responsável por aprovar novos ingredientes para a alimentação humana. Porém, o consumo de insetos está autorizado apenas para a alimentação animal, não sendo permitido para o consumo humano (Brasil, 2018).

Apesar disso, as restrições legais não têm impedido o uso experimental de produtos comestíveis à base de insetos. A exemplo de grilos (*Acheta domesticus*, *Gryllus bimaculatus*, *Gryllus assimilis*, *Grylloides sigillatus*), larvas (*Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, *Zophobas morio*), gafanhotos (*Locusta migratoria*), e outras espécies tropicais como larvas de gorgulho e pupas de bicho-da-seda. Estes insetos podem ser consumidos inteiros ou ter suas proteínas, gorduras e quitina extraídas (Van Huis *et al.*, 2021). Há também interesse na mosca soldado negra (*Hermetia illucens*), que é conhecida por transformar resíduos orgânicos, contribuindo para uma economia circular (Bessa *et al.*, 2020).

### **3.1.1. Mosca soldado negra**

A mosca soldado negra (BSF; *Hermetia illucens* L.) é um inseto saprófito que consome vários tipos de resíduos orgânicos, incluindo resíduos vegetais, resíduos de frutas, resíduos alimentares, subprodutos agroindustriais etc. (Lu *et al.*, 2022; Suryati *et al.*, 2023). É encontrada globalmente, especialmente em regiões tropicais e temperadas quentes (Singh *et al.*, 2019). No processo de degradação de resíduos, a BSF converte resíduos orgânicos em aminoácidos, peptídeos, proteínas, óleos, quitina e vitaminas, utilizados em medicamentos, produtos químicos e alimentos para animais (Erickson *et al.*, 2004).

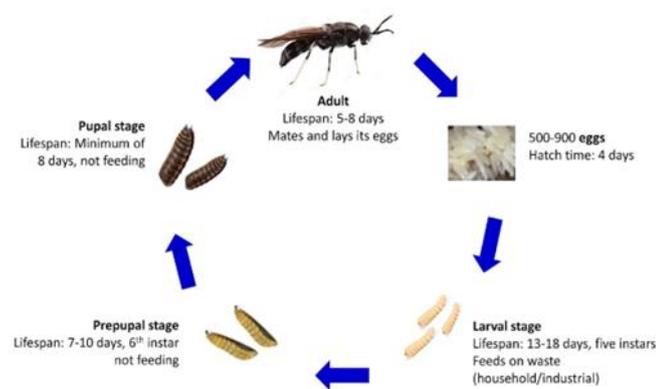
A BSF é uma espécie de cor preta, grande e delgada com três segmentos - cabeça, tórax e barriga - com asas e tentáculos acastanhados projetando-se da cabeça. Existem cinco segmentos no abdômen com manchas brancas. Os machos são mais longos que as fêmeas, mas

têm genitais e asas menores. As fêmeas têm comprimentos de corpo entre 12 e 20 mm e asas entre 8 e 14,8 mm (Lu *et al.*, 2022).

Apresenta vantagens como dieta flexível, baixo custo de produção, rápida reprodução e alta taxa de conversão biológica. Demonstra eficácia na conversão de resíduos orgânicos em biomassa rica em proteínas e gordura, podendo ser utilizado como alimento para diversas espécies, na produção de biodiesel e na obtenção de quitina (Diener *et al.*, 2009). Além disso, é um tipo de inseto comum na Europa devido aos seus ciclos de crescimento curtos (Li *et al.*, 2024). Seu ciclo de vida tem cinco estágios: ovo, larva, pré-pupa, pupa e adulto (Figura 1). Os estágios larval e pupal apresentam alto teor de nutrientes, com composição influenciada pela qualidade dos alimentos consumidos em sua dieta, com cerca de 18 a 33% de gordura e 32 a 53% de proteína (Yu *et al.*, 2009). Têm uma vida útil de aproximadamente 20 a 22 dias, com uma pupa nos primeiros 6 a 8 dias e uma metamorfose adulta nos últimos 14 dias (Diener *et al.*, 2010). As moscas adultas não possuem aparelho bucal, ferrão ou sistema digestivo, consumindo apenas água e não se aproximando de humanos, sendo, portanto, inofensivas e não vetores de doenças (Makkar *et al.*, 2014).

Durante seus seis estágios larvais, as larvas precisam acumular quantidade suficiente de proteínas e gorduras para fornecer às fêmeas recursos necessários para produzir entre 500 e 1000 óvulos, e aos machos energia suficiente para a produção de espermatozoides e atividades de acasalamento (Ståhls *et al.*, 2020). Esta espécie é nativa da região Neotropical, mas atualmente está distribuída globalmente, sendo encontrada principalmente em regiões de clima mais quente (Marshall *et al.*, 2015; Schiavone *et al.*, 2017). Destaca-se como uma das espécies de insetos mais promissoras e amplamente estudadas (Zotte *et al.*, 2019).

**Figura 1.** Ciclo de vida da mosca soldado negra (BSF).



*Fonte: Suryati et al., 2023.*

### 3.2. Perfil nutricional de farinha de inseto

Atualmente, os insetos comestíveis possuem uma composição nutricional contendo até 75% de proteína, 20 a 40% de gordura e 5 a 15% de quitina na matéria seca (Oliveira *et al.*, 2024). A quitina, encontrada principalmente no exoesqueleto de crustáceos e insetos, confere estabilidade estrutural aos artrópodes (Pedrazzani *et al.*, 2024). Além da função estrutural, a quitina pode atuar como prebiótico quando consumida, melhorando a absorção intestinal de nutrientes (Heo *et al.*, 2013; Borrelli *et al.*, 2017). Composta por unidades de N-acetil-D-glicosamina, a quitina é precursora da quitosana e apresenta uma estrutura molecular semelhante à celulose (Finke, 2007; Swiatkiewicz *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2013). Embora a quitina forme complexos com proteínas e lipídios, influenciando sua digestibilidade, ela é reconhecida como uma fibra alimentar insolúvel com efeitos benéficos à saúde (Oliveira *et al.*, 2024).

O valor nutricional dos insetos é influenciado por uma série de fatores, incluindo a dieta, estágio de desenvolvimento, sexo, espécie, ambiente de criação e métodos de medição (Van Huis *et al.*, 2017). As larvas BSF são uma fonte sustentável e promissora de nutrientes, com potencial para aplicação tanto na ração animal quanto na alimentação humana (Huseynli *et al.*, 2023). Apresentam digestibilidade de aminoácidos comparável a outras fontes de proteína. Além disso, é rica em ácidos graxos saturados (Barragan-Fonseca *et al.*, 2017), proteínas (32-58% de matéria seca) e lipídios (15-39% de matéria seca) (Froonickx *et al.*, 2023). São igualmente ricas em ferro (2,1-3 mg/100 g), zinco (6,8-15 mg/100 g), cálcio (840-934 mg/100 g) (Finke, 2013; Liland *et al.*, 2017), e em aminoácidos essenciais, com alta concentração de leucina, lisina e valina, além de menores quantidades de metionina e triptofano (Bosch *et al.*, 2014; Lu *et al.*, 2022; Shengyong *et al.*, 2022).

### 3.3. Farinhas de insetos como ingrediente alimentício

Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) Nº 263, de 22 de setembro de 2005, define farinha como um produto obtido de partes comestíveis de uma ou mais espécies por moagem ou outros processos tecnológicos considerados seguros para produção de alimentos. O processamento de insetos em formas menos perceptíveis, como farinhas ou concentrados de proteínas em pó pode, portanto, aumentar sua aceitação visual entre os consumidores (Florença *et al.*, 2021), já que insetos inteiros têm maior tendência de rejeição (Cavalheiro *et al.*, 2023). Além disso, insetos comestíveis na forma de farinha podem ser incorporados para melhorar o valor nutricional dos produtos, pois são ricos em proteínas e gorduras (Kim *et al.*, 2016; González *et al.*, 2019).

As farinhas de insetos podem ser classificadas como desengorduradas e integrais (Shengyong *et al.*, 2022). As farinhas desengorduradas são ricas em proteínas e baixas em gorduras, e têm se tornado populares como forma de reduzir as disparidades na composição bioquímica e mitigar o risco de oxidação lipídica (Dumas *et al.*, 2018). A remoção da gordura aumenta significativamente ( $p < 0,05$ ) o teor de proteína em cerca de 10%, enquanto o teor de gordura diminui de 25,78% para 4,8% nas larvas desengorduradas (Zozo *et al.*, 2022). O desengorduramento é considerado uma etapa preliminar essencial na extração de proteínas, pois purifica a farinha e otimiza o rendimento do processo (Queiroz *et al.*, 2023). Os métodos para o desengorduramento podem ser físicos, como prensagem, ou químicos, como a extração com solventes orgânicos (Iñaki *et al.*, 2022). Entre os solventes orgânicos utilizados, como etanol, acetona e hexano, a extração com hexano é a mais comum para desengordurar insetos devido ao seu alto rendimento de extração (Kim *et al.*, 2021).

Já a farinha integral de insetos difere principalmente no teor de gordura e ácidos graxos saturados (Shengyong *et al.*, 2022). A presença de gordura pode causar oxidação lipídica, afetando o odor dos produtos e resultando em um aroma rançoso. Portanto, é essencial realizar o processo de desengorduramento para evitar que a rancificação afete a qualidade da farinha e produtos (Jeong *et al.*, 2021).

Apesar do potencial das farinhas de insetos em alimentos, poucas aplicações foram documentadas na literatura até o momento. A farinha de larvas desengorduradas da mosca soldado negra por exemplo, tem um odor forte que pode ser vantajoso na indústria de rações, mas representa um desafio na indústria alimentícia devido à influência do odor e sabor na percepção do consumidor (Bessa *et al.*, 2020; Delicato *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2017). Alguns consumidores relatam que o sabor de alguns insetos lembra sementes de girassol ou amendoim. São escassos os estudos encontrados sobre o uso de farinha ou pasta de insetos, especialmente no contexto brasileiro, para elaboração de produtos de panificação (Lins, 2023).

### **3.4. Produtos alimentícios elaborados com farinhas de insetos**

O consumo de alimentos à base de insetos é impulsionado por fatores culturais e econômicos. Para muitos, insetos não são ingredientes tradicionais, mas em alguns mercados são vistos como produtos gourmet, voltados para quem busca novas experiências culinárias. Em regiões com acesso limitado a proteínas, são usados para enriquecer alimentos e combater deficiências nutricionais. Com o aumento da demanda por fontes alternativas de proteína, há crescente interesse global por insetos como uma solução sustentável para melhorar a composição proteica de produtos convencionais (Acosta-Estrada *et al.*, 2021).

No cenário atual, estima-se que quase 2 bilhões de pessoas consomem insetos e produtos à base de insetos (Kowalski *et al.*, 2022). As farinhas de insetos têm sido testadas em diversos produtos alimentícios (Figura 2) com o objetivo de melhorar o perfil nutricional, a sustentabilidade e, potencialmente, oferecer novos sabores e texturas (Marinopoulou *et al.*, 2023).

**Figura 2.** Imagens de produtos à base de insetos comestíveis disponíveis no mercado alimentício.



\*\***(A)** Pão enriquecido com farinha de grilos acheta *domesticus*; **(B)** Snacks de insetos; **(C)** Macarrão com farinha de grilo; **(D)** Macarrão penne zero glúten, feito de arroz jasmim e 10% de grilos domésticos (*Acheta Domestica* Sp); **(E)** Macarrão de sêmola de trigo duro com larvas de buffalo (*Alphitobius diaperinu*); **(F)** Macarrão fusilli com pó de grilo e alho assado; **(G)** Mistura para brownie de chocolate e framboesa com farinha de grilo; **(H)** Granola de amêndoas e farinha de grilo.

*Fonte: Adaptado, Google (2025).*

A incorporação de farinhas de insetos em formulações de alimentos deve ser planejada para evitar comprometer os parâmetros tecnológicos e sensoriais do produto (Santiago *et al.*, 2024). Essas farinhas podem escurecer e alterar as propriedades texturais do alimento como

dureza e elasticidade. Para manter a aceitação, a adição é geralmente limitada em 5 a 20%, já que substituições acima podem prejudicar a textura e a aceitação do alimento (Pérez-Rodríguez *et al.*, 2023). A crescente demanda por alimentos ricos em proteínas está impulsionando o mercado a buscar fontes alternativas. A Tabela 1 apresenta alguns produtos alimentícios que já foram desenvolvidos com farinhas de insetos.

**Tabela 1.** Exemplos de produtos alimentícios enriquecidos com farinha de inseto.

<b>Produtos</b>	<b>Referências</b>
Pães	(Kowalski <i>et al.</i> , 2022)
Pães sem glúten	(Nissen <i>et al.</i> , 2020)
Massas secas	(Ayensu <i>et al.</i> , 2019)
Biscoitos	(Biró <i>et al.</i> , 2020)
Pão de ló	(Talens <i>et al.</i> , 2022)
Salsichas	(Cavalheiro <i>et al.</i> , 2023)
Sorvetes	(David-B <i>et al.</i> , 2022)
Massas alimentícias	(Duda <i>et al.</i> , 2019)
Salgadinhos	(Azzollini <i>et al.</i> , 2018)
Biscoitos integrais	(Ardoin <i>et al.</i> , 2021)
Produtos cárneos	(Scholliers <i>et al.</i> , 2020)

*Fonte: Autora, (2025).*

Os atributos sensoriais dos alimentos à base de insetos são influenciados pela dieta dos insetos, afetando tanto o sabor quanto a textura, principalmente a crocância. A cor dos alimentos também varia durante o cozimento, de tons de cinza a preto, exigindo cuidado na escolha do inseto e no método de preparo (Magara *et al.*, 2021).

#### **3.4.1. Pães enriquecidas com farinha de inseto**

Os insetos representam uma fonte de proteína alternativa, limpa e nutritiva, com potencial para substituir parcialmente o trigo em formulações de pães. Contudo, deve-se considerar que as farinhas de insetos, especialmente devido ao seu teor de gordura, podem influenciar a composição, cor, textura e atributos nutricionais dos pães. Esses efeitos estão relacionados tanto ao tipo de inseto utilizado quanto ao grau de desengorduramento das farinhas (Bottle *et al.*, 2024).

Na base da pirâmide alimentar, os carboidratos desempenham um papel essencial, sendo o pão uma das principais fontes desse macronutriente e amplamente acessível a todas as classes sociais (Oliveira *et al.*, 2017). Globalmente consumido, o pão é produzido a partir de uma massa composta por farinha de grãos (trigo, milho, arroz), água, leveduras, sal, açúcar e agentes de encurtamento (Haber *et al.*, 2019).

A incorporação de farinhas de insetos no pão enriquece seu valor nutricional, mas provoca alterações sensoriais, como escurecimento da cor, e mudanças nas propriedades texturais, incluindo dureza, elasticidade, mastigabilidade e coesividade. Essas alterações dependem do tipo de inseto e da formulação. Por isso, a substituição da farinha de trigo por farinha de insetos é geralmente limitada a 5-20%, pois percentuais superiores podem comprometer a textura e a aceitação sensorial (Pérez-Rodríguez *et al.*, 2023).

A fortificação da farinha de trigo branca tem se mostrado uma estratégia eficaz para combater a deficiência de vitaminas e proteínas no pão branco. Ao longo dos anos, a adição de compostos sintéticos ou naturais ao pão tem sido amplamente praticada para mitigar carências nutricionais. Nesse cenário, os insetos comestíveis surgem como novos ingredientes na indústria alimentícia europeia, destacando-se pelo alto valor agregado.

A inclusão de insetos em produtos de panificação tem sido proposta por diversos pesquisadores. Oliveira *et al.* (2017) enriqueceram pães com 10% de farinha de barata cinérea (*Nauphoeta cinerea*), aumentando o teor proteico em 49% e melhorando o perfil de aminoácidos essenciais, conforme a FAO. Pães com 10% e 30% de farinha de grilo (*Acheta domesticus*) apresentaram maior teor de proteínas, lipídios e fibras (Osimani *et al.*, 2018), enquanto pães com farinha de gafanhoto (*Schistocerca gregaria*) tiveram mais de 50% de aumento no teor proteico (Haber *et al.*, 2019).

Outros produtos, como cookies (Sriprablom *et al.*, 2022), muffins (Çabuk, 2021), bolos (Indriani *et al.*, 2020), biscoitos (Akande *et al.*, 2020) e snacks (Roncolini *et al.*, 2020), também foram enriquecidos com insetos, apresentando benefícios nutricionais semelhantes.

A aceitação sensorial desses produtos foi positiva. Pães com 10% de farinha de barata cinérea obtiveram mais de 75% de aceitação em aroma, sabor, cor, textura e impressão global (Oliveira *et al.*, 2017). Além disso, Delicato *et al.* (2020) observaram que a substituição de até 25% da manteiga por óleo de mosca soldado negra não compromete a aceitação de cookies, bolos e waffles. Contudo, é fundamental avaliar os impactos técnico-funcionais da inclusão de ingredientes sem glúten, que podem afetar a qualidade dos produtos.

### 3.4.2. Massa alimentícia enriquecida com farinha de inseto

As massas alimentícias destacam-se como um dos alimentos mais populares e consumidos globalmente devido à sua versatilidade, praticidade e sabor (Mercier *et al.*, 2016). A produção mundial é expressiva, alcançando 16,9 milhões de toneladas em 2022 (Ipo, 2024). A Itália lidera tanto em produção quanto em consumo, seguida por países como Estados Unidos, Brasil, Turquia e Rússia (Bresciani; Pagani; Marti, 2022).

No Brasil, as massas alimentícias são definidas pela RDC nº 711/2022 como produtos não fermentados, obtidos de farinha de trigo (*Triticum spp.*), derivados de trigo durum (*Triticum durum* L.), ou de outros cereais, leguminosas, raízes ou tubérculos. Elas podem ser apresentadas secas, frescas, pré-cozidas, instantâneas ou prontas para o consumo, em diferentes formatos e recheios (Brasil, 2022).

Entre os ingredientes mais valorizados, a semolina, derivada do trigo durum, é preferida para massas de alta qualidade devido ao seu elevado teor de glúten e carotenóides, que conferem cor amarela característica (Bustos *et al.*, 2015; Fuad *et al.*, 2010). O trigo durum representa apenas 5% da produção global, tornando-o mais caro que o trigo comum (Fuad; Prabhasankar, 2010). Além disso, durante a moagem para a produção de farinha, ocorre perda significativa de nutrientes como vitaminas e minerais, devido à remoção do farelo e do germe, restando uma farinha rica em carboidratos, mas deficiente em nutrientes essenciais (Garg *et al.*, 2021; Khalid *et al.*, 2023).

A massa seca é um dos produtos alimentícios mais consumidos no mundo, sendo apreciada por sua conveniência, maior prazo de validade, sabor, palatabilidade e valor nutricional (Saleh *et al.*, 2017). Tradicionalmente feita a partir de semolina de trigo duro ou farinha de trigo mole, a massa é uma importante fonte de carboidratos, com alta digestibilidade e baixo índice glicêmico (Monge *et al.*, 1990). Embora forneça proteínas (11-15% base seca), sua qualidade é limitada por deficiências em aminoácidos essenciais como lisina e metionina (Alireza Sadeghi & Bhagya, 2008).

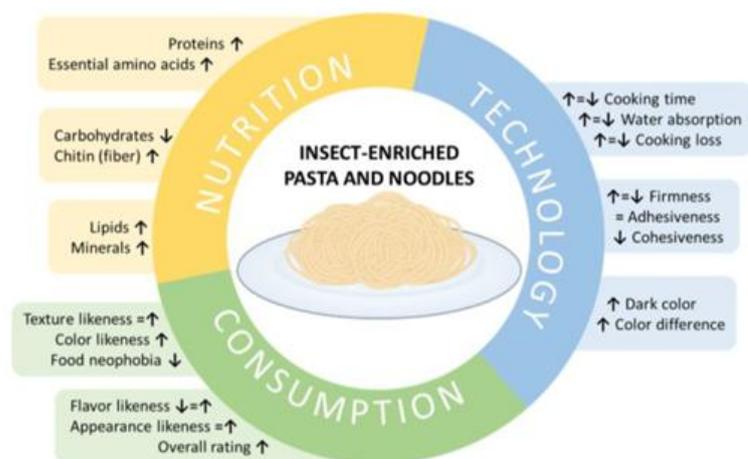
A fortificação com proteínas é uma estratégia sugerida para aumentar o valor nutricional da massa dentro de dietas sustentáveis (Pakhare *et al.*, 2018; Webb, 2019). Várias fontes de proteína têm sido investigadas, incluindo ovos, grãos ricos em proteínas, laticínios, leguminosas, oleaginosas, subprodutos agroindustriais e, mais recentemente, pó de insetos e proteínas de insetos (Biró *et al.*, 2019; Duda *et al.*, 2019; Pasini *et al.*, 2022).

A RDC nº 263/2005 permite o enriquecimento de massas com ingredientes complementares, mantendo a caracterização do produto. Estudos mostram que a adição de proteínas de insetos pode melhorar significativamente o conteúdo de aminoácidos essenciais

(Kim *et al.*, 2021) e fornecer uma alternativa sustentável e nutritiva para a produção de massas alimentícias. Além disso, a massa é uma excelente base para a incorporação de ingredientes (Mădălina *et al.*, 2024), facilitando a utilização de farinha de BSF como uma nova alternativa alimentar. A principal diferença entre massa e macarrão está nas matérias-primas utilizadas. O macarrão é feito com sêmola de trigo duro (*Triticum durum*), mais rica em proteínas e carotenoides, o que confere a ele uma textura firme, maior tempo de cozimento e uma cor amarela atraente (Carcea *et al.*, 2023). Já a massa é feita com farinha de trigo comum (*Triticum aestivum*), resultando em um produto mais macio, de cozimento rápido e tonalidade mais branca (Cato *et al.*, 2023). Ambos os tipos podem incluir ingredientes adicionais, como farinhas, ovos e vegetais, e ser produzidos por métodos como laminação, modelagem ou extrusão.

A sêmola de trigo duro é mais adequada para esses processos devido à sua maior tenacidade, enquanto a farinha de trigo comum é mais suave e geralmente manipulada por laminação e modelagem. Ambos podem ser comercializados frescos ou secos, com maior prazo de validade (Cato *et al.*, 2023). Com base nesse contexto, a substituição parcial da sêmola durum ou de outras farinhas derivadas de cereais, tubérculos e raízes por pós de insetos apresenta-se como uma estratégia promissora para o desenvolvimento de massas e macarrão altamente nutritivos, com benefícios à saúde e potencial para distribuição global. Estudos nessa área têm investigado a qualidade desses produtos, seus atributos sensoriais, a aceitação pelos consumidores e os benefícios nutricionais relacionados à Figura 3.

**Figura 3.** Aspectos nutricionais, tecnológicos e de consumo gerais de massas alimentícias enriquecidas com farinha de inseto. As setas para cima e para baixo indicam se o parâmetro aumentou ou diminuiu, respectivamente.



*Fonte: Arp et al., 2024.*

A crescente demanda por alimentos fortificados tem levado a indústria alimentícia a adotar matérias-primas inovadoras e sustentáveis (Ahuja & Deb, 2018). A entomofagia, prática de consumir insetos, complementa as dietas de milhões de pessoas, embora ainda seja vista como repugnante por muitos. Tradicionalmente, os insetos eram consumidos inteiros, temperados e preparados de diversas formas. Apenas nos últimos anos a tecnologia de processamento passou a dedicar maior atenção a eles (Arp *et al.*, 2024).

Produtos de cereais, como massas alimentícias, são alimentos básicos amplamente consumidos, mas, especialmente os feitos de farinha refinada, contribuem principalmente para o consumo calórico. Por isso, é necessário complementá-los com fontes de nutrientes, como proteínas, para uma dieta equilibrada (Messia *et al.*, 2021). Diante das tendências atuais, vários estudos começaram a explorar o enriquecimento de macarrões com insetos (Arp *et al.*, 2024).

Duda *et al.* (2019) produziram massa de semolina com diferentes níveis de pó de grilo (*A. domesticus*), observando aumentos progressivos nos teores de proteína com adições de 5%, 10% e 15%. Çabuk *et al.* (2020) substituíram 15% da farinha de trigo por farinha de *L. migratoria* e *T. molitor* para produzir erişte, uma massa tradicional turca, e observaram aumentos de 51% e 42% no teor de proteína, respectivamente. Piazza *et al.* (2023) usaram pó de pupas de *Bombyx mori* para formular massa de semolina, com aumento de 41% no teor de proteína. Já Hidalgo *et al.* (2023) substituíram 15% da semolina por proteínas solúveis em sal de *B. mori* e *H. illucens*, resultando em aumento de 33% e 20% no teor de proteína.

Alguns estudos exploraram o uso de insetos em macarrão sem glúten para melhorar seus perfis nutricionais. Musika *et al.* (2024) otimizaram uma massa de farinha de arroz riceberry suplementada com pó de *A. domesticus* usando um design de mistura D-ótimo. A substituição da farinha variou de 5,3% a 21,1%, com limites de 12% a 14,57% para proteína 4,06% a 6,85% para gordura. A formulação ótima resultou na substituição de 14,7% da farinha de arroz riceberry por farinha de *A. domesticus*, com adição de 1,45% de goma xantana. Wannasupchue *et al.* (2024) avaliaram diferentes teores de pó de *G. bimaculatus* em macarrão de arroz e tapioca, com substituições de 15% e 30%.

Embora a metodologia de adição não tenha sido claramente especificada, os resultados mostraram aumentos significativos nos teores de proteína (de 6,33% para 16,19% e 23,03%) e gordura (de 1,03% para 2,31% e 5,36%). Os insetos comestíveis são uma alternativa sustentável para a nutrição humana. Apesar de poucos estudos sobre massas secas e cruas, evidências indicam que ingredientes de insetos podem melhorar o valor nutricional do macarrão (Arp *et al.*, 2024).

### 3.4.3. Otimização de formulações

O desenvolvimento de produtos alimentícios exige formulações que conciliem preferências dos consumidores, qualidade, segurança e valor nutricional (Babu *et al.*, 2025; Pathania *et al.*, 2021). Para isso, técnicas de otimização, como o planejamento de misturas (MD) e a metodologia de superfície de resposta (RMS), são amplamente utilizadas para aperfeiçoar a funcionalidade e a aceitação dos produtos (Alizadeh Behbahani *et al.*, 2020).

Esses modelos multivariados auxiliam na definição das proporções ideais dos ingredientes, permitindo a criação de formulações equilibradas e inovadoras (Galvan *et al.*, 2021). Estudos recentes demonstram sua aplicação na incorporação de farinhas em hambúrgueres de peixe (Presenza *et al.*, 2022), no desenvolvimento de biscoitos sem glúten (Njapndounke *et al.*, 2023) e na utilização de subprodutos da indústria do café na formulação de cereais (Beltrán-Medina *et al.*, 2020). Essas abordagens possibilitam a avaliação dos impactos das variações na composição, facilitando a escolha da melhor formulação para otimizar atributos nutricionais, sensoriais e econômicos (Moraes Filho *et al.*, 2018).

Para aprimorar ainda mais esse processo, a função de desejabilidade tem sido amplamente empregada na otimização de múltiplas variáveis de resposta. Essa metodologia estatística permite identificar a combinação ideal de fatores, garantindo um desempenho global otimizado na formulação de produtos alimentícios (Rangel-Peraza *et al.*, 2017).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Matérias-primas

A farinha desengordurada de larvas de *Hermetia illucens* foi adquirida da empresa ALFAFLY LTDA (Florianópolis, Santa Catarina, Brasil), devidamente registrada no Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). Os demais ingredientes utilizados na produção dos pães e macarrão – farinha de trigo, açúcar, sal, margarina, ovos, fermento biológico seco, leite em pó, melhorador de farinha, farinha de trigo integral, melão de cana, açúcar mascavo, cacau em pó e óleo vegetal – foram obtidos em um supermercado local em Feira de Santana, Bahia, Brasil. A farinha de trigo durum, utilizada na produção das massas, foi adquirida em um mercado online. A farinha desengordurada de larvas BSF foi armazenada sob refrigeração, na embalagem original do fornecedor, até a realização das análises. O experimento foi realizado nos laboratórios da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) e Universidade Federal da Bahia (UFBA), onde todos os reagentes químicos utilizados no estudo foram de grau analítico.

### 4.2. Composição centesimal e tecnológica da farinha desengordurada de larvas BSF

#### 4.2.1. Determinação do teor de proteína bruta

O teor de proteína foi determinado pela AOAC (Association of Official Analytical Collaboration) (2005) nº 920.87, utilizando o método de Kjeldahl. Aproximadamente 0,1 g da amostra foi pesada em papel manteiga, juntamente com 0,55 g de uma mistura catalítica composta por sulfato de potássio, sulfato de cobre e selênio. O material foi embrulhado e inserido em um tubo digestor, ao qual foram adicionados 5 mL de ácido sulfúrico PA concentrado. A digestão foi realizada em um bloco digestor (MARCONI, MA 4025), convertendo todo o nitrogênio orgânico em íons amônio. Em seguida, a solução foi alcalinizada com 30 mL de NaOH a 40%, e a amônia liberada foi destilada em um destilador de nitrogênio (TECNAL, TE-0363). O destilado foi coletado em uma solução contendo 20 mL de ácido bórico a 4%, 4 gotas de vermelho de metila e 6 gotas de verde de bromocresol. A solução destilada foi titulada com HCl 0,1 mol. O teor de proteína foi calculado pela equação 1, utilizando o fator de conversão de nitrogênio para proteína de 4,76. A análise foi realizada em triplicata.

$$\text{Proteína (\%)} = \frac{V * N * f * 0,014 * 4,76}{P} * 100$$

Eq. 1

onde, **V** é volume (mL) gasto na titulação com HCl; **N** é a normalidade do HCl; **f** é o fator de correção do HCl; **0,014** é o miliequivalente do nitrogênio; **4,76** sugerido por Jonas-Levi *et al.*, 2017 é o fator geral de conversão de nitrogênio para proteína de inseto e **P** é o peso da amostra (g).

#### 4.2.2. Determinação do teor de cinzas

O teor de cinzas foi quantificado pelo método gravimétrico nº 930.30 da AOAC (2019). Amostras de 2 g foram pesadas em cadinhos de porcelana previamente preparados e submetidas à calcinação em mufla (MARCONI) a 550 °C por 4 horas. Após a calcinação, as amostras foram resfriadas em dessecador até a temperatura ambiente e, em seguida, pesadas. O percentual de cinzas da farinha BSF foi calculado conforme a equação (2). A análise foi realizada em duplicata.

$$\text{Cinzas (\%)} = \frac{m_c}{m_i} * 100$$

Eq. 2

onde, **mi** é massa da amostra (g) e **mc** é massa de cinzas (g), obtida pela diferença entre o peso do cadinho final e o peso do cadinho vazio.

#### 4.2.3. Determinação do teor de lipídios

A determinação dos lipídeos totais foi realizada por extração direta com o aparelho de Soxhlet, conforme a metodologia AOAC 920.39. Foram pesados 2 g da amostra em cartuchos de papel filtro qualitativo de 9 cm. Os copos coletores foram secos em estufa a 105 °C por 2 horas, resfriados em dessecador por aproximadamente 1 hora até atingir a temperatura ambiente, e então pesados. O cartucho com a amostra foi colocado no aparelho de Soxhlet, e 120 mL de éter de petróleo P.A foram adicionados aos copos coletores para a extração. A extração foi realizada a 60 °C por 6 horas, com gotejamento de 4 a 5 gotas por segundo. Após a extração, os copos com o éter e o extrato foram secos na estufa a 105 °C por 30 minutos, resfriados em dessecador até a temperatura ambiente e pesados novamente. O processo de aquecimento e resfriamento foi repetido até obter peso constante. A análise foi realizada em duplicata, e o percentual de lipídio foi calculado conforme a equação 2.

$$\text{Lipídios (\%)} = \frac{(\text{copo coletor} + \text{gordura}) - \text{copo coletor}}{\text{peso da amostra}} * 100$$

Eq. 3

#### 4.2.4. Determinação de umidade

A umidade da farinha BSF foi determinada pelo método nº 925.09 da AOAC (2005). Aproximadamente 5 g da amostra foram pesados em cadinhos previamente secos e tarados, e submetidos à secagem em estufa a 105 °C até obter peso constante. O peso final foi registrado e a umidade foi calculada de acordo com a equação (3). A análise foi realizada em triplicata.

$$Umidade (\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} * 100$$

Eq. 4

onde, **mi** é massa inicial (g) e **mf** é massa final (g).

#### 4.2.5. Determinação de atividade de água (AW)

A atividade de água foi determinada, em triplicata, utilizando-se um higrômetro de ponto de orvalho (Aqualab®, 3 TE). A análise foi realizada em triplicata.

#### 4.2.6. Determinação da capacidade da absorção de água (CAA) e de óleo (CAO)

A capacidade de absorção de água (CAA) e de óleo (CAO) foi determinada conforme o método descrito por Batham *et al.* (2013) com modificações. Para cada análise, foram pesados 5 g da amostra em tubos Falcon de 50 mL (W1), e adicionados 25 mL de água e 25 mL de óleo refinado em cada análise, respectivamente. A pasta formada foi homogeneizada em um turrax por 30 segundos, e as fases foram separadas em uma centrífuga (EXCELSA® 4, 280-R) a 3018 rpm (rotação por minuto) por 25 minutos à temperatura ambiente (25 °C). O sobrenadante foi descartado, e o tubo de centrífuga, inclinado a 25°, foi seco em estufa (MARCONI, MA-033) a 50 °C por 25 minutos. Após resfriamento em dessecador, a amostra foi pesada novamente. A CAA e a CAO foram calculadas de acordo com a equação 4. A análise foi realizada em triplicata.

$$CAA(\%) = \frac{W_2 - W_1}{W_2} * 100$$

$$CAO(\%) = \frac{W_3 - W_1}{W_3} * 100$$

Eq. 5

onde, **W1** é o peso da amostra seca (g), **W2** é o peso da farinha após imersão em água (g), **W3** é o peso da farinha após imersão em óleo (g).

#### 4.2.7. Determinação de pH

A determinação do pH foi realizada com um pHmetro digital (Intrutherm, PH-1700) conforme o método nº 981.12 da AOAC (2016). Para isso, 5 g da amostra foram solubilizados em 20 mL de água destilada, e a leitura foi feita diretamente no pHmetro. A análise foi realizada em triplicata.

#### 4.2.8. Determinação de cor

Os parâmetros colorimétricos foram determinados utilizando um colorímetro (Konica Minolta®, CR-400) com iluminante D65. As coordenadas CIELab ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) foram lidas diretamente do aparelho em triplicata. Os valores de  $L^*$  (luminosidade),  $a^*$  (vermelho) e  $b^*$  (amarelo).

#### 4.2.9. Determinação do índice de acidez titulável

A acidez titulável da farinha de larvas BSF foi determinada pelo método 2021.27 do Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal (2023). Para a análise, 5,0 g da amostra foram pesadas em um Erlenmeyer de 250 mL. Em outro Erlenmeyer de 500 mL, foram adicionados 250 mL de álcool etílico absoluto e 4 gotas de fenolftaleína, titulando-se a solução com NaOH 0,1 mol/L até obter uma coloração levemente rósea. Em seguida, adicionaram-se 150 mL de álcool etílico absoluto neutralizado, com agitação a cada 5 minutos por 25 minutos, seguido de repouso por 5 minutos. O sobrenadante foi filtrado para um novo Erlenmeyer. O resíduo foi lavado com 100 mL de álcool etílico, agitado a cada 5 minutos por 15 minutos. O sobrenadante foi filtrado e combinado ao filtrado anterior. Após a adição de 4 a 5 gotas de fenolftaleína, a solução foi titulada com NaOH 0,1 mol/L até que a coloração rósea persistisse por 30 segundos. O volume consumido na titulação foi registrado em mL e calculado conforme equação 6. A análise foi realizada em triplicata.

$$Acidez (\%) = MR = \frac{m}{204,23 * V} * 1000$$

Eq. 6

onde, **MR**: Molaridade real da solução de hidróxido de sódio 0,1 mol/L; **m**: Massa do biftalato de potássio (g); **V**: Volume de hidróxido de sódio 0,1 mol/L gasto em titulação (mL); **204,23**: Massa molar do biftalato de potássio; 1000: Conversão entre unidades de volume (mL e L).

#### 4.2.10. Determinação de índice peróxido

O índice de peróxido foi determinado pelo método 2021.032 do *Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal* (2023). Para a análise, 10g da amostra foram pesadas em um Erlenmeyer de 250 mL com tampa, seguido da adição de 50 mL de álcool metílico, 25 mL de clorofórmio e 20 mL de água destilada. A mistura foi agitada em placa magnética por 30 minutos. Em seguida, adicionaram-se 25 mL de clorofórmio e 25 mL de solução de sulfato de sódio a 1,5%, com nova agitação por 2 minutos. A solução foi transferida para um funil de separação e, após a separação das camadas, filtrada para um Erlenmeyer de 125 mL. Foram recolhidos 25 mL da amostra filtrada, aos quais foram adicionados 20 mL de ácido acético e 0,5 mL de solução saturada de iodeto de potássio. A mistura foi agitada e mantida em um frasco tampado por 1 minuto em uma caixa escura. Posteriormente, adicionaram-se 30 mL de água destilada e 1 mL de solução de amido a 1%. A análise foi realizada em triplicata e calculada com a equação 7.

$$\text{Peróxido (\%)} = MR = \frac{m}{294,2 * V} * 1000 * 6$$

Eq. 7

onde, **MR**: Molaridade real da solução de tiosulfato de sódio 0,01 mol/L; **m**: Massa do dicromato de potássio (g); **6**: Relação estequiométrica entre o iodeto de potássio e dicromato de potássio; **294,2**: Massa molar do dicromato de potássio; **1000**: Conversão entre molaridades de volume (mL e L).

#### 4.2.11. Determinação de índice de rancidez

A rancidez foi avaliada pelo teste qualitativo de Kreiss, conforme o método 2021.057 do *Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal* (2023). Para a análise, 0,5 g da amostra foi pesada e misturada com 100 mL de éter de petróleo, sendo agitada em agitador Kline ou magnético por 30 minutos. Em seguida, a solução foi filtrada em funil de vidro com papel filtro qualitativo ou algodão. O filtrado foi coletado em um erlenmeyer de 250 mL e o solvente evaporado em banho-maria a 70 °C. O resíduo foi seco em estufa a 105 °C por 10 minutos, resfriado em dessecador. Após o resfriamento, 5 mL de ácido clorídrico foram adicionados, seguidos de agitação por 30 segundos. Em seguida, adicionaram-se 5 mL da solução de floroglucinol 0,1% (m/v), com nova agitação por 30 segundos, aliviando a pressão do tubo. A solução foi deixada em repouso por 10 minutos. A presença de substâncias rançosas foi indicada

por uma coloração rósea ou vermelha na camada inferior. Caso a coloração fosse fraca, comparou-se com uma solução de permanganato de potássio 0,0012% (3,8 mL de uma solução 0,002 mol/L diluída para 100 mL de água). Se a intensidade da cor fosse igual ou inferior à solução padrão, o resultado foi desconsiderado, desde que as características sensoriais do produto fossem satisfatórias. A análise foi realizada em triplicata.

#### **4.2.12. Determinação de quitina**

A determinação da quitina foi realizada em três etapas: desmineralização, desproteinação e despigmentação. Inicialmente, 5 g da amostra seca foram submetidos a 100 ml de HCl (1 mol/L) a 60°C sob agitação de 100 rpm por 1 hora e 30 minutos. Em seguida, a amostra foi filtrada utilizando um funil com papel de filtro de poros de 1 µm e lavada com água destilada até atingir pH neutro. Após essa etapa, a amostra foi desproteínizada com 100 ml de NaOH (1 mol/L) a 100°C por 20 horas sob agitação de 100 rpm. Em seguida, foi lavada com 20 ml de NaOH (1 mol/L) e com água destilada até atingir a completa neutralização do pH.

A amostra desmineralizada e desproteínizada foi então incubada por 2 horas em uma mistura de água destilada, etanol 95% e clorofórmio (4:2:1) sob agitação de 200 rpm, promovendo a despigmentação e o branqueamento. Por fim, a amostra foi seca em estufa com circulação de ar a 50°C por 6 horas, resfriada em dessecador e pesada. O rendimento de quitina foi calculado utilizando a seguinte equação 8.

$$\text{Rendimento de quitina (\%)} = \frac{m_{final}}{m_{amostra}} * 100$$

Eq. 8

#### **4.2.13. Determinação de carboidratos**

A determinação de carboidratos foi realizada segundo metodologia descrita pela AOAC (2005), obtida por diferença entre 100 e o somatório das frações protéica, lipídica, de umidade, cinzas e fibra total.

### **4.3. Elaboração dos pães de forma**

#### **4.3.1. Planejamento de misturas**

Para otimizar as formulações dos pães, aplicou-se um planejamento de misturas simplex-centróide de sete pontos com restrição, conduzido em duas fases. Na fase 1, foram realizados testes experimentais em bancada, cujos dados foram processados no software STATISTICA 12.0. Avaliou-se a influência das variáveis independentes - (i) farinha de larvas

BSF, (ii) água e (iii) gordura (margarina 80% lipídios) - nas características físico-químicas e tecnológicas dos pães, a fim de estabelecer os limites superior e inferior dos ingredientes. Os níveis investigados foram: farinha de larvas BSF (0–20%), margarina (8–28%) e água (50–70%) conforme (Tabela 1). Na fase 2, aplicou-se o domínio experimental, composto por sete combinações distintas. A formulação 7 foi preparada em triplicata e utilizada como ponto central das amostras. Para minimizar erros sistemáticos, os experimentos foram conduzidos de forma aleatória.

#### 4.3.2. Fabricação dos pães de forma

Os pães foram elaborados a partir da receita básica de pão, utilizando os seguintes ingredientes: farinha de trigo refinada, farinha desengordurada de larvas de BSF, ovo, açúcar, margarina, leite em pó, sal, melhorador de farinha, fermento biológico seco e água. Todos os ingredientes foram pesados em balança de alta precisão (BL-2200AS-B1, Bioscale, Brasil). Os ingredientes secos foram peneirados e misturados por 1 minuto em velocidade baixa em uma batedeira planetária (Philco, PBP800VM Turbo Inox 1000W, Brasil) até homogeneizar.

Em seguida, foi preparada uma esponja (1:1), composta por 90 g de farinha de trigo refinada, 3 g de fermento biológico seco e 90 g de água filtrada morna, fermentada por 40 minutos à temperatura ambiente ( $\pm 30$  °C). A esponja foi incorporada à mistura homogeneizada e batida por mais 1 minuto antes da adição dos ovos e da água. Na sequência, a margarina foi adicionada, e a massa foi batida na velocidade 2 por 5 minutos até o desenvolvimento do glúten. Após essa etapa, a massa repousou por 10 minutos, foi dividida em porções de 100 g, boleada manualmente, modelada com um rolo de macarrão e disposta em assadeiras metálicas individuais untadas ( $3 \times 5 \times 11,5$  cm).

A fermentação ocorreu em estufa com circulação e renovação de ar (SSDcr 630L, Solidsteel, Brasil) a 30 °C por 40 minutos, sob temperatura e umidade relativa controladas. O assamento foi realizado a 160 °C por 15 minutos em forno elétrico industrial (Venâncio, PICCOLO CONVECTOR FC4MV, Brasil). Após o cozimento, os pães foram resfriados em grade de arame à temperatura ambiente e analisados após 1 hora e 30 minutos de repouso. As formulações foram enriquecidas com 0% a 20% de farinha desengordurada de larvas de *H. illucens*. A Tabela 1 apresenta as formulações desenvolvidas no planejamento experimental com diferentes concentrações dessa farinha.

### 4.3.3. Determinação de umidade, atividade de água e perda de massa

A determinação do teor de umidade dos pães foi realizada com um analisador de umidade (UniBloc Moisture Analyzer MOC63u 60g, SHIMADZU, Brasil). A atividade de água ( $A_w$ ) foi medida utilizando um analisador de atividade de água (LabSwift-aw, Novasina, Suíça). Todas as leituras foram realizadas no miolo do pão, em triplicata. A perda de massa foi determinada pela pesagem dos pães antes e após o assamento, calculando-se o balanço de massa com a equação 9.

$$\text{Perda de massa (\%)} = \frac{M_{inicial} - M_{final}}{M_{inicial}} * 100$$

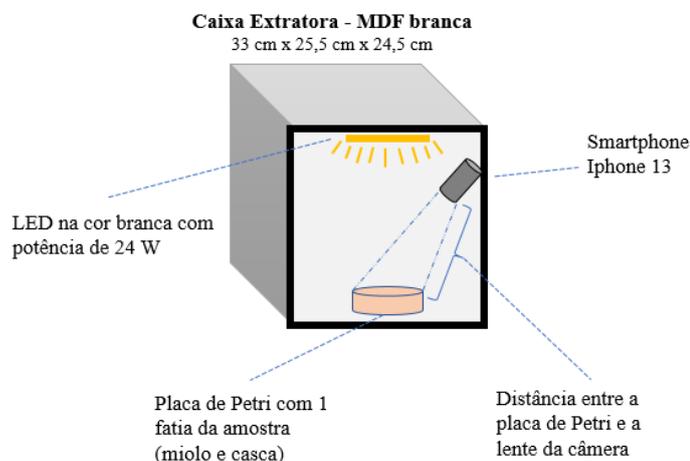
Eq. 9

onde,  $M_{inicial}$  é a massa do pão antes do assamento (g), e  $M_{final}$  é a massa do pão após o assamento (g).

### 4.3.4. Aquisição de imagem

As imagens foram capturadas com um iPhone 13 (modelo A2633), fabricado pela Apple Inc., Califórnia, Estados Unidos, com câmera de 12 MP. As fotografias foram realizadas em uma caixa de MDF fechada, revestida com fórmica branca e iluminação controlada. A caixa, com dimensões de 33 cm x 25,5 cm x 24,5 cm, possui uma lâmpada LED branca de 24W fixada no teto (Figura 4), garantindo a qualidade desejada das imagens. A região de interesse foi delimitada em uma área quadrada de 600 x 600 pixels, localizada no centro de cada imagem. Foi aplicada a técnica de análise multivariada utilizando o software Chemostat nas imagens digitais da casca e do miolo do pão. A casca refere-se à superfície marrom do pão, enquanto o miolo é a estrutura esponjosa branca interna, abaixo da casca.

**Figura 4.** Modelo de caixa extratora utilizada na análise de cor por imagem digital da casca e do miolo dos pães.



*Fonte: Autora, 2025.*

#### 4.4. Elaboração dos pães tipo australiano

##### 4.4.1. Planejamento de misturas

Para o desenvolvimento dos pães tipo australiano aplicou-se um planejamento de misturas simplex-centróide com restrição, variado: farinha BSF (0–10%), margarina (8–18%) e cacau em pó (2–12%), com matriz experimental de sete combinações distintas. Os dados foram processados pelo software STATISTICA 12.0, sendo avaliados a composição centesimal e tecnológica dos pães. O experimento foi realizado aleatoriamente para evitar a ocorrência de erros sistemáticos.

##### 4.4.2. Elaboração dos pães tipo australiano

Os pães foram elaborados a partir da receita básica de pão tipo australiano (Figura 5). Todos os ingredientes foram pesados nas seguintes proporções: farinha de trigo refinada e integral (1:1), água (55% das farinhas de trigo), ovo (10%), melão de cana (10%), margarina (8%), açúcar mascavo (8%), cacau em pó (7%), farinha desengordurada de larvas de BSF (10%), sal (2%), melhorador de farinha (1,5%) e fermento biológico seco (1%). Os ingredientes secos foram misturados por 1 minuto em velocidade baixa na batedeira planetária (Philco, PBP800VM Turbo Inox 1000W, Brasil) até homogeneizar.

**Figura 5.** Esquema representativo do processo de elaboração dos pães tipo australiano enriquecidos com farinha desengordurada de larvas de mosca soldado negra.



*Fonte: Autora, 2025.*

Em seguida, os ovos foram adicionados e batidos por 1 minuto, depois a água foi adicionada e batida por mais 5 minutos. A margarina foi incorporada e a massa foi batida na velocidade 2 por 7 minutos para o desenvolvimento do glúten. Após repouso de 10 minutos, a massa foi porcionada em unidades de 100g, modelada manualmente em formato esférico e polvilhada com 1g de fubá de milho (Figura 6). A fermentação foi realizada a 40°C por 60 minutos, seguida de assamento a 160°C por 10 minutos em forno elétrico industrial (Venâncio, PICCOLO CONVECTOR FC4MV, Brasil). O resfriamento foi em grade de arame à temperatura ambiente, os pães foram avaliados após 1h30min de repouso.

**Figura 6.** Pães tipo australiano elaborados com adição da farinha desengordurada de larvas de mosca soldado negra, antes de serem assados.



*Fonte: Autora, 2025.*

#### 4.4.3. Determinação nutricional e tecnológica dos pães

Os pães elaborados foram analisados os seguintes parâmetros: umidade (%), textura (firmeza em g), Aw (%), volume (mL), cor (CIELab), variação da claridade ( $\Delta L^*$ ), variação total da cor ( $\Delta E^*$ ), proteína (%), lipídios (%) e cinzas (%).

#### 4.4.4. Análise estatística

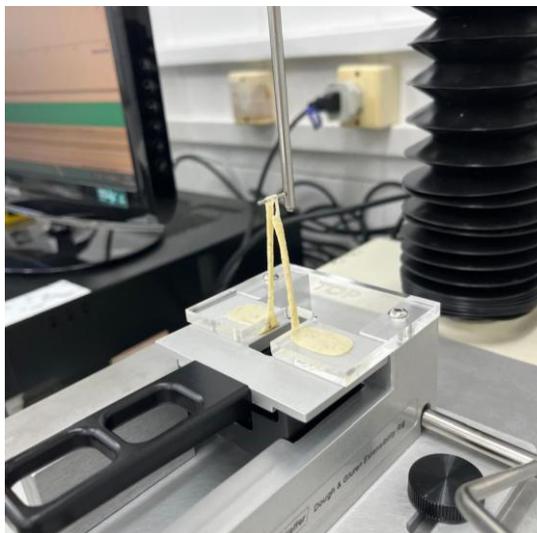
As análises de dados foram realizadas utilizando o programa STATISTICA 12.0, para modelagem da superfície de resposta e análise de variância (ANOVA), com nível de confiança de 95% ( $p < 0,05$ ).

### 4.5. Elaboração de macarrão tipo talharim seco

#### 4.5.1. Propriedades reológicas

Diferentes concentrações de farinha de larvas BSF foram incorporadas à farinha de sêmola durum para avaliar os efeitos reológicos e determinar as concentrações ideais para macarrão. Testes de resistência à extensão (g) e extensibilidade (mm) analisaram a força e flexibilidade da rede de glúten (Boita *et al.*, 2016). As massas seguiram um delineamento inteiramente casualizado, preparadas com 50 g de sêmola durum e 0–40% de farinha de larvas de BSF, hidratadas com água destilada a 2% de NaCl, conforme o coeficiente de absorção de água (CAA) das farinhas utilizada. A adição de NaCl (1–4%) seguiu Tan *et al.* (2018) para melhorar características das massas. As massas foram misturadas em batedeira planetária (Skynsen BPS-05-N) na velocidade 2 por 5 minutos até homogeneização, prensadas em moldes de Teflon lubrificados com óleo mineral e repousaram por 45 minutos em câmara umidificada. A análise reológica seguiu Kowalczewski *et al.* (2015) e utilizou um analisador de textura (TA-XT Plus, Stable Micro Systems) com célula de carga de 5 kg e aparato Kieffer Dough/Gluten Extensibility Figura 7. Foram aplicadas velocidades de pré-teste (2 mm/s), teste (3 mm/s) e pós-teste (10 mm/s) em 10 tiras de massa por amostra. A concentração ideal de farinha de larvas BSF foi determinada por modelagem estatística em três etapas: (a) identificação do modelo adequado, (b) avaliação da significância ( $p < 0,05$ ) e (c) análise do ajuste ( $p > 0,05$ ). Modelos descritivos e regressão linear definiram a melhor concentração para resistência à extensão e extensibilidade.

**Figura 7.** Analisador de textura (TA-XT Plus, Stable Micro Systems) avaliando os efeitos reológicos e determinantes das concentrações ideais de farinha de larvas BSF para o enriquecimento de macarrão.



*Fonte: Autora, 2025.*

#### **4.5.2. Desenvolvimento do macarrão**

Foram desenvolvidas cinco formulações de massa alimentícia considerando critérios reológicos e estatísticos. A adição de farinha de inseto impactou as propriedades da massa, reduzindo a extensibilidade (mínimo de 13,94 mm com 31,76% de farinha desengordurada de larvas BSF) e a resistência à extensão (mínimo de 18,80 g com 14,65% de farinha desengordurada de larvas BSF).

As massas foram preparadas com 0%, 11,75%, 14,65%, 23,5% e 31,76% de farinha desengordurada de larvas BSF, visando atender aos critérios da alegação nutricional "rico em proteína", conforme a Instrução Normativa Brasileira nº 75, de 8 de outubro de 2020. Esta normativa estabelece que produtos que forneçam pelo menos 20% do valor diário recomendado (VDR) de proteínas podem fazer a alegação "rico em proteína", enquanto "aumentado em proteína" é destinado a produtos com mais de 25% do VDR.

Todos os ingredientes foram pesados nas seguintes proporções: 20% de farinha de sêmola durum, 0,5% de sal, 2% de óleo de soja e 40% de água filtrada. Os ingredientes secos foram misturados por 1 minuto em velocidade baixa na batedeira planetária até homogeneizar. Em seguida, o óleo e a água foram adicionados e misturados por 4 minutos até formar uma massa homogênea. A massa foi então extrusada na máquina de massas (INDIANA, MINI 30) no formato "talharim", com 5 cm de comprimento e 3 mm de espessura. As amostras recém-extrusadas foram secas em estufa de circulação de ar a 60 °C por 3 horas, até atingirem um teor

de umidade máximo de 13,0% (g/100g), conforme a Resolução nº 263, de 22 de setembro de 2005, da ANVISA, que estabelece esse limite para massas alimentícias secas.

**Figura 8.** Massa fresca extrusada (F) e massa cozida (G) com 11,75% (mínimo) de adição de farinha de larvas BSF. Massa fresca extrusada (H) e massa cozida (I) com 31,76% (máximo) de adição de farinha de larvas de BSF.



*Fonte: Autora, 2025.*

#### 4.5.3. Determinação do teor de proteína bruta

A determinação do teor de proteína bruta foi realizada pelo método de Micro Kjeldahl (AOAC nº 979.09), dividido em três etapas: digestão, destilação e titulação. Na etapa de digestão, 0,5 g da amostra foi digerida em 5 mL de ácido sulfúrico concentrado, com a adição de 1,5 g da mistura catalítica (sulfato de potássio e sulfato de cobre na proporção 9:1), sob aquecimento em bloco digestor de nitrogênio a 400 °C.

A digestão foi mantida por 4 horas, até que as amostras adquirissem uma coloração azul-esverdeada clara. Em seguida, foram adicionados 10 mL de água destilada a cada tubo para evitar a solidificação da amostra. Na etapa de destilação, a solução digerida foi alcalinizada com 25 mL de NaOH a 50 %, e a amônia liberada foi destilada em um destilador de nitrogênio, sendo coletada em uma solução contendo 20 mL de ácido bórico a 4 %, juntamente com a solução indicadora composta por verde de bromocresol, vermelho de metila e álcool etílico.

Por fim, na etapa de titulação, a solução destilada foi titulada com HCl 0,1 M, previamente padronizado com fator de correção de 0,9845. A porcentagem de proteína foi quantificada de acordo com a Equação (X), utilizando-se o fator de conversão de nitrogênio para proteína de 5,70. A análise foi realizada em triplicata utilizando a equação 10.

$$Proteína (\%) = \frac{(V_1 - V_2) * N * 14,01 * 5,70}{M} * 100$$

Eq. 10

onde,  $V_1$  é o volume gasto de HCl (mL),  $V_2$  o volume gasto no branco (mL),  $N$  a normalidade do HCl (0,1 N), **14,01** o peso atômico do nitrogênio, 5,70 o fator de correção do nitrogênio e  $M$  a Massa da amostra (g).

#### 4.5.4. Determinação do teor de umidade

A umidade foi determinada de acordo com o método AOAC nº 925.10. Aproximadamente 2 a 5 g de amostra triturada foi pesada em cápsulas previamente secas e taradas, sendo posteriormente submetida à secagem em estufa a 105 °C por 7 horas, até atingir peso constante. Em seguida, as cápsulas foram resfriadas em dessecador por 30 minutos e pesadas em balança analítica. A análise foi realizada em triplicata.

#### 4.5.5. Determinação do teor de cinzas

O teor de cinzas foi determinado conforme o método AOAC nº 942.05. Amostras cruas trituradas (2 g a 5 g) foram pesadas em cadinhos de porcelana previamente preparados e calcinadas em mufla a 550 °C por 6 horas, até atingirem coloração branca (Figura 8). Em seguida, as amostras foram resfriadas em dessecador até a temperatura ambiente e, posteriormente, pesadas. O percentual de cinzas foi calculado por meio da equação 11 correspondente. A análise foi realizada em triplicata.

$$Cinzas (\%) = \frac{A - B}{C} * 100$$

Eq. 11

onde,  $A$  é a massa da amostra mais recipiente (g),  $B$  a massa do recipiente mais amostra após a secagem (g), e  $C$  a massa da amostra (g).

**Figura 9.** Amostra do macarrão após calcinação em mufla a 550 °C por 6 horas.



*Fonte: Autora, 2025.*

#### **4.5.6. Determinação do teor de lipídios**

A determinação dos lipídios foi realizada por meio da extração em aparelho Soxhlet, conforme o método AOAC n° 948.22. Para a análise, foram pesadas de 2 g a 5 g da amostra em cartuchos de papel filtro qualitativo de 9 cm. Os copos coletores foram previamente desengordurados e secos em estufa a 105 °C por 2 horas, resfriados em dessecador por aproximadamente 1 hora até atingirem a temperatura ambiente e, posteriormente, pesados. O cartucho contendo a amostra foi inserido no aparelho de Soxhlet, e 120 mL de éter de petróleo P.A. 30-60° foram adicionados aos copos coletores para a extração (Figura 10). O processo foi conduzido a 60 °C por 6 horas. Após a extração, os copos contendo o éter foram recolhidos e secos em estufa a 105 °C por 30 minutos, resfriados em dessecador até atingirem a temperatura ambiente e pesados novamente. O ciclo de aquecimento e resfriamento foi repetido até a obtenção de peso constante.

**Figura 10.** Processo de extração de lipídios em aparelho soxhlet com éter de petróleo em amostra de macarrão.



*Fonte: Autora, 2025.*

#### 4.5.7. Determinação de cor

Os parâmetros colorimétricos foram determinados utilizando um colorímetro (Konica Minolta®, CR-400) operando com iluminante D65. As coordenadas CIELab ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) foram medidas diretamente no equipamento, em triplicata. O valor de  $L^*$  (luminosidade) varia de 0 (preto) a 100 (branco), enquanto a coordenada  $a^*$  representa a variação entre verde (-60) e vermelho (+60), e a coordenada  $b^*$  varia do azul (-) ao amarelo (+). As medições foram realizadas em triplicata para cada amostra.

#### 4.5.8. Tempo de cozimento ótimo (OCT)

Vinte e cinco gramas de macarrão seco cru foram adicionados a 300 mL de água fervente (sem adição de sal), mantendo-se uma fervura contínua. Durante o processo, amostras foram retiradas a cada 30 segundos e pressionadas entre duas lâminas de vidro transparentes. O OCT foi determinado quando nenhum núcleo branco era mais visível, indicando a hidratação completa do macarrão. As avaliações foram realizadas conforme os procedimentos descritos pela AACC (2000).

#### 4.5.9. Determinação de textura

A análise de textura foi realizada em amostras cozidas utilizando um analisador de textura TA.XTplus (Stable Micro System Co. Ltd., Godalming, Reino Unido), seguindo o método descrito pela AACC (2000) e testado por Kowalczewski *et al.* (2015). O equipamento

foi equipado com uma sonda reta de plexiglass (A/LKB-F, Stable Micro System Co. Ltd., Godalming, Reino Unido), e as medições foram realizadas à temperatura ambiente, utilizando uma célula de carga de 5 kg. Cinco tiras de massa cozida e escorrida, com 5 cm de comprimento cada, foram posicionadas lado a lado na plataforma do analisador (Figura 10). Para a análise, foi utilizada uma sonda retangular de 35 mm × 50 mm, com os seguintes parâmetros de teste: velocidade pré-teste de 0,5 mm/s, velocidade de teste de 0,2 mm/s e velocidade pós-teste de 10 mm/s. A distância de descida da sonda foi de 4,5 mm, permitindo o corte completo da amostra. As amostras apresentavam dimensões de 2 mm de altura, 10 mm de largura e 100 mm de comprimento. A força máxima necessária para cortar a amostra (força máxima de cisalhamento ou firmeza) e o trabalho necessário para movimentar a lâmina através da amostra (trabalho de cisalhamento) foram calculados. Os resultados foram expressos como a média de quatro réplicas.

**Figura 11.** Analisador de textura (TA-XT Plus, Stable Micro Systems) avaliando os efeitos de textura da massa alimentícia cozida no tempo ótimo de cozimento.



*Fonte: Autora, 2025.*

#### 4.5.10. Perda de sólidos

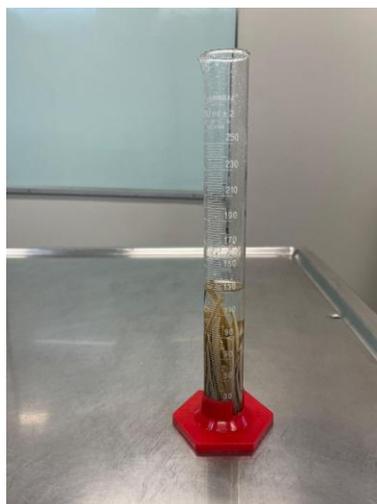
A perda de sólidos durante o cozimento foi determinada por gravimetria, conforme descrito por Duda *et al.* (2019). A massa foi cozida de acordo com o OCT, e 10 mL da água de cozimento de cada amostra foram coletados e transferidos para placas de Petri previamente taradas. Em seguida, as placas foram colocadas em estufa a 105 °C até a secagem completa. Após esse processo, as amostras foram resfriadas em dessecador por 30 minutos e,

posteriormente, pesadas. A perda de sólidos foi calculada como a razão entre a massa cozida e a crua (g/g).

#### 4.5.11. Aumento de volume

O aumento de volume das massas foi determinado pelo método descrito por Chang *et al.* (2004), com modificações. Amostras de 25 g foram imersas em 110 mL de querosene (Figura 11), e o volume deslocado pelo querosene foi medido tanto para a massa crua quanto para a massa cozida. Os resultados foram expressos como o fator de aumento de volume da massa após a cocção.

**Figura 12.** Proveta com 110 mL de querosene adicionados a 25 g de macarrão seco para avaliação do deslocamento de volume.



*Fonte: Autora, 2025.*

#### 4.5.12. Absorção de água

O índice de absorção de água foi determinado de acordo com Axentii *et al.* (2023), com modificações. Para isso, 25 g de massa foram cozidos em 300 mL de água filtrada, seguindo o OCT definido para cada amostra. Após o cozimento, o excesso de água foi drenado em uma peneira fina por 3 minutos, e adicionado 50 mL de água para parar o cozimento e o peso do produto cozido foi registrado. O índice de absorção de água foi calculado como: **W1** é peso da amostra cozida (g), **W2** é o peso da amostra crua (g).

$$\text{Absorção de água (\%)} = \frac{W1 (g) - W2 (g)}{W2 (g)} \times 100$$

Eq. 12

**4.5.13. Análise estatística**

Os dados foram analisados utilizando os softwares Jamovi e Statistica 12.0, empregando ANOVA e regressão linear, incluindo termos lineares e quadráticos. A qualidade do ajuste foi avaliada pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e pelo teste F. A normalidade dos resíduos foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, enquanto a homocedasticidade foi analisada pelo teste de Breusch-Pagan. O nível de significância adotado foi de 5% ( $p < 0,05$ ). Quando aplicável, os dados foram expressos como média  $\pm$  desvio padrão (DP).

## **5 RESULTADOS**

Como resultados da presente dissertação, foram produzidos três (3) manuscritos que estão em processo de publicação e uma (1) patente depositada, número do protocolo: BR 10 2025 001303 7.

## 6 REFERÊNCIAS

ACOSTA-ESTRADA, B.A., REYES, A., ROSELL, C.M., RODRIGO, D., & IBARRA-HERRERA, C.C. (2021). Benefits and challenges in the incorporation of insects in food products. **Frontiers in Nutrition**, 8, 687712.

ARP, C. G.; PASINI, G. Exploring edible insects: From sustainable nutrition to pasta and noodle applications—A critical review. **Foods**, v. 13, p. 3587, 2024.

BABU, Sidharth, GARZA, Jeff, KUMAR, Rajesh, TALAVERA, Martin J., Sensory optimization of Peruvian lucuma fruit ice cream using I-optimal mixture design, **Applied Food Research**, Volume 5, Issue 1, 2025, 100807, ISSN 2772-5022.

BARRAGAN-FONSECA, K.B.; DICKE, M.; VAN LOON, J.J.A. Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed – a review. **Journal Of Insects As Food And Feed**, [S.L.], v. 3, n. 2, p. 105-120, 16 jun. 2017.

BESSA, Leah W. et al. Why for feed and not for human consumption? The black soldier fly larvae. **Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety**, [S.L.], v. 19, n. 5, p. 2747-2763, set. 2020.

BESSA, Leah W. *et al.* Why for feed and not for human consumption? The black soldier fly larvae. **Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety**, [S.L.], v. 19, n. 5, p. 2747-2763, set. 2020.

BORRELLI, Luca et al. Insect-based diet, a promising nutritional source, modulates gut microbiota composition and SCFAs production in laying hens. **Scientific Reports**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 1-11, 24 nov. 2017.

BORRELLI, Luca *et al.* Insect-based diet, a promising nutritional source, modulates gut microbiota composition and SCFAs production in laying hens. **Scientific Reports**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 1-11, 24 nov. 2017.

BOSCH, Guido *et al.* Protein quality of insects as potential ingredients for dog and cat foods. **Journal Of Nutritional Science**, [S.L.], v. 3, p. 1-4, 2014.

BRASIL. Farinha de grilo e barrinhas de besouros: estes brasileiros apostam em insetos como alimento. 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/bemestar/noticia/2018/09/26/farinha-de-grilo-e-barrinhas-de-besouros-estes-brasileiros-apostam-em-insetos-como-alimento.ghtml>. Acesso em: 20 jun. de 2024.

BRASIL. **Farinha de grilo e barrinhas de besouros:** estes brasileiros apostam em insetos como alimento. 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/bemestar/noticia/2018/09/26/farinha-de-grilo-e-barrinhas-de-besouros-estes-brasileiros-apostam-em-insetos-como-alimento.ghtml>>. Acesso em: 20 jun. de 2024.

BRASIL. **Insetos Comestíveis.** 2020. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/insetos-comestiveis/>>. Acesso em: 20 jun. de 2024.

BRASIL. Insetos Comestíveis. 2020. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/insetos-comestiveis/>. Acesso em: 20 jun. de 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC nº 711, de 01 de julho de 2022. Dispõe sobre os requisitos sanitários dos amidos, biscoitos, cereais integrais, cereais processados, farelos, farinhas, farinhas integrais, massas alimentícias e pães. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, n. 126, 2022.

BRASIL. Por que você deve começar a comer insetos. 2013. Disponível em: <https://super.abril.com.br/saude/por-que-voce-deve-comecar-a-comer-insetos>. Acesso em: 22 jun. 2024.

BRASIL. **Por que você deve começar a comer insetos**. 2013. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/saude/por-que-voce-deve-comecar-a-comer-insetos>>. Acesso em: 22 jun. 2024.

BRASIL. Resolução da diretoria colegiada – RDC nº 14, de 28 de março de 2014. Dispõe sobre matérias estranhas macroscópicas e microscópicas em alimentos e bebidas, seus limites de tolerância e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. 2014.

BRASIL. Resolução da diretoria colegiada – RDC nº 14, de 28 de março de 2014. Dispõe sobre matérias estranhas macroscópicas e microscópicas em alimentos e bebidas, seus limites de tolerância e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. 2014.

BRESCIANI, A.; PAGANI, M.A.; MARTI, A. (2022). Pasta-making process: A narrative review on the relation between process variables and pasta quality. **Foods**, 11, 256.

BROGAN, Emily N. et al. Characterization of protein in cricket (*Acheta domesticus*), locust (*Locusta migratoria*), and silk worm pupae (*Bombyx mori*) insect powders. *Lwt*, [S.L.], v. 152, p. 112314, dez. 2021.

BROGAN, Emily N. *et al.* Characterization of protein in cricket (*Acheta domesticus*), locust (*Locusta migratoria*), and silk worm pupae (*Bombyx mori*) insect powders. *Lwt*, [S.L.], v. 152, p. 112314, dez. 2021.

ÇABUK, B. (2021). Influence of grasshopper (*Locusta migratoria*) and mealworm (*Tenebrio molitor*) powders on the quality characteristics of protein rich muffins: Nutritional, physicochemical, textural and sensory aspects. ***Journal of Food Measurement and Characterization***, 15, 3862–3872.

CAVALHEIRO, Carlos Pasqualin *et al.* Cricket (*Acheta domesticus*) flour as meat replacer in frankfurters: nutritional, technological, structural, and sensory characteristics. ***Innovative Food Science & Emerging Technologies***, [S.L.], v. 83, p. 103245, jan. 2023.

DELICATO, C.; SCHOUTETEN, J. J.; DEWETTINCK, K.; GELLYNCK, X.; TZOMPA-SOSA, D. A. Consumers' perception of bakery products with insect fat as partial butter replacement. ***Food Quality and Preference***, v. 79, p. 103755, 2020.

DELFINO, D., CUTRONEO, S., PRANDI, B., RIDOLO, E., NICOLETTA, F., CARINI, E., PEDRONI, L., DELLAFIORA, L., TEDESCHI, T., & FOLLI, C. (2025). Combined effect of temperature and pH on the structure and IgE-reactivity of Arginine Kinase from the edible insect *Hermetia illucens*. ***Future Foods***, 11, 100589, ISSN 2666-8335.

DIENER, S. Valorisation of organic solid waste using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, in low and middle-income countries. Eth Zurich, 2010.

DIENER, S. Valorisation of organic solid waste using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, in low and middle-income countries. **Eth Zurich**, 2010.

DIENER, Stefan; ZURBRÜGG, Christian; TOCKNER, Klement. Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, [S.L.], v. 27, n. 6, p. 603-610, 5 jun. 2009.

DIENER, Stefan; ZURBRÜGG, Christian; TOCKNER, Klement. Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. **Waste Management & Research**: The Journal for a Sustainable Circular Economy, [S.L.], v. 27, n. 6, p. 603-610, 5 jun. 2009.

DREON, A. L.; PAOLETTI, M. G. The wild food (plants and insects) in Western Friuli local knowledge (Friuli-Venezia Giulia, Northeastern Italy). *Contrib. Nat. Hist.*, v. 12, p. 461–488, 2009.

DREON, A. L.; PAOLETTI, M. G. The wild food (plants and insects) in Western Friuli local knowledge (Friuli-Venezia Giulia, Northeastern Italy). **Contrib. Nat. Hist.**, 12, 461–488, 2009.

DUDA, A.; ADAMCZAK, J.; CHEŁMIŃSKA, P.; JUSZKIEWICZ, J.; KOWALCZEWSKI, P. Quality and nutritional/textural properties of durum wheat pasta enriched with cricket powder. **Foods**, v. 8, p. 46, 2019

DUMAS, André *et al.* The oil fraction and partially defatted meal of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) affect differently growth performance, feed efficiency, nutrient deposition, blood glucose and lipid digestibility of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, [S.L.], v. 492, p. 24-34, jul. 2018.

EFSA SCIENTIFIC COMMITTEE. Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal*, v. 13, n. 10, p. 4257, 2015. Disponível em: <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/4257>. Acesso em: 27 jun. 2024.

EFSA SCIENTIFIC COMMITTEE. Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. **EFSA Journal**, v. 13, n. 10, p. 4257, 2015. Disponível em: <<https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/4257>>. Acesso em: 27 jun. 2024.

ERICKSON, M. C., ISLAM, M., SHEPPARD, C., LIAO, J., & DOYLE, M. P. Reduction of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella enterica* serovar Enteritidis in chicken manure by larvae of the black soldier fly. *J. Food Prot.*, v. 67, p. 685–690, 2004.

ERICKSON, M. C.; ISLAM, M.; SHEPPARD, C.; LIAO, J.; DOYLE, M. P. Reduction of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella enterica* serovar Enteritidis in chicken manure by larvae of the black soldier fly. *J. Food Prot.*, v. 67, p. 685–690, 2004.

EUROPEAN COMMISSION. **Summary of the applications submitted within the meaning of Article 10(1) of Regulation (EU) 2015/2283**. Disponível em:<[https://food.ec.europa.eu/safety/novel-food/authorisations/summary-applications-and-notifications\\_en](https://food.ec.europa.eu/safety/novel-food/authorisations/summary-applications-and-notifications_en)>. Acesso em: 27 jun. 2024.

FERNANDEZ-CASSI, X. *et al.* Microbial communities and food safety aspects of crickets (*Acheta domesticus*) reared under controlled conditions. **Journal Of Insects As Food And Feed**, [S.L.], v. 6, n. 4, p. 429-440, 11 ago. 2020.

FINKE, Mark D. Complete Nutrient Content of Four Species of Feeder Insects. **Zoo Biology**, [S.L.], v. 32, n. 1, p. 27-36, 11 jun. 2013.

FINKE, Mark D. Estimate of chitin in raw whole insects. **Zoo Biology**, [S.L.], v. 26, n. 2, p. 105-115, mar. 2007.

FLORENÇA, Sofia G. *et al.* Edible Insects: preliminary study about perceptions, attitudes, and knowledge on a sample of portuguese citizens. **Foods**, [S.L.], v. 10, n. 4, p. 709, 26 mar. 2021.

FROONICKX, Lotte *et al.* The potential of black soldier fly to recycle nitrogen from biowaste. **Current Opinion In Green And Sustainable Chemistry**, [S.L.], v. 44, p. 100864, dez. 2023.

GALVAN, D., EFFTING, L., CREMASCO, H., & CONTE-JUNIOR, C. A. (2021). Recent Applications of Mixture Designs in Beverages, Foods, and Pharmaceutical Health: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Foods**, 10(8), 1941.

GAMERO-BARRAZA, Jorge Iñaki *et al.* Computational modelling of extrusion process temperatures on the interactions between black soldier fly larvae protein and corn flour starch. **Food Chemistry: Molecular Sciences**, [S.L.], v. 8, p. 100202, 2024.

GONZÁLEZ, C. M.; GARZÓN, R.; ROSELL, C. M. Insects as ingredients for bakery goods. A comparison study of *H. illucens*, *A. domestica* and *T. molitor* flours. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 51, p. 205-210, 2019.

HEO, J. M. *et al.* Gastrointestinal health and function in weaned pigs: a review of feeding strategies to control post-weaning diarrhoea without using in-feed antimicrobial compounds. **Journal Of Animal Physiology And Animal Nutrition**, [S.L.], v. 97, n. 2, p. 207-237, 14 mar. 2012.

HIDALGO, A.; CULLERE, M.; DALLE ZOTTE, A.; PASINI, G. Salt-soluble protein extracts from *Hermetia illucens* and *Bombyx mori* for high-protein pasta production. **LWT**, v. 190, p. 115507, 2023.

HUSEYNLI, Lachinkhanim *et al.* Exploring the protein content and odor-active compounds of black soldier fly larvae for future food applications. **Future Foods**, [S.L.], v. 7, p. 100224, jun. 2023.

INDRIANI, S., AB KARIM, M. S. B., NALINANON, S., & KARNJANAPRATUM, S. (2020). Quality characteristics of protein-enriched brown rice flour and cake affected by Bombay locust (*Patanga succincta* L.) powder fortification. **LWT - Food Science and Technology**, 119, Article 108876.

JEONG, M.-S., LEE, S.-D., & CHO, S.-J. (2021). Efeito de três solventes desengordurantes nas propriedades tecnofuncionais de um concentrado proteico de inseto comestível (*Gryllus bimaculatus*). **Molecules**, 26, 5307.

JONGEMA, Y. **World List of Edible Insects**. Laboratory of Entomology, Wageningen University, Wageningen. 2015. Disponível em: <[https://www.wur.nl/upload\\_mm/7/4/1/ca8baa25-b035-4bd2-9fdc-a7df1405519a\\_WORLD%20LIST%20EDIBLE%20INSECTS%202015.pdf](https://www.wur.nl/upload_mm/7/4/1/ca8baa25-b035-4bd2-9fdc-a7df1405519a_WORLD%20LIST%20EDIBLE%20INSECTS%202015.pdf)>. Acesso em: 21 jun. 2024.

KIM, T.-K., YONG, H. I., KIM, Y.-B., JUNG, S., KIM, H.-W., & CHOI, Y.-S. Effects of organic solvent on functional properties of defatted proteins extracted from *Protaetia brevitarsis* larvae. **Food Chemistry**, 336, 127679, 2021.

Kouřimská, L., & Adámková, A. Nutritional and sensory quality of edible insects. **NFS Journal**, 4, 22-26, 2016.

KOWALSKI, Stanisław *et al.* Wheat bread supplementation with various edible insect flours. Influence of chemical composition on nutritional and technological aspects. **LWT**, [S.L.], v. 159, p. 113220, abr. 2022.

LI, An *et al.* Edible insects as a novel source of lecithin: extraction and lipid characterization of black soldier fly larvae and yellow mealworm. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 452, p. 139391, set. 2024.

LI, Junliang *et al.* Effects of dietary supplementation of chitosan on humoral and cellular immune function in weaned piglets. **Animal Feed Science And Technology**, [S.L.], v. 186, n. 3-4, p. 204-208, dez. 2013.

LILAND, Nina S. *et al.* Modulation of nutrient composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae by feeding seaweed-enriched media. **Plos One**, [S.L.], v. 12, n. 8, p. e0183188, 24 ago. 2017.

LU, Shengyong *et al.* Nutritional Composition of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens* L.) and Its Potential Uses as Alternative Protein Sources in Animal Diets: a review. **Insects**, [S.L.], v. 13, n. 9, p. 831, 13 set. 2022.

MAGARA HJO, NIASSY S, AYIEKO MA, MUKUNDAMAGO M, EGONYU JP, TANGA CM, et al. Edible crickets (Orthoptera) around the world: distribution, nutritional value, and other benefits—a review. **Frontiers in Nutrition**, (2021) 7:257.

MAKKAR, H. P. S.; TRAN, G.; HEUZÉ, V.; ANKERS, P. State-of-the-art on use of insects as animal feed. **Animal Feed Science and Technology**, v. 197, p. 1–33, nov. 2014.

MAKOKHA, M. P., MULIRO, P. S., NGODA, P. N., GHEMOH, C. J., SUBRAMANIAN, S., XAVIER, C., OCHIENG, B. O., EKESI, S., & TANGA, C. M. (2023). Unravelling the nutritional and health benefits of wheat bread enriched with meat powder from laying hen fed diet with insect (*Hermetia illucens*) meal. **Heliyon**, 9(10), e20506, ISSN 2405-8440.

MARINOPOULOU, Anna *et al.* Effects of the Incorporation of Male Honey Bees on Dough Properties and on Wheat Flour Bread's Quality Characteristics. **Foods**, [S.L.], v. 12, n. 24, p. 4411, 7 dez. 2023.

MARSHALL, S. A., WOODLEY, N. E., HAUSER, M. The historical spread of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera, Stratiomyidae, Hermetiinae), and its establishment in Canada. **J. Entomol. Soc. Ontario**, 146, 51–54, 2015.

MESSIA, M. C.; CUOMO, F.; FALASCA, L.; TRIVISONNO, M. C.; DE ARCANGELIS, E.; MARCONI, E. Nutritional and technological quality of high protein pasta. **Foods**, v. 10, p. 589, 2021.

MORAES FILHO, M. L., BUSANELLO, M., PRUDENCIO, S. H., & GARCIA, S. (2018). Soymilk with okara flour fermented by *Lactobacillus acidophilus*: Simplex-centroid mixture design applied in the elaboration of probiotic creamy sauce and storage stability. **LWT**, 93, 339–345.

MUSIKA, J.; KAPCUM, C.; ITTHIVADHANAPONG, P.; MUSIKA, T.; HANMONTREE, P.; PIAYURA, S. Enhancing nutritional and functional properties of gluten-free Riceberry rice pasta supplemented with cricket powder using D-optimal mixture design. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 8, p. 1417045, 2024.

NJAPNDOUNKE, B., NGOUÉNAM, R. J., KOUAM, E. M. F., BOUNGO, G. T., KLANG, J. M., & NGOUFACK, F. Z. (2023). Mixture design approach for the development of a cowpea and banane cochon flour-based gluten-free biscuit: Chemical, glycemic load, sensory and microbiological characteristics of the optimal biscuit. **Future Foods**, 8, 100264.

OLIVEIRA, L. A. et al. Nutritional content, amino acid profile, and protein properties of edible insects (*Tenebrio molitor* and *Gryllus assimilis*) powders at different stages of development. **Journal of Food Composition and Analysis**, 125, 105804, 2024.

OLIVEIRA, L. M. de; SILVA LUCAS, A. J. da; CADAVAL, C. L.; MELLADO, M. S. Bread enriched with flour from cinereous cockroach (*Nauphoeta cinerea*). **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 44, p. 30-35, 2017

OLIVEIRA, L. M., LUCAS, A. J. S., CADAVAL, C. L., & MELLADO, M. S. (2017). Bread enriched with flour from cinereous cockroach (*Nauphoeta cinerea*). **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 44, 30-35.

OSIMANI, A., MILANOVIĆ, V., CARDINALI, F., RONCOLINI, A., GAROFALO, C., CLEMENTI, F., et al. (2018). Bread enriched with cricket powder (*Acheta domesticus*): A technological, microbiological and nutritional evaluation. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 48, 150–163.

PATHANIA, S., BHATIA, C., & TIWARI, B. K. (2021). Food formulation and product development. **Food Formulation**, 1–4.

PEDRAZZANI, Clara *et al.* Black soldier fly as a New chitin source: extraction, purification and molecular/structural characterization. **LWT**, [S.L.], v. 191, p. 115618, jan. 2024.

PÉREZ-RODRÍGUEZ, E.; IBARRA-HERRERA, C. C.; PÉREZ-CARRILLO, E. Effect of incorporation of solid-state fermented edible insects *Tenebrio molitor* and *Sphenarium purpurascens* with *Aspergillus oryzae* in the elaboration of bread. **LWT**, v. 184, p. 115003, 2023.

PIAZZA, L.; RATTI, S.; GIROTTO, F.; CAPPELLOZZA, S. Silkworm pupae derivatives as source of high-value protein intended for pasta fortification. **Journal of Food Science**, v. 88, p. 341–355, 2023

PREZENZA, L., FABRÍCIO, L. F. D. F., GALVÃO, J. A., & VIEIRA, T. M. F. D. S. (2022). Simplex-centroid mixture design as a tool to evaluate the effect of added flours for optimizing the formulation of native Brazilian freshwater fish burger. **LWT**, 156, 113008.

QUEIROZ, Lucas Sales *et al.* Edible insect as an alternative protein source: a review on the chemistry and functionalities of proteins under different processing methods. **Heliyon**, [S.L.], v. 9, n. 4, p. e14831, abr. 2023.

RANGEL-PERAZA, J., GASCA, E., BUSTOS-TERRONES, Y. A., ROCHÍN MEDINA, J., RODRÍGUEZ-MATA, A., & SANHOUSE-GARCÍA, A. (2017). Optimisation of food processing with multiple quality characteristics using desirability function. **International Journal of Quality Engineering and Technology**, 6(4).

SANTIAGO, L. A., QUEIROZ, L. S., TAVARES, G. M., FEYISSA, A. H., SILVA, N. F. N., & CASANOVA, F. (2024). Edible insect proteins: how can they be a driver for food innovation? **Current Opinion in Food Science**, 58, 101195.

SANTORI, A., GELLI, M., MENEGUZ, S., MERCANDINO, S., CUCCI, E., & SEZZI, S. (2024). Microbiological stability of *Hermetia illucens* meal subjected to two different heat treatments. **Journal of Stored Products Research**, 109, 102440, ISSN 0022-474X.

SCHIAVONE, Achille *et al.* Partial or total replacement of soybean oil by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) fat in broiler diets: effect on growth performances, feed-choice, blood traits, carcass characteristics and meat quality. **Italian Journal Of Animal Science**, [S.L.], v. 16, n. 1, p. 93-100, 21, 2017.

SHENGYONG, L. *et al.* Nutritional composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) and its potential uses as alternative protein sources in animal diets. **Insects**, 13, 831, 2022.

SINGH, A.; KUMARI, K. An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 251, p. 109569, dez. 2019.

STÅHLS, Gunilla *et al.* The puzzling mitochondrial phylogeography of the black soldier fly (*Hermetia illucens*), the commercially most important insect protein species. **Bmc Evolutionary Biology**, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 1-10, 24 maio de 2020.

SURYATI, T.; JULAEHA, E.; FARABI, K.; AMBARSARI, H.; HIDAYAT, A. T. Lauric acid from the black soldier fly (*Hermetia illucens*) and its potential applications. **Sustainability**, v. 15, p. 10383, 2023.

SWIATKIEWICZ, S. *et al.* Chitosan and its oligosaccharide derivatives (chito-oligosaccharides) as feed supplements in poultry and swine nutrition. **Journal Of Animal Physiology And Animal Nutrition**, [S.L.], v. 99, n. 1, p. 1-12, 12 jul. 2015.

TANGA, C. M., NZOMO, A. M., NDEGWA, P. N., EKESI, S., KHAMIS, F. M., AKUTSE, K. S., ONG'AMO, G., OCHIENG, B. O., KABABU, M., BEESIGAMUKAMA, D., CHIA, S. Y., CHANGEH, J. G., SUBRAMANIAN, S., DUBOIS, T., & KELEMU, S. (2025). Desert

locust (*Schistocerca gregaria*) flour as an emerging functional ingredient for baking flavorful and nutritious whole wheat bread. **Applied Food Research**, 100802, ISSN 2772-5022.

TUNES, Suzel. Insetos comestíveis: com alto valor proteico, grilos, larvas de besouros e formigas conquistam espaço como alternativa alimentar. **Revista Pesquisa FAPESP**, 2020. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/insetos-comestiveis/>>. Acesso em: 22 jun. 2024.

VAN HUIS, A.; OONINCX, D. G. A. B. The environmental sustainability of insects as food and feed: A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 37, n. 43, 2017.

VAN HUIS, Arnold *et al.* Nutritional Qualities and Enhancement of Edible Insects. **Annual Review Of Nutrition**, [S.L.], v. 41, n. 1, p. 551-576, 11 out. 2021.

VERNEAU, Fábio; AMATO, Mario; LABARBERA, Francesco La. Edible Insects and Global Food Security. **Insects**, [S.L.], v. 12, n. 5, p. 472, 19, 2021.

WANG, Y.-S., & SHELOMI, M. (2017). Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. **Foods**, 6, 91.

WANNASUPCHUE, W.; WONGTHAHAN, P. Amino acid composition and chemical properties of protein noodles incorporated with cricket (*Gryllus bimaculatus De Geer*) powder. **International Food Research Journal**, v. 31, p. 368–377, 2024.

YU, G., CHEN, Y., YU, Z., & CHENG, P. Research progress on the larvae and prepupae of black soldier fly *Hermetia illucens* used as animal feedstuff. **Chin. Bull. Entomol.**, v. 46, p. 41–45, 2009.

ZOTTE, Antonella Dalle *et al.* Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) as Dietary Source for Laying Quails: live performance, and egg physico-chemical quality, sensory profile and storage stability. **Animals**, [S.L.], v. 9, n. 3, p. 115, 25 mar. 2019.

ZOZO, Bongisiwe *et al.* The Nutritional Quality and Structural Analysis of Black Soldier Fly Larvae Flour before and after Defatting. **Insects**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 168, 4 fev. 2022.

## 5.1

---

***Manuscrito:** Farinha desengordurada de larvas de mosca soldado negra (BSF) em formulação de pães de forma: Aplicação de planejamento de mistura com restrição e análise multivariada de cor*

1 **Farinha desengordurada de larvas de mosca soldado negra (BSF) em formulação de**  
2 **pães de forma: Aplicação de planejamento de mistura com restrição e análise**  
3 **multivariada de cor**

4  
5 Edna Santana de Sena<sup>a</sup>; Jade Silva Oliveira<sup>b</sup>; Liz Oliveira dos Santos<sup>c</sup>; Mariana Costa  
6 Souza<sup>c</sup>; Jéssica Souza Ribeiro<sup>c</sup>; Uillian Mozart Ferreira da Mata Cerqueira<sup>c</sup>; Samantha Serra  
7 Costa<sup>c</sup>; Cláudio Vaz Di Mambro Ribeiro<sup>a\*</sup>

8  
9 <sup>a</sup>*Universidade Federal da Bahia, Programa de pós-graduação em Ciência de Alimentos, Rua*  
10 *Barão de Jeremoabo, s/n - Ondina, 40.170-110, Salvador, Bahia, Brasil.*

11 <sup>b</sup>*Universidade Federal da Bahia, Programa de pós-graduação em Zootecnia, Faculdade de*  
12 *Medicina Veterinária, Avenida Milton Santos, n° 500 - Ondina, 40.170-115, Salvador, Bahia,*  
13 *Brasil.*

14 <sup>c</sup>*Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciência e Tecnologia em Energia e*  
15 *Sustentabilidade, 44.042-280, Feira de Santana, Bahia, Brasil.*

16  
17 **Periódico a ser submetido (1ª submissão):**

**Incluir o nome e ISSN do periódico**

**Maior percentil (Scopus):** <https://www.scopus.com/sources>

**Periódico a ser submetido (2ª submissão):** *Incluir o nome e ISSN do periódico*

**Maior percentil (Scopus):** <https://www.scopus.com/sources>

18  
19  
20  
21  
22  
23  
24

25 **\*Corresponding author:** *Claúdio Vaz Di Mambro Ribeiro (Departamento de Zootecnia,*  
26 *Universidade Federal da Bahia, Avenida Adhemar de Barros, 500, Ondina, 44170-110,*  
27 *Salvador, Bahia, Brasil. Telefone: +55 16 3301-9669. E-mail: [claudioribeiro@ufba.br](mailto:claudioribeiro@ufba.br)*

## 28 **RESUMO**

29 O pão é um alimento básico consumido globalmente, tornando-se uma matriz promissora para  
30 a fortificação com ingredientes alternativos. A farinha de insetos tem sido incorporada em  
31 produtos de panificação, aprimorando seu perfil nutricional, especialmente no teor de proteínas.  
32 No entanto, garantir a qualidade e a aparência do produto de maneira simples e rápida ainda  
33 representa um desafio. A avaliação das características de cor por imagens digitais tem sido uma  
34 ferramenta útil para isso. Este estudo avaliou a influência da farinha de larvas BSF, água e  
35 gordura nas características dos pães, utilizando um delineamento de mistura com restrição. Os  
36 pães foram preparados com um delineamento de misturas centróide, com sete pontos, para  
37 modelar a formulação. Foi selecionado o seguinte domínio experimental: margarina (8-28%),  
38 água (50-70%) e farinha de BSF (0-20%) para otimização, com os parâmetros umidade,  
39 atividade de água e perda de massa como respostas. Para avaliação das características de cor,  
40 foi realizada uma análise por imagem digital. A análise de cor foi realizada por imagens digitais  
41 capturadas com um smartphone dentro de uma caixa de MDF fechada. Os valores de RGB  
42 extraídos foram analisados por análise de componentes principais (PCA) e análise de  
43 agrupamento hierárquico (HCA). Os resultados indicaram que a melhor formulação para  
44 qualidade do produto foi 50% de água e 28% de margarina, sem adição de BSF. No entanto,  
45 novos estudos são necessários para avaliar os benefícios nutricionais da farinha de BSF, dado  
46 seu potencial para enriquecer o produto final.

47

48 **Palavras-chaves:** Insetos Comestíveis; Panificação; Quimiometria; Colorimetria Digital;  
49 Planejamento de misturas.

50

51

52

53

54

55

## 56 1 INTRODUÇÃO

57 Com o aumento da população mundial e a pressão por práticas alimentares mais  
58 sustentáveis, a busca por fontes proteicas alternativas tornou-se essencial. Essa busca tem  
59 impulsionado pesquisas com ingredientes alternativos, como os insetos, cuja aceitação pelos  
60 consumidores aumenta quando são processados e incorporados em alimentos como fonte  
61 proteica (Zeng *et al.*, 2024; Kim *et al.*, 2016). As farinhas de diferentes espécies como *Tenebrio*  
62 *molitor* (yellow mealworm), *Ruspolia differens* (longhorn grasshopper), *Acheta domesticus*  
63 (house cricket) e *Alphitobius diaperinus* (buffalo worm), por exemplo, têm sido utilizadas para  
64 o enriquecimento protéico de diferentes tipos de biscoitos (Bawa *et al.*, 2020; Draszanowska *et*  
65 *al.*, 2024; Ronoh *et al.*, 2024); e incorporadas na formulação de pães convecionais (Kowalski  
66 *et al.*, 2022; Pérez-Rodríguez *et al.*, 2023), pães sem glúten (Nissen *et al.*, 2020) e massas tipo  
67 pão de ló (Kowalski *et al.*, 2023; Talens *et al.*, 2022). Assim, o processamento dos insetos  
68 consiste em uma estratégia eficaz para sua integração em produtos que fazem parte das dietas  
69 tradicionais (Gaglio *et al.*, 2021).

70 A farinha desengordurada da larva de *Hermetia illucens* (black soldier fly - BSF) é rica  
71 em proteína, gordura, quitina e minerais, além de ser uma alternativa sustentável devido à  
72 eficiência no uso de recursos naturais e à reciclagem de resíduos pelas larvas (Spranghers *et al.*,  
73 2017; Van Huis *et al.*, 2020; Mihaly Cozmuta *et al.*, 2022). Entretanto, existe uma percepção  
74 negativa que gera certa resistência por parte dos consumidores quanto ao consumo desses  
75 animais, principalmente daqueles habituados a dietas ocidentais (Gonçalves *et al.*, 2022). Para  
76 superar essa limitação, uma alternativa interessante é a utilização das farinhas de insetos a  
77 alimentos bem aceitos mundialmente, como é o caso dos pães.

78 Entre os alimentos mais consumidos no mundo, o pão destaca-se por ser acessível a  
79 todas as classes sociais (Oliveira *et al.*, 2017), tornando-se uma matriz promissora para a  
80 fortificação com ingredientes proteicos inovadores. Logo, a incorporação da farinha de BSF em  
81 produtos populares, como o pão, pode enriquecer seu valor nutricional, diversificar a  
82 alimentação e promover a sustentabilidade na produção de alimentos (Hasan *et al.*, 2024).

83 Embora a adição de farinhas de insetos aumente o teor proteico, ela pode afetar  
84 negativamente as propriedades texturais, sensoriais e tecnológicas do produto, como a  
85 coloração, dureza, elasticidade, mastigabilidade e coesividade. Esses efeitos variam conforme  
86 o tipo de inseto, os níveis de substituição e o produto final (Borges *et al.*, 2022). Ferramentas  
87 de otimização, como o planejamento de misturas (MD) e a metodologia de superfície de  
88 resposta (RMS), podem ajudar a definir os limites de incorporação, auxiliando no

89 desenvolvimento de formulações que associem uma maior qualidade nutricional sem que haja  
90 um grande comprometimento das características sensoriais.

91 Os modelos multivariados (MD e RMS) têm se mostrado mais eficazes na formulação  
92 de novos produtos, atendendo às demandas e preferências dos consumidores (Galvan *et al.*,  
93 2021). Estudos recentes demonstram a aplicação do planejamento de misturas na adição de  
94 farinhas em hambúrgueres de peixe (Presenza *et al.*, 2022), no desenvolvimento de biscoitos  
95 sem glúten (Njapndounke *et al.*, 2023) e na criação de subprodutos à base de cereais da indústria  
96 do café (Beltrán-Medina *et al.*, 2020). Essas técnicas permitem avaliar as respostas a partir de  
97 variações nas proporções dos ingredientes, contribuindo para a escolha da melhor formulação  
98 e/ou condição para um produto final com características nutricionais, sensoriais e econômicas  
99 otimizadas (Moraes Filho *et al.*, 2018).

100 Tratando-se da utilização de farinhas de insetos em formulações alimentícias, uma das  
101 características sensoriais frequentemente impactadas é a cor, tornando essencial considerar esse  
102 parâmetro, que pode impactar tanto a qualidade visual quanto a percepção sensorial do produto.  
103 Considerando que a cor é um indicador de cozimento, esse parâmetro revela o nível de  
104 caramelização e a formação de compostos responsáveis pelo sabor, enquanto a cor do miolo  
105 indica se o pão foi bem assado internamente. Outro ponto a ser analisado é a atração visual, a  
106 aparência do pão é muitas vezes o primeiro critério de escolha. Uma crosta dourada e uniforme  
107 chama a atenção e sinaliza frescor e qualidade. A crosta dourada e crocante tem ligação direta  
108 com a textura e o sabor, enquanto um miolo claro e macio indica equilíbrio na fermentação e  
109 no cozimento. Por isso, a avaliação dessas características garante tanto a satisfação sensorial  
110 quanto à conformidade com padrões de qualidade.

111 Uma das formas de analisar a cor da crosta e do miolo do pão é por meio da colorimetria  
112 por imagem digital, que é uma técnica prática, intuitiva, fácil de operar e de baixo custo,  
113 utilizando câmeras, como as de smartphones, para capturar imagens das amostras e analisar a  
114 intensidade dos pixels no espaço RGB (Wang *et al.*, 2023; Caleb *et al.*, 2023). No entanto, a  
115 interpretação das cores depende do dispositivo e pode variar conforme a câmera utilizada (Sáez-  
116 Hernández *et al.*, 2022). A técnica é eficaz em sistemas analíticos baseados em histogramas  
117 coloridos assistidos por quimiometria para análises químicas simultâneas qualitativas e  
118 quantitativas (Gonçalves, 2020). Exemplos de aplicação incluem o estudo de Lima *et al.* (2020),  
119 que rastreou a origem de vinhos tintos no Vale do São Francisco, Brasil, e o trabalho de  
120 Fernandes *et al.* (2019), que avaliou a qualidade de hambúrgueres de frango.

121 Tendo em vista as vantagens da inclusão de fontes proteicas alternativas em produtos  
122 acessíveis e a necessidade de ferramentas que otimizem esse processo, o presente estudo teve

123 como objetivo avaliar a influência da quantidade de farinha BSF, água e gordura nas  
124 características de pães, utilizando um planejamento de mistura com restrição. Além disso,  
125 aplicaram-se também técnicas de análise multivariada no software Chemostat para determinar  
126 as cores da crosta e do miolo do pão contendo farinha de larvas BSF, visando uma discriminação  
127 precisa dessas da qualidade visual e da percepção sensorial do produto.

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

## 157 2 MATERIAL E MÉTODOS

158

### 159 2.1. *Matérias-primas*

160 A farinha de larvas de mosca soldado negra (BSF) foi adquirida da empresa ALFAFLY  
161 LTDA (Florianópolis, Santa Catarina, Brasil) registrada no Ministério da Agricultura e Pecuária  
162 (MAPA). Os demais ingredientes utilizados na produção dos pães – farinha de trigo refinada,  
163 açúcar, sal, margarina, ovos, fermento biológico seco, leite em pó e melhorador de farinha –  
164 foram obtidos em um supermercado local em Feira de Santana, BA, Brasil.

165

### 166 2.2. *Composição centesimal e tecnológica da farinha desengordurada de larvas BSF*

167 O teor de umidade foi determinado pelo método AOAC 925.09, a proteína bruta pelo  
168 método de Kjeldahl AOAC 920.87, com fator de conversão de nitrogênio de 4,76, conforme  
169 sugerido por Jonas-Levi *et al.* (2017). Os lipídios totais foram obtidos por extração Soxhlet  
170 AOAC 930.39, e o teor de cinzas foi determinado pelo método AOAC 930.30. O pH foi medido  
171 de acordo com o método AOAC 981.12, e a quitina foi extraída pelo método químico de Kaya  
172 *et al.* (2014), com adaptações. A atividade de água (Aw) foi determinada com um higrômetro  
173 de ponto de orvalho (Aqualab®, 3 TE). A capacidade de absorção de água (CAA) e de óleo  
174 (CAO) foram medidas segundo o método de Haber *et al.* (2019), com modificações. A acidez  
175 e o índice de peróxidos foram obtidos pelo método AOAC 965.33, e a rancidez foi avaliada  
176 pelo teste qualitativo de Kreiss AOAC 971.09. O teor de carboidratos foi calculado por  
177 diferença, com todos os parâmetros analisados em triplicata e os resultados apresentados na  
178 matéria seca.

179

### 180 2.3. *Planejamento de misturas*

181 Para otimizar as formulações dos pães, aplicou-se um planejamento de misturas  
182 simplex-centróide de sete pontos com restrição, conduzido em duas fases. Na fase 1, foram  
183 realizados testes experimentais em bancada, cujos dados foram processados no software  
184 STATISTICA 12.0. Avaliou-se a influência das variáveis independentes - (i) farinha de larvas  
185 BSF, (ii) água e (iii) gordura (margarina 80% lipídios) - nas características físico-químicas e  
186 tecnológicas dos pães, a fim de estabelecer os limites superior e inferior dos ingredientes. Os  
187 níveis investigados foram: farinha de larvas BSF (0–20%), margarina (8–28%) e água (50–  
188 70%) conforme (Tabela 1).

189 Na fase 2, aplicou-se o domínio experimental, composto por sete combinações distintas.  
 190 A formulação 7 foi preparada em triplicata e utilizada como ponto central das amostras. Para  
 191 minimizar erros sistemáticos, os experimentos foram conduzidos de forma aleatória.

192

193 **Tabela 2.** Matriz de planejamento de misturas com restrições para otimização das  
 194 formulações de pães de forma com farinha desengordurada de larvas de mosca soldado negra  
 195 (\*BSF).

Componente (%)	Limite inferior	Limite superior
BSF	0	20
Água	50	70
Margarina	8	28

<b>Delineamento de Misturas - Simplex-Centróide com 7 pontos</b>			
Tratamentos	BSF* (%)	Água (%)	Margarina (%)
1	20	50	8
2	0	70	8
3	0	50	28
4	10	60	8
5	10	50	18
6	0	60	18
7	6,7	56,7	14,7

196 \*BSF - Farinha desengordurada de larvas de mosca soldado negra.

197 Fonte: Autora, 2025.

198

#### 199 **2.4. Processo de fabricação do pão**

200 Os pães foram elaborados a partir da receita básica de pão, utilizando os seguintes  
 201 ingredientes: farinha de trigo refinada, farinha desengordurada de larvas de BSF, ovo, açúcar,  
 202 margarina, leite em pó, sal, melhorador de farinha, fermento biológico seco e água. Todos os  
 203 ingredientes foram pesados em balança de alta precisão (BL-2200AS-B1, Bioscale, Brasil). Os  
 204 ingredientes secos foram peneirados e misturados por 1 minuto em velocidade baixa em uma  
 205 batedeira planetária (Philco, PBP800VM Turbo Inox 1000W, Brasil) até homogeneizar.

206 Em seguida, foi preparada uma esponja (1:1), composta por 90 g de farinha de trigo  
207 refinada, 3 g de fermento biológico seco e 90 g de água filtrada morna, fermentada por 40  
208 minutos à temperatura ambiente ( $\pm 30$  °C). A esponja foi incorporada à mistura homogeneizada  
209 e batida por mais 1 minuto antes da adição dos ovos e da água. Na sequência, a margarina foi  
210 adicionada, e a massa foi batida na velocidade 2 por 5 minutos até o desenvolvimento do glúten.  
211 Após essa etapa, a massa repousou por 10 minutos, foi dividida em porções de 100 g, boleada  
212 manualmente, modelada com um rolo de macarrão e disposta em assadeiras metálicas  
213 individuais untadas ( $3 \times 5 \times 11,5$  cm).

214 A fermentação ocorreu em estufa com circulação e renovação de ar (SSDcr 630L,  
215 Solidsteel, Brasil) a 30 °C por 40 minutos, sob temperatura e umidade relativa controladas. O  
216 assamento foi realizado a 160 °C por 15 minutos em forno elétrico industrial (Venâncio,  
217 PICCOLO CONVECTOR FC4MV, Brasil). Após o cozimento, os pães foram resfriados em  
218 grade de arame à temperatura ambiente e analisados após 1 hora e 30 minutos de repouso. As  
219 formulações foram enriquecidas com 0% a 20% de farinha desengordurada de larvas de  
220 *Hermetia illucens* (BSF). A Tabela 1 apresenta as formulações desenvolvidas no planejamento  
221 experimental com diferentes concentrações dessa farinha.

222

### 223 **2.5. Determinação de umidade, atividade de água e perda de massa**

224 A determinação do teor de umidade dos pães foi realizada com um analisador de  
225 umidade (UniBloc Moisture Analyzer MOC63u 60g, SHIMADZU, Brasil). A atividade de água  
226 ( $A_w$ ) foi medida utilizando um analisador de atividade de água (LabSwift-aw, Novasina,  
227 Suíça). Todas as leituras foram realizadas no miolo do pão, em triplicata. A perda de massa foi  
228 determinada pela pesagem dos pães antes e após o assamento, calculando-se o balanço de  
229 massa.

230

### 231 **2.6. Aquisição de imagem**

232 As imagens foram capturadas com um iPhone 13 (modelo A2633), fabricado pela Apple  
233 Inc., Califórnia, Estados Unidos, com câmera de 12 MP. As fotografias foram realizadas em  
234 uma caixa de MDF fechada, revestida com fórmica branca e iluminação controlada. A caixa,  
235 com dimensões de 33 cm x 25,5 cm x 24,5 cm, possui uma lâmpada LED branca de 24W fixada  
236 no teto, garantindo a qualidade desejada das imagens. A região de interesse foi delimitada em  
237 uma área quadrada de 600 x 600 pixels, localizada no centro de cada imagem. Foi aplicada a  
238 técnica de análise multivariada utilizando o software Chemostat nas imagens digitais da casca

239 e do miolo do pão. A casca refere-se à superfície marrom do pão, enquanto o miolo é a estrutura  
240 esponjosa branca interna, abaixo da casca.

241

## 242 **2.7. Análise estatística**

243 As análises de dados foram realizadas utilizando o programa STATISTICA 12.0, para  
244 obtenção de planejamento de misturas, modelagem da superfície de resposta e análise de  
245 variância. Ajustes por mínimos quadrados foram aplicados para determinar os coeficientes de  
246 regressão da equação que descreve o comportamento dos dados experimentais. A avaliação da  
247 qualidade do modelo ajustado foi feita por meio de análise de variância (ANOVA), com nível  
248 de confiança de 95%, fornecendo dados para os testes de significância estatística da regressão  
249 e da falta de ajuste.

250 O software Chemostat foi utilizado para a construção dos gráficos de PCA (Análise de  
251 componentes principais) e HCA (Análise de agrupamento hierárquico). O HCA foi utilizado  
252 para identificar padrões de similaridade entre as imagens obtidas, sendo possível descrever as  
253 semelhanças e diferenças entre as formulações, para que a aglomeração formada justificasse a  
254 melhor combinação. Enquanto a utilização do PCA tinha por finalidade reduzir a  
255 dimensionalidade do conjunto de dados, verificar possíveis tendências na formação de  
256 agrupamentos e identificar a presença de outliers.

257

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

### 273 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

274

#### 275 3.1. Composição centesimal e tecnológica da farinha de larvas BSF

276 A farinha de larvas BSF apresentou valores médios de umidade ( $2,77 \pm 0,07\%$ ), cinzas  
 277 ( $10,78 \pm 0,02\%$ ),  $A_w$  ( $0,239 \pm 0,00\%$ ), proteínas ( $38,73 \pm 0,82\%$ ), lipídios ( $12,41 \pm 0,92\%$ ) e  
 278 carboidratos ( $22,39 \pm 0,24\%$ ). O teor de cinzas foi relativamente alto, possivelmente devido às  
 279 condições de cultivo e ao processo de desengorduramento. O conteúdo de carboidratos foi  
 280 similar ao descrito por Neves *et al.* (2024), enquanto os valores de umidade e  $A_w$  foram  
 281 inferiores aos reportados por Kamau *et al.* (2018) ( $6,41 \pm 0,73$  e  $0,67$ , respectivamente). O  
 282 percentual de quitina foi de  $7,02 \pm 0,69\%$ , compatível com os valores descritos para a farinha  
 283 desengordurada de BSF, que variaram entre  $6,9\%$  e  $7,21\%$  conforme relatado por Schiavone *et*  
 284 *al.* (2017) e Traksele *et al.* (2021). Os valores de acidez ( $2,02 \pm 0,13\%$ ) e pH ( $8,08 \pm 0,06$ ) indicam  
 285 um produto estável. A farinha demonstrou alta capacidade de absorção de água ( $CAA =$   
 286  $87,50 \pm 0,86\%$ ) e óleo ( $CAO = 50,78 \pm 0,43\%$ ), o que favorece sua aplicação em formulações  
 287 alimentícias (Mishyna *et al.*, 2021). Os testes de rancidez e índice de peróxidos apresentaram  
 288 resultados negativos, indicando a estabilidade oxidativa do produto. Os resultados da  
 289 composição da farinha de BSF foram compatíveis com estudos anteriores (Yao *et al.*, 2024;  
 290 Garcia *et al.*, 2024; Neves *et al.*, 2024; Xu *et al.*, 2023). Embora sua composição possa variar  
 291 conforme a espécie, estágio de desenvolvimento, condições ambientais e dieta dos insetos (Van  
 292 Huis *et al.*, 2017), os valores observados também refletem as metodologias de preparo e análise  
 293 aplicadas.

294

#### 295 3.2. Caracterização dos pães otimizados

296 Os pães produzidos foram avaliados quanto à umidade, atividade de água e perda de  
 297 massa Tabela 1. Entre os parâmetros analisados, apenas a umidade e a perda de massa  
 298 apresentaram modelos significativos ( $p < 0,05$ ). O modelo quadrático para a umidade  
 299 apresentou  $R^2 = 0,9936$ ,  $R^2$  ajustado =  $0,9829$  e  $p = 0,0307$ , sendo considerado significativo.  
 300 Entre os fatores avaliados, a água teve a maior influência sobre a umidade (coef. =  $40,2867$ ),  
 301 seguida pela margarina (coef. =  $35,1838$ ) e pela farinha de BSF (coef. =  $32,5960$ ). A equação a  
 302 seguir foi obtida usando regressão do modelo quadrático para umidade:

303

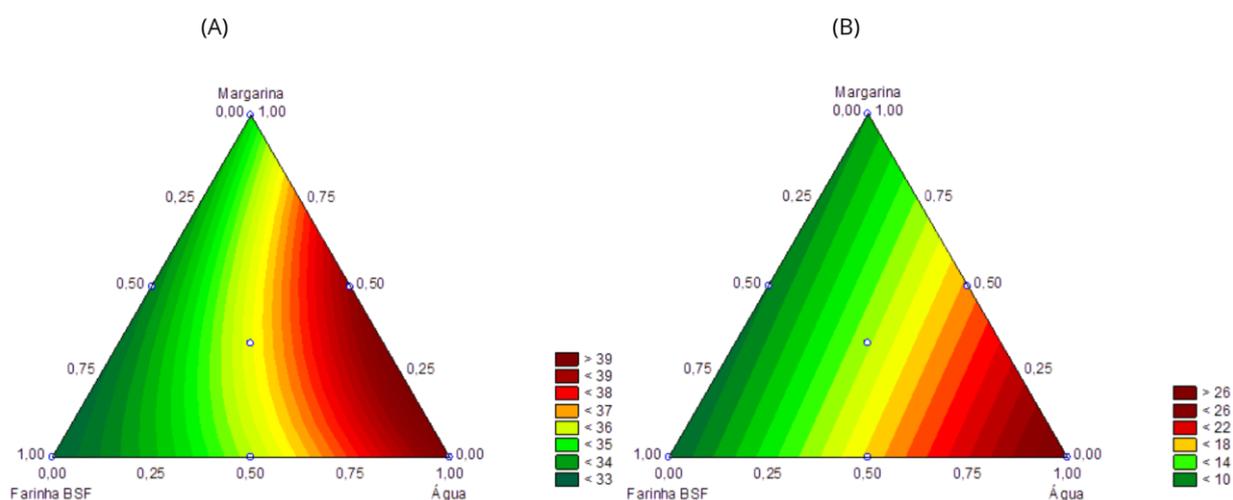
304  $U (\%) = 32,98742 (\text{farinha BSF}) + 39,79749 (\text{água}) + 34,50743 (\text{margarina}) + 7,83146 (\text{água}$   
 305  $\times \text{margarina}).$

306

307 As interações (Água x Farinha de BSF) e (Água x Margarina) não foram significativas  
 308 ( $p = 0,1163$  e  $p = 0,5016$ , respectivamente). No entanto, a interação (Margarina x Farinha de  
 309 BSF) foi significativa ( $p = 0,0092$ ), indicando que a combinação desses dois fatores tem um  
 310 impacto relevante na umidade dos pães (Figura 13).

311

312 **Figura 13.** Superfície de resposta para umidade (A) e perda de massa (B) dos pães  
 313 desenvolvidos.



314

315

*Fonte: Autora, 2025.*

316

317 Os pães são classificados como produtos perecíveis ( $A_w > 0,650$ ), devido à  
 318 disponibilidade de água livre que favorece o desenvolvimento de microrganismos deteriorantes  
 319 (Gantner *et al.*, 2022; Pereira *et al.*, 2024). A análise de atividade de água ( $A_w$ ) indicou  
 320 pequenas variações entre as formulações, sem diferenças significativas. Os valores de  $A_w$  dos  
 321 pães foram semelhantes aos encontrados em pães sem glúten fortificados com *T. molitor*  
 322 (Ammar *et al.*, 2022; Gantner *et al.*, 2022).

323 O modelo linear para a perda de massa foi significativo ( $R^2 = 0,8721$ ;  $p = 0,0021$ ),  
 324 indicando que 87,21% da variação na perda de massa pode ser explicada pelos fatores  
 325 estudados. A variável com maior influência foi a água (coef. = 26,58935), seguida pela  
 326 margarina (coef. = 9,968113) e pela farinha de BSF (coef. = 7,91437). A função apresentada  
 327 abaixo foi obtida usando regressão do modelo linear:

328

329  $PM (\%) = 7,91437 (Farinha\ BSF) + 26,58935 (Água) + 9,968113 (Margarina).$

Eq. 1

330

331

332 **Tabela 3.** Teores de umidade, atividade de água (Aw) e perda de massa nos pães de forma  
 333 incorporados com farinha desengordurada de larvas de mosca soldado negra (BSF).

Formulações	UMI (%)	Aw (%)	PM (%)
1	32,98 ± 0,61	0,91 ± 0,00	371,55± 0,00
2	39,79 ± 1,49	0,93 ± 0,00	317,00± 0,00
3	34,50 ± 0,97	0,91 ± 0,00	369,79± 0,00
4	35,71 ± 0,46	0,92 ± 0,00	360,28± 0,00
5	33,53 ± 0,08	0,91 ± 0,00	375,10± 0,00
6	39,14 ± 0,09	0,92 ± 0,00	347,81± 0,00
7	36,11 ± 1,07	0,90 ± 0,02	362,35± 0,00

334 Os valores são apresentados como média ± desvio padrão da regressão.

335 UMI: Umidade; Aw: Atividade de Água e PM: Perda de Massa

336 Fonte: Autora, 2025.

337

### 338 **3.3. Imagem digital e Análise multivariada**

339 Os pães com farinha de larvas BSF apresentaram coloração mais amarronzada e menor  
 340 volume em comparação aos feitos com farinha de trigo (Figura 14). A formulação com 20% de  
 341 farinha BSF está alinhada com estudos de González *et al.* (2019), que indicam que a adição de  
 342 farinha de *H. illucens*, *A. domesticus* e *T. molitor* em pães não compromete a fermentação da  
 343 massa, mas resulta em um miolo mais denso e menor volume. Além disso, a farinha BSF  
 344 intensifica a coloração escura e confere um aroma forte, característico dos insetos, fatores que  
 345 podem impactar a aceitabilidade do produto (Borges *et al.*, 2022).

346 Durante o cozimento, foram observadas rachaduras laterais, possivelmente devido à alta  
 347 concentração proteica da farinha, que pode influenciar a textura (Mishyna *et al.*, 2021). Para  
 348 evitar o comprometimento dos parâmetros tecnológicos e sensoriais do produto, é essencial um  
 349 planejamento adequado da formulação (Santiago *et al.*, 2024), pois a farinha de inseto pode  
 350 alterar propriedades texturais, como dureza e elasticidade. Para manter a aceitação do  
 351 consumidor, a adição geralmente varia entre 5% e 20%, uma vez que substituições acima desse  
 352 limite podem ser inviáveis em produtos de panificação (Pérez-Rodríguez *et al.*, 2023).

353

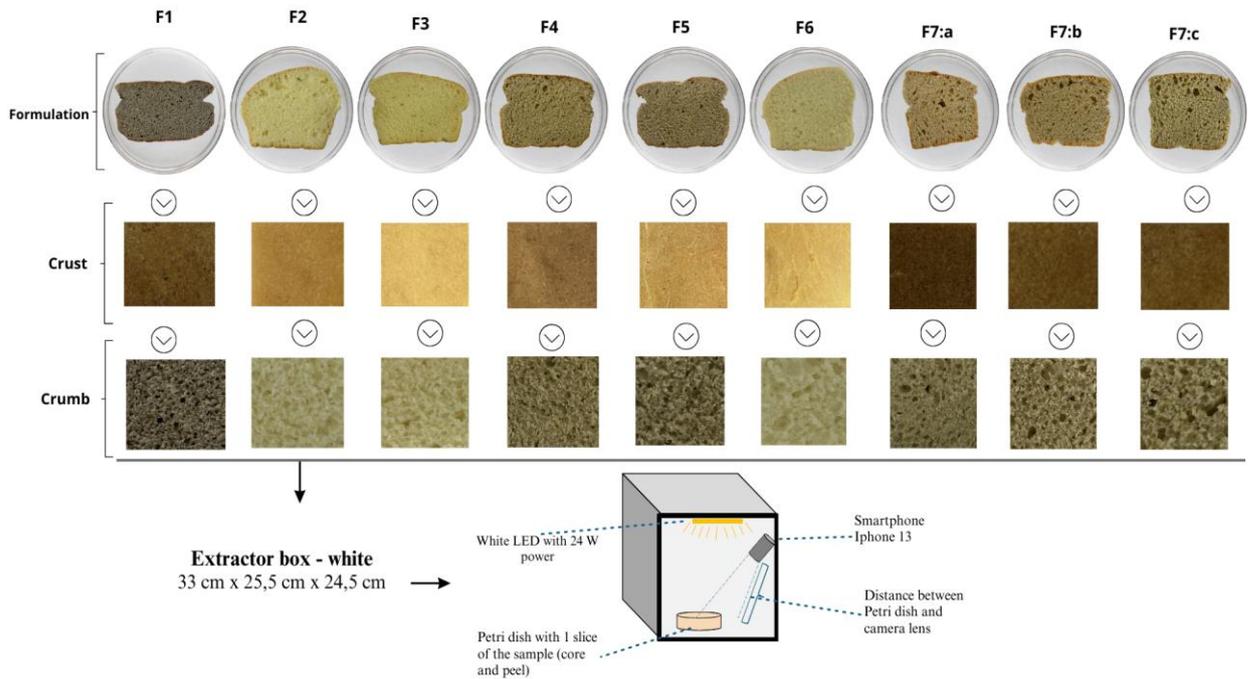
354

355

356

357  
358

**Figura 14.** Pães desenvolvidos com farinha BSF, juntamente com um esquema representativo da caixa extratora utilizada para capturar imagens digitais da casca e do miolo dos pães.



359

360

*Fonte: Autora, 2025.*

361

362

363

364

365

366

367

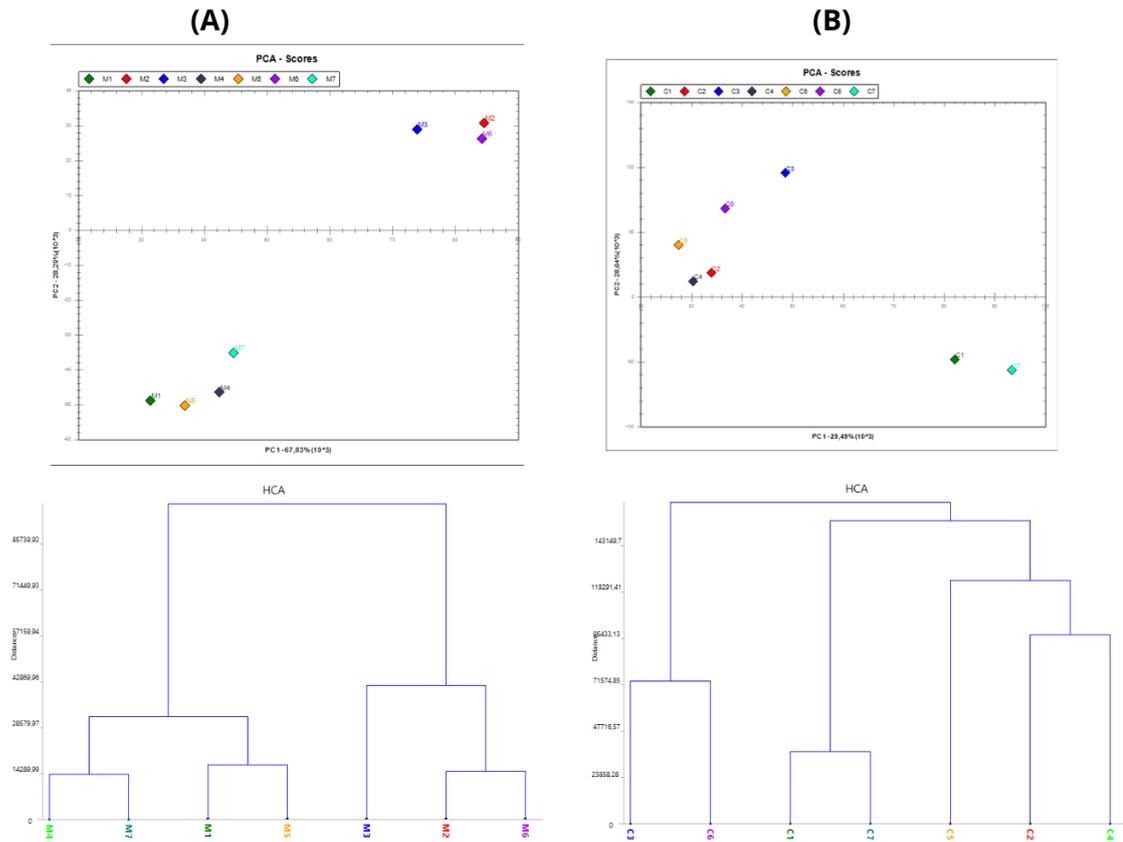
368

369

370

As imagens dos pães adquiridas, e os valores de RGB, foram previamente extraídos pelo software Chemostat, na sequência os dados numéricos obtidos foram analisadas utilizando técnicas de reconhecimento de padrões por métodos não supervisionados para a crosta (B) - (C1; C2; C3; C4; C5; C6; C7) e o miolo (A) - (M1; M2; M3; M4; M5; M6; M7) de cada formulação. A PCA e a HCA foram aplicadas (Figura 15) ao conjunto de dados para identificar possíveis tendências de agrupamento e discriminação das informações por categorias. Estudos anteriores, como os de Santos *et al.* (2021) e Santos *et al.* (2022), também utilizaram PCA para analisar resultados experimentais.

371 **Figura 15.** Gráfico Scores PC1 x PC2 e Dendrograma do conjunto de espectros dos miolos  
 372 (A) e cascas (B) dos pães de forma, com adição de farinha BSF nas concentrações: 1 - 20%, 2  
 373 - 0%, 3 - 0%, 4 - 10%, 5 - 10%, 6 - 0% e 7 - 6,7%.



374

375

*Fonte: Autora, 2025.*

376

377 Observa-se na Figura 3 que PC1 x PC2 explicou 96,12% da variância total dos dados.  
 378 Os miolos dos pães M3, M2 e M6 foram as amostras que apresentaram a maior variabilidade  
 379 dos dados na PC1, sendo positivamente correlacionadas e agrupadas no mesmo quadrante, as  
 380 amostras estão separadas em grupos distintos, indicando que há diferenças significativas entre  
 381 as formulações. A separação sugere que a adição de farinha de BSF afeta a composição dos  
 382 miolos dos pães. Um segundo agrupamento formado pelas amostras M1, M5, M4 e M7, foi  
 383 observado, contendo as amostras com a presença de BSF na composição. Ao avaliar as amostras  
 384 do mesmo grupo, nota-se a separação de M7 e M3, que se diferenciam, pois M3 possui maior  
 385 percentual de gordura, enquanto M7 possui um teor intermediário.

386

387 Ao avaliar o gráfico de scores (B), das Cascas, nota-se que a separação entre os grupos  
 também é evidente, sugerindo que a farinha de BSF tem impacto na composição das cascas. No

388 entanto, a distribuição pode apresentar diferenças em relação ao miolo, indicando que o efeito  
390 da farinha pode ser diferente nas diferentes partes do pão.

391 Essas observações são confirmadas ao se avaliar o dendrograma obtido, no qual as  
392 amostras homogêneas são agrupadas no mesmo grupo em amostras heterogêneas distribuídas  
393 em agrupamentos diferentes. No dendrograma (A) - miolos, as amostras se agrupam de acordo  
394 com as concentrações de farinha BSF. A formação de grupos distintos reforça que as variações  
na formulação resultam em diferenças detectáveis na composição do miolo.

395 Já o dendrograma (B) - cascas, os agrupamentos também seguem um padrão, indicando  
396 que as cascas dos pães apresentam variações na composição conforme a concentração de  
397 farinha de BSF. As diferenças entre os grupos podem sugerir que a farinha de BSF afeta as  
398 propriedades físico-químicas das cascas de forma diferente em relação ao miolo.

399 Desta forma é possível concluir que as amostras xxx, foram as que apresentaram  
400 melhores padrões sensoriais e são as recomendadas para obtenção de um produto com melhores  
401 propriedades físico-químicas.

402

### 403 **3.4. Otimização de formulação**

404 Na formulação dos pães, as proporções de água, margarina e farinha de larvas de BSF  
405 foram otimizadas considerando a umidade e  $A_w$  como variáveis de resposta. A otimização  
406 simultânea dessas variáveis foi realizada por meio da função de desejabilidade, visando reduzi-  
407 las, devido ao impacto na estabilidade, qualidade e conservação do produto final. Uma função  
408 quadrática foi ajustada à desejabilidade global para descrever o comportamento das respostas  
409 experimentais, permitindo a identificação das tendências que conduzem à formulação  
410 otimizada. A equação obtida por regressão de mínimos quadrados foi:

$$411 \quad OD = 0.0465 FBSF^2 + 0.0174 Water^2 - 0.0125 Margarine^2 - 0.0014 FBSFxWater - 0.0013$$

$$412 \quad FBSFxMargarine - 0.0002 WaterxMargarine$$

413 *\*\*OD (Overall desirability)*

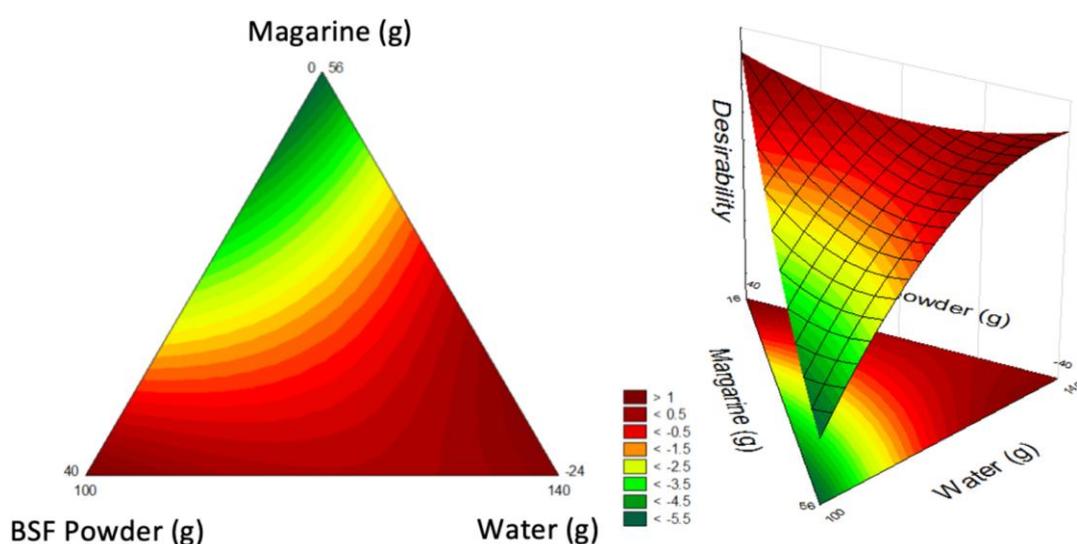
414 Eq. 15

415 Na Figura 16, é apresentada a superfície de resposta e a curva de níveis, que ilustram o  
416 comportamento dos dados obtidos experimentalmente a partir da matriz de misturas com  
417 restrições, conforme apresentado na Tabela 1. A resposta utilizada para a análise foi a  
418 desejabilidade global, que foi calculada para avaliar a melhor combinação dos fatores  
419 experimentais com base nos objetivos definidos.

420 As cores indicam os níveis de desejabilidade em relação aos objetivos estabelecidos –  
 421 neste caso, minimizar a umidade e Aw. As regiões em vermelho escuro representam os maiores  
 422 valores dessas variáveis, indicando condições menos favoráveis, pois podem comprometer a  
 423 qualidade sensorial e a durabilidade do pão. Por outro lado, as áreas em verde indicam maior  
 424 desejabilidade, ou seja, as combinações mais adequadas para alcançar menores valores de  
 425 umidade e Aw, favorecendo a estabilidade e conservação do produto.

426

427 **Figura 16.** Curva de nível e superfície de resposta para otimização de produção de margarina,  
 428 água e farinha de larvas de BSF no desenvolvimento de pães.



429

430

*Fonte: Autora, 2025.*

431

432 Nota-se que a adição de farinha de larvas BSF pode agregar propriedades nutricionais  
 433 relevantes ao produto final do pão, devido ao seu alto teor proteico. No entanto, sua  
 434 incorporação também influencia nas tendências de retenção de umidade e a atividade de água  
 435 do produto final. Ao observar a Figura 16, para a variável margarina, maiores níveis desse fator  
 436 levam a uma melhor desejabilidade, enquanto nos menores níveis testados observa-se um  
 437 aumento simultâneo nas respostas de Aw e umidade. Quando analisamos a variação na resposta  
 438 decorrente da adição de água, observa-se que, desde aqueles níveis intermediários até os  
 439 maiores níveis testados no domínio experimental para esse fator, regiões de baixa  
 440 desejabilidade são verificadas. Portanto, menores níveis de adição de água são preferíveis.

441

442 Em suma, a análise realizada através da superfície de resposta indica que há uma faixa  
 específica de proporções entre margarina, farinha de larvas BSF e água que resulta em um

443 produto com menor umidade e atividade de água. Essa faixa integra uma região de menores  
444 níveis para a farinha de larvas BSF, aqueles próximos ao 0, menores níveis para a adição de  
445 água, próximos a 100 g, e maiores níveis para a adição de margarina, próximos a 56 g.

446 O uso do tratamento quimiométrico na otimização da formulação desse pão não só  
447 auxilia no desenvolvimento de produtos mais estáveis e seguros, mas também contribui para a  
448 observação das tendências experimentais na formulação de alimentos funcionais e sustentáveis,  
449 destacando o potencial da farinha de larvas BSF como um ingrediente inovador na indústria  
450 alimentícia. Este tipo de estudo é essencial para promover a adoção de novos ingredientes no  
451 mercado, atendendo às exigências de consumidores e produtores em relação à funcionalidade,  
452 qualidade e sustentabilidade.

453

454

455

456

457

458

459

460

461

462

463

464

465

466

467

468

469

470

471

472

473

474

475

476

#### 477 **4 CONCLUSÃO**

478

479 A partir da execução do planejamento de misturas com restrição, no qual foram  
480 avaliadas as características de conservação, foi possível identificar tendências experimentais no  
481 desenvolvimento de pães com farinha de larvas BSF. Essas tendências indicam que as melhores  
482 condições para o produto final correspondem à utilização de 50% de água e 28% de margarina,  
483 sem a adição de BSF. No entanto, é necessário realizar novos experimentos para avaliar o ganho  
484 nutricional proporcionado pela inclusão desse ingrediente, uma vez que a farinha BSF pode  
485 agregar propriedades nutricionais relevantes ao produto final.

486 As análises por PCA e HCA sugerem uma separação entre as amostras, indicando que  
487 a adição de farinha de larvas de BSF impacta significativamente a composição dos pães. Tanto  
488 o miolo quanto a casca apresentam variações detectáveis, embora os padrões possam diferir  
489 entre essas partes. Esses resultados contribuem para uma melhor compreensão da influência da  
490 farinha de larvas de BSF nas características dos pães, fornecendo subsídios para a otimização  
491 de formulações futuras.

492

493

494

495

496

497

498

499

500

501

502

503

504

505

506

507

508

509

510

511 **5 REFERÊNCIAS**

- 512 Ammar, I., Sebi, H., Aloui, T., Attia, H., Hadrich, B., & Felfoul, I. (2022). Optimization of a  
513 novel, gluten-free bread's formulation based on chickpea, carob and rice flours using response  
514 surface design. *Heliyon*, 8(12), e12164.
- 515 AOAC - Association of Official Analytical Chemistry. (2019). Official Methods of Analysis  
516 of AOAC International, Dr. George W Latimer, Jr. 21.
- 517 AOAC - Association of Official Analytical Chemists (2005). Official Methods of Official  
518 Analytical Chemists International. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists,  
519 Arlington, VA.
- 520 AOAC - International Official Methods of Analysis of AOAC International. (1995). 15th Ed,  
521 AOAC International, Arlington, VA, USA.
- 522 Bawa, M., Songsermpong, S., Kaewtapee, C., & Chanput, W. (2020). Nutritional, sensory, and  
523 texture quality of bread and cookie enriched with house cricket ( *Acheta domesticus* ) powder.  
524 *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(8).
- 525 Beltrán-Medina, E. A., Guatemala-Morales, G. M., Padilla-Camberos, E., Corona-González, R.  
526 I., Mondragón-Cortez, P. M., & Arriola-Guevara, E. (2020). Evaluation of the Use of a Coffee  
527 Industry By-Product in a Cereal-Based Extruded Food Product. *Foods*, 9(8), 1008.
- 528 Borges, M. M., Da Costa, D. V., Trombete, F. M., & Câmara, A. K. F. I. (2022). Edible insects  
529 as a sustainable alternative to food products: An insight into quality aspects of reformulated  
530 bakery and meat products. *Current Opinion in Food Science*, 46, 100864.
- 531 Caleb, J., Alshana, U., Ertaş, N., & Bakırdere, S. (2023). Smartphone digital image colorimetry  
532 combined with dispersive solid-phase microextraction for the determination of boron in food  
533 samples. *Food Chemistry*, 426, 136528.
- 534 Draszanowska, A., Kurp, L., Starowicz, M., Paszczyk, B., Czarnowska-Kujawska, M., &  
535 Olszewska, M. A. (2024). Effect of the Addition of Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*) on  
536 the Physicochemical, Antioxidative, and Sensory Properties of Oatmeal Cookies. *Foods*,  
537 13(19), 3166.
- 538 Fernandes, D. D. D. S., Romeo, F., Krepper, G., Di Nezio, M. S., Pistonesi, M. F., Centurión,  
539 M. E., De Araújo, M. C. U., & Diniz, P. H. G. D. (2019). Quantification and identification of  
540 adulteration in the fat content of chicken hamburgers using digital images and chemometric  
541 tools. *LWT*, 100, 20–27.
- 542 Gaglio, R., Barbera, M., Tesoriere, L., Osimani, A., Busetta, G., Matraxia, M., Attanzio, A.,  
543 Restivo, I., Aquilanti, L., & Settanni, L. (2021). Sourdough “ciabatta” bread enriched with  
544 powdered insects: Physicochemical, microbiological, and simulated intestinal digesta  
545 functional properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 72, 102755.
- 546 Galvan, D., Effting, L., Cremasco, H., & Conte-Junior, C. A. (2021). Recent Applications of  
547 Mixture Designs in Beverages, Foods, and Pharmaceutical Health: A Systematic Review and  
548 Meta-Analysis. *Foods*, 10(8), 1941.

- 549 Gantner, M., Król, K., Piotrowska, A., Sionek, B., Sadowska, A., Kulik, K., & Wiącek, M.  
550 (2022). Adding Mealworm (*Tenebrio molitor* L.) Powder to Wheat Bread: Effects on  
551 Physicochemical, Sensory and Microbiological Qualities of the End-Product. *Molecules*,  
552 27(19), 6155.
- 553 García, F. D., Aigner, S. N., Cedres, J. P., Luna, A., Escobar, M. M., Mansilla, M. A., &  
554 Bacigalupe, A. (2024). Novel adhesive based on black soldier fly larvae flour for particleboard  
555 production. *Construction and Building Materials*, 411, 134758.
- 556 Gonçalves Dias Diniz, P. H. (2020). Chemometrics-assisted color histogram-based analytical  
557 systems. *Journal of Chemometrics*, 34(12), e3242.
- 558 Gonçalves, C., Chaves, K., & Jorge, R. (2022). Entomofagia - Consumo atual e potencial de  
559 futuro. *Acta Portuguesa de Nutrição*, 29, 76-81.
- 560 González, C. M., Garzón, R., & Rosell, C. M. (2019). Insects as ingredients for bakery goods.  
561 A comparison study of *H. illucens*, *A. domestica* and *T. molitor* flours. *Innovative Food*  
562 *Science & Emerging Technologies*, 51, 205–210.
- 563 Hasan, Md. M., Islam, Md. R., Haque, A. R., Kabir, Md. R., & Hasan, S. M. K. (2024).  
564 Fortification of bread with mango peel and pulp as a source of bioactive compounds: A  
565 comparison with plain bread. *Food Chemistry Advances*, 5, 100783.
- 566 Jonas-Levi, A., & Martinez, J.-J. I. (2017). The high level of protein content reported in insects  
567 for food and feed is overestimated. *Journal of Food Composition and Analysis*, 62, 184-188.
- 568 Kamau, E., Mutungi, C., Kinyuru, J., Imathiu, S., Tanga, C., Affognon, H., Ekesi, S.,  
569 Nakimbugwe, D., & Fiaboe, K. K. M. (2018). Moisture adsorption properties and shelf-life  
570 estimation of dried and pulverised edible house cricket *Acheta domestica* (L.) and black soldier  
571 fly larvae *Hermetia illucens* (L.). *Food Research International*, 106, 420–427.
- 572 Kaya, M., Baran, T., Menten, A., Asaroglu, M., Sezen, G., & Tozak, K. O. (2014). Extraction  
573 and Characterization of  $\alpha$ -Chitin and Chitosan from Six Different Aquatic Invertebrates. *Food*  
574 *Biophysics*, 9(2), 145–157.
- 575 Kim, H.-W., Setyabrata, D., Lee, Y. J., Jones, O. G., & Kim, Y. H. B. (2016). Pre-treated  
576 mealworm larvae and silkworm pupae as a novel protein ingredient in emulsion sausages.  
577 *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 38, 116–123.
- 578 Kowalski, S., Gumul, D., Oracz, J., Rosicka-Kaczmarek, J., Mikulec, A., Mickowska, B.,  
579 Skotnicka, M., & Zborowski, M. (2023). Chemical Composition, Antioxidant Properties and  
580 Sensory Aspects of Sponge Cakes Supplemented with Edible Insect Flours. *Antioxidants*,  
581 12(11), 1912.
- 582 Kowalski, S., Mikulec, A., Mickowska, B., Skotnicka, M., & Mazurek, A. (2022). Wheat bread  
583 supplementation with various edible insect flours. Influence of chemical composition on  
584 nutritional and technological aspects. *LWT*, 159, 113220.
- 585 Lima, C. M. D., Fernandes, D. D. S., Pereira, G. E., Gomes, A. D. A., Araújo, M. C. U. D., &  
586 Diniz, P. H. G. D. (2020). Digital image-based tracing of geographic origin, winemaker, and  
587 grape type for red wine authentication. *Food Chemistry*, 312, 126060.

- 588 Mihaly Cozmuta, A., Nicula, C., Peter, A., Mihaly Cozmuta, L., Nartea, A., Kuhalskaya, A.,  
589 Pacetti, D., Silvi, S., Fiorini, D., & Pruteanu, L. (2022). Cricket and yellow mealworm powders  
590 promote higher bioaccessible fractions of mineral elements in functional bread. *Journal of*  
591 *Functional Foods*, *99*, 105310.
- 592 Mishyna, M., Keppler, J. K., & Chen, J. (2021). Techno-functional properties of edible insect  
593 proteins and effects of processing. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, *56*,  
594 101508.
- 595 Moraes Filho, M. L., Busanello, M., Prudencio, S. H., & Garcia, S. (2018). Soymilk with okara  
596 flour fermented by *Lactobacillus acidophilus*: Simplex-centroid mixture design applied in the  
597 elaboration of probiotic creamy sauce and storage stability. *LWT*, *93*, 339–345.
- 598 Neves, V., Campos, L., Ribeiro, N., Costa, R., Correia, P., Gonçalves, J., & Henriques, M.  
599 (2024). Insect flour as milk protein substitute in fermented dairy products. *Food Bioscience*,  
600 *60*, 104379.
- 601 Nissen, L., Samaei, S. P., Babini, E., & Gianotti, A. (2020). Gluten free sourdough bread  
602 enriched with cricket flour for protein fortification: Antioxidant improvement and Volatilome  
603 characterization. *Food Chemistry*, *333*, 127410.
- 604 Njapndounke, B., Ngouénam, R. J., Kouam, E. M. F., Boungo, G. T., Klang, J. M., & Ngoufack,  
605 F. Z. (2023). Mixture design approach for the development of a cowpea and banane cochon  
606 flour-based gluten-free biscuit: Chemical, glycemic load, sensory and microbiological  
607 characteristics of the optimal biscuit. *Future Foods*, *8*, 100264.
- 608 Oliveira, L. M., Da Silva Lucas, A. J., Cadaval, C. L., & Mellado, M. S. (2017). Bread enriched  
609 with flour from cinereous cockroach ( *Nauphoeta cinerea* ). *Innovative Food Science &*  
610 *Emerging Technologies*, *44*, 30–35.
- 611 Pereira, T., Costa, S., Barroso, S., Teixeira, P., Mendes, S., & Gil, M. M. (2024). Development  
612 and optimization of high-protein and low-saturated fat bread formulations enriched with lupin  
613 and microalgae. *LWT*, *191*, 115612.
- 614 Pérez-Rodríguez, E., Ibarra-Herrera, C. C., & Pérez-Carrillo, E. (2023). Effect of incorporation  
615 of solid-state fermented edible insects *Tenebrio molitor* and *Sphenarium purpurascens* with  
616 *Aspergillus oryzae* in the elaboration of bread. *LWT*, *184*, 115003.
- 617 Presenza, L., Fabrício, L. F. D. F., Galvão, J. A., & Vieira, T. M. F. D. S. (2022). Simplex-  
618 centroid mixture design as a tool to evaluate the effect of added flours for optimizing the  
619 formulation of native Brazilian freshwater fish burger. *LWT*, *156*, 113008.
- 620 Ronoh, A. K., Serrem, C. A., Tumwebaze, S. B., & Were, G. M. (2024). Descriptive and rapid  
621 sensory profiling of wheat and wheat-sorghum biscuits fortified with longhorn grasshopper  
622 (*Ruspolia differens*) powder. *Applied Food Research*, *4*(2), 100504.
- 623 Sáez-Hernández, R., Ruiz, P., Mauri-Aucejo, A. R., Yusa, V., & Cervera, M. L. (2022).  
624 Determination of acrylamide in toasts using digital image colorimetry by smartphone. *Food*  
625 *Control*, *141*, 109163.

- 626 Santiago, L. A., Queiroz, L. S., Tavares, G. M., Feyissa, A. H., Silva, N. F., & Casanova, F.  
627 (2024). Edible insect proteins: How can they be a driver for food innovation?. *Current Opinion*  
628 *in Food Science*, 58, 101195.
- 629 Santos, A. M. P., Santos, L. O., Santos, L. S., Silva, E. F. R., Santos Neto, J. H., & Brandão, G.  
630 C. (2021). Chemometric strategy for optimization of an acid decomposition method to  
631 determine the mineral composition in almond pulp (*Terminalia catappa* Linn.). *Química Nova*,  
632 44(7), 797–803.
- 633 Santos, L. O. dos, Santos, A. M. P. dos, Ferreira, M. M. C., Ferreira, S. L. C., & Nepomuceno,  
634 A. F. S. F. (2022). The use of ANOVA-PCA and DD-SIMCA in the development of corn flour  
635 laboratory reference materials. *Food Chemistry*, 367, 130748.
- 636 Schiavone, A., De Marco, M., Martínez, S., Dabbou, S., Renna, M., Madrid, J., Hernandez, F.,  
637 Rotolo, L., Costa, P., Gai, F., & Gasco, L. (2017). Nutritional value of a partially defatted and  
638 a highly defatted black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) meal for broiler chickens:  
639 Apparent nutrient digestibility, apparent metabolizable energy and apparent ileal amino acid  
640 digestibility. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 8(1), 51.
- 641 Spranghers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Owyn, A., Deboosere, S., De Meulenaer, B.,  
642 Michiels, J., Eeckhout, M., De Clercq, P., & De Smet, S. (2017). Nutritional composition of  
643 black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates.  
644 *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(8), 2594–2600.
- 645 Talens, C., Lago, M., Simó-Boyle, L., Odriozola-Serrano, I., & Ibarguen, M. (2022).  
646 Desirability-based optimization of bakery products containing pea, hemp and insect flours  
647 using mixture design methodology. *LWT*, 168, 113878.
- 648 Traksele, L., Speiciene, V., Smicius, R., Alencikiene, G., Salaseviciene, A., Garmiene, G.,  
649 Zigmantaite, V., Grigaleviciute, R., & Kucinskas, A. (2021). Investigation of in vitro and in  
650 vivo digestibility of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae protein. *Journal of*  
651 *Functional Foods*, 79, 104402.
- 652 Van Huis, A., & Oonincx, D. G. A. B. (2017). The environmental sustainability of insects as  
653 food and feed. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(5), 43.
- 654 Van Huis, A., Oonincx, D. G. A. B., Rojo, S., & Tomberlin, J. K. (2020). Insects as feed: House  
655 fly or black soldier fly? *Journal of Insects as Food and Feed*, 6(3), 221–229.
- 656 Wang, S., Ding, Y., Zhang, L., Cheng, Y., Deng, Y., Jiang, Q., Gao, H., Gu, J., Yang, G., Zhu,  
657 L., Yan, T., Zhang, Q., & Ye, J. (2023). Combination of colorimetry, inner filter effect-induced  
658 fluorometry and smartphone-based digital image analysis: A versatile and reliable strategy for  
659 multi-mode visualization of food dyes. *Journal of Hazardous Materials*, 445, 130563.
- 660 Xu, J., Xiao, S., Wang, J., Wang, B., Cai, Y., & Hu, W. (2023). Comparative study of the effects  
661 of ultrasound-assisted alkaline extraction on black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae  
662 protein: Nutritional, structural, and functional properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, 101,  
663 106662.
- 664 Yao, W., Zhang, C., Mao, H., Hua, G., Liu, Q., Zhao, S., Shuang, H., Poolsawat, L., Yuan, S.,  
665 Wang, J., & Wang, Q. (2024). Effects of dietary defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*)  
666 larvae meal substituting fish meal on growth, antioxidative capacity, immunity, intestinal

- 667 histology and microbiota of juvenile Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*). *Aquaculture*  
668 *Reports*, 38, 102302.
- 669 Zeng, F., Hu, Z., Yang, Y., Jin, Z., & Jiao, A. (2024). Baking quality and starch digestibility in  
670 whole wheat bread based on protein enrichment strategy: Significance of protein-starch-water  
671 interaction in dough. *Food Bioscience*, 61, 104403.

## 5.2

---

**Patente:** *Desenvolvimento de pão tipo australiano enriquecido com farinha desengordurada de larva de mosca soldado negro (BSF) ou Black Soldier Fly (Hermetia illucens).*



23/01/2025 870250005345  
11:56



29409162310490888

Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT

Número do Processo: BR 10 2025 001303 7

#### Dados do Depositante (71)

---

##### Depositante 1 de 3

**Nome ou Razão Social:** UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECONCAVO DA BAHIA - UFRB

**Tipo de Pessoa:** Pessoa Jurídica

**CPF/CNPJ:** 07777800000162

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Jurídica:** Instituição de Ensino e Pesquisa

**Endereço:** Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - Pró Reitoria de Pesquisa e Pós-graduação s/número Centro

**Cidade:** Cruz das Almas

**Estado:** BA

**CEP:** 44380-000

**País:** Brasil

**Telefone:** (75)36212002

**Fax:** (75)36212002

**Email:** cinova@ppgci.ufrb.edu.br

---

**PETICIONAMENTO  
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 23/01/2025 às 11:56, Petição 870250005345

**Depositante 2 de 3****Nome ou Razão Social:** UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**Tipo de Pessoa:** Pessoa Jurídica**CPF/CNPJ:** 15180714000104**Nacionalidade:** Brasileira**Qualificação Jurídica:** Instituição de Ensino e Pesquisa**Endereço:** Rua Augusto Viana, s/n, Palácio da Reitoria, Canela**Cidade:** Salvador**Estado:** BA**CEP:** 40110-909**País:** BRASIL**Telefone:****Fax:****Email:****Depositante 3 de 3****Nome ou Razão Social:** UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA**Tipo de Pessoa:** Pessoa Jurídica**CPF/CNPJ:** 14045546000173**Nacionalidade:** Brasileira**Qualificação Jurídica:** Instituição de Ensino e Pesquisa**Endereço:** Avenida Transnordestina, s/n – Novo Horizonte**Cidade:** Feira de Santana**Estado:** BA**CEP:** 44036-900**País:** BRASIL**Telefone:****Fax:****Email:****PETICIONAMENTO  
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em  
23/01/2025 às 11:56, Petição 870250005345

**Dados do Pedido**

---

**Natureza Patente:** 10 - Patente de Invenção (PI)

**Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54):** DESENVOLVIMENTO DE PÃO TIPO AUSTRALIANO ENRIQUECIDO COM FARINHA DESENGORDURADA DE LARVA DE MOSCA SOLDADO NEGRO (BSF), OU BLACK SOLDIER FLY (HERMETIA ILLUCENS)

**Resumo:** A presente invenção refere-se ao desenvolvimento de um pão tipo australiano enriquecido com farinha desengordurada de larva de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*), que caracteriza-se por apresentar um maior conteúdo proteico e de fibras solúveis, representadas pela quitina. A formulação a partir da receita básica de pão tipo australiano favorece a sua aceitação por mascarar características sensoriais indesejáveis, presente na farinha desengordurada de larvas de mosca soldado negro, somando-se ao seu caráter inovador. Por se tratar do enriquecimento de um alimento largamente consumido ao redor do mundo com uma fonte alternativa de proteína de maior eficiência energética e hídrica, o pão desenvolvido tem um grande potencial de contribuição para a disponibilização e acesso a alimentos saudáveis, seguros e sustentáveis à população.

---

**PETICIONAMENTO  
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em  
23/01/2025 às 11:56, Petição 870250005345

**Dados do Inventor (72)**

---

**Inventor 1 de 8****Nome:** EDNA SANTANA DE SENA**CPF:** 04569836518**Nacionalidade:** Brasileira**Qualificação Física:** Trabalhador da fabricação de alimentos, bebidas, fumo e de agroindústrias**Endereço:** Avenida Canaã, 405. Condomínio Ilhas do Mediterrâneo, Edifício Rodes, apt 104, Bairro Sim,**Cidade:** Feira de Santana**Estado:** BA**CEP:****País:** BRASIL**Telefone:****Fax:****Email:****Inventor 2 de 8****Nome:** MARIANA COSTA SOUZA**CPF:** 04694167502**Nacionalidade:** Brasileira**Qualificação Física:** Professor do ensino superior**Endereço:** Rua Rollie e Poppino, 8897, Condomínio Alegria 2, casa 293, Bairro Sim**Cidade:** Feira de Santana**Estado:** BA**CEP:****País:** BRASIL**Telefone:****Fax:****Email:****Inventor 3 de 8**

---

**PETICIONAMENTO  
ELETRÔNICO**Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em  
23/01/2025 às 11:56, Petição 870250005345

**Nome:** JÉSSICA SOUZA RIBEIRO

**CPF:** 03902678569

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Física:** Professor do ensino superior

**Endereço:** Rua Tonico Lemos, 10, Residencial Jardim Madrid, Casa 66, Bairro Alto Maron.

**Cidade:** Vitória da Conquista

**Estado:** BA

**CEP:**

**País:** BRASIL

**Telefone:**

**Fax:**

**Email:**

Inventor 4 de 8

**Nome:** LIZ OLIVEIRA DOS SANTOS

**CPF:** 03006906578

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Física:** Professor do ensino superior

**Endereço:** Rua Rodolpho Coelho Cavalcante, 237. Condomínio Baía Tropical, torre Paraty, apt 1602, Bairro Armação,

**Cidade:** Salvador

**Estado:** BA

**CEP:**

**País:** BRASIL

**Telefone:**

**Fax:**

**Email:**

Inventor 5 de 8

**PETICIONAMENTO  
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 23/01/2025 às 11:56, Petição 870250005345

**Nome:** SAMANTHA SERRA COSTA

**CPF:** 01383747598

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Física:** Professor do ensino superior

**Endereço:** Rua dos Pintassilgos, 120, apt 601, Bairro Imbuí

**Cidade:** Salvador

**Estado:** BA

**CEP:**

**País:** BRASIL

**Telefone:**

**Fax:**

**Email:**

**Inventor 6 de 8**

**Nome:** GEANY PERUCH CAMILLOTO

**CPF:** 09967064706

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Física:** Professor do ensino superior

**Endereço:** Rua Belém, 680, casa C10, Bairro Conceição

**Cidade:** Feira de Santana

**Estado:** BA

**CEP:**

**País:** BRASIL

**Telefone:**

**Fax:**

**Email:**

**Inventor 7 de 8**

**PETICIONAMENTO  
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em  
23/01/2025 às 11:56, Petição 870250005345

**Nome:** RENATO SOUZA CRUZ

**CPF:** 72692065620

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Física:** Professor do ensino superior

**Endereço:** Rua Belém, 680, casa C10, Bairro Conceição

**Cidade:** Feira de Santana

**Estado:** BA

**CEP:**

**País:** BRASIL

**Telefone:**

**Fax:**

**Email:**

**Inventor 8 de 8**

**Nome:** CLÁUDIO VAZ DI MAMBRO RIBEIRO

**CPF:** 00133933679

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Física:** Professor do ensino superior

**Endereço:** Rua Professor Sabino Silva, 1017, Bairro Jardim Apipema

**Cidade:** Salvador

**Estado:** BA

**CEP:**

**País:** BRASIL

**Telefone:**

**Fax:**

**Email:**

**PETICIONAMENTO  
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em  
23/01/2025 às 11:56, Petição 870250005345

### 5.3

---

*Manuscrito: Propriedades físico-químicas e tecnológicas de macarrão tipo talharim enriquecido com farinha desengordurada de larvas de *Hermetia illucens*.*

1 **Propriedades físico-químicas e tecnológicas de macarrão tipo talharim enriquecido com**  
 2 **farinha desengordurada de larvas de *Hermetia illucens***

3  
 4 Edna Santana de Sena<sup>a</sup>; Renato Souza Cruz<sup>a</sup>; Liz Oliveira dos Santos<sup>b</sup>; Robson de Queiros  
 5 Domingues<sup>c</sup>; Cláudio Vaz Di Mambro Ribeiro<sup>a\*</sup>

6 <sup>a</sup>*Universidade Federal da Bahia, Programa de pós-graduação em Ciência de Alimentos, Rua*  
 7 *Barão de Jeremoabo, s/n - Ondina, 40.170-110, Salvador, Bahia, Brasil.*

8 <sup>b</sup>*Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciência e Tecnologia em Energia e*  
 9 *Sustentabilidade, 44.042-280, Feira de Santana, Bahia, Brasil.*

10 <sup>c</sup>*Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de pós-graduação em Engenharia e*  
 11 *Ciência de Alimentos, 45.700-000, Itapetinga, Bahia, Brasil.*

<i>Periódico a ser submetido (1ª submissão):</i>	Incluir o nome e ISSN do periódico
<i>Maior percentil (Scopus):</i>	<a href="https://www.scopus.com/sources">https://www.scopus.com/sources</a>
<i>Periódico a ser submetido (2ª submissão):</i>	Incluir o nome e ISSN do periódico
<i>Maior percentil (Scopus):</i>	<a href="https://www.scopus.com/sources">https://www.scopus.com/sources</a>

15  
 16  
 17  
 18 **\*Corresponding author:** *Cláudio Vaz Di Mambro Ribeiro (Departamento de Zootecnia,*  
 19 *Universidade Federal da Bahia, Avenida Adhemar de Barros, 500, Ondina, 44170-110,*  
 20 *Salvador, Bahia, Brasil. Telefone: +55 16 3301-9669. E-mail: [claudioribeiro@ufba.br](mailto:claudioribeiro@ufba.br)*

21  
 22  
 23  
 24  
 25  
 26  
 27  
 28

## 29 RESUMO

30 A busca por fontes protéicas sustentáveis tem incentivado o uso de insetos em alimentos, e o  
31 macarrão, um alimento básico consumido globalmente, surge como uma alternativa viável para  
32 enriquecer massas alimentícias, promovendo produtos mais nutritivos e sustentáveis. A farinha  
33 de *Hermetia illucens*, rica em proteínas, lipídios e minerais, é uma fonte promissora para  
34 enriquecer alimentos, embora sua incorporação em massas possa alterar suas propriedades  
35 tecnológicas. O objetivo deste estudo foi desenvolver amostras de macarrão tipo talharim “rico  
36 em proteínas” e avaliar o impacto da inclusão de 11,75%, 14,65%, 23,5% e 31,76% de farinha  
37 desengordurada de mosca soldado negra à farinha de sêmola durum, analisando as propriedades  
38 físico-químicas e tecnológicas da massa. Os resultados mostraram que a adição de farinha de  
39 inseto aumentou significativamente os teores de proteínas e cinzas, com o tratamento de maior  
40 substituição alcançando 21,62% de proteína, em comparação ao controle. O tempo de  
41 cozimento variou entre 5 e 7 minutos, mantendo-se constante até 23,5% de substituição, mas  
42 diminuindo no tratamento 31,76% devido à menor integridade do glúten. A absorção de água  
43 aumentou conforme a quantidade de farinha de inseto, enquanto a perda de sólidos no  
44 cozimento foi inferior a 6%, indicando boa retenção estrutural. A coloração do macarrão  
45 apresentou uma tonalidade mais escura e amarronzada, supondo uma amostra mais puxada para  
46 o parâmetro ( $a^*$ ). Além disso, a textura sofreu modificações na firmeza e na força de  
47 cisalhamento, impactando as propriedades mecânicas e a resistência estrutural, o que resultou  
48 em um macarrão mais quebradiço no tratamento de 31,76%

49

50

51 **Palavras-chaves:** Massa alimentícia; Enriquecimento protéico; Insetos comestíveis; Qualidade  
52 da massa.

53

54

55

## 56 1. INTRODUÇÃO

57 Estima-se que o consumo diário de proteína animal nos países em desenvolvimento  
58 aumentará 22% até 2030 e 25% até 2050 (FAO/OMS, 2017), pressionando os sistemas  
59 alimentares globais. Diante desse cenário, a busca por fontes alternativas de proteína torna-se  
60 essencial, e os insetos comestíveis são considerados uma alternativa econômica e sustentável  
61 (Van Huis *et al.*, 2013), devido ao alto valor nutricional e ao potencial como ingrediente  
62 alimentar (Araújo *et al.*, 2019).

63 A entomofagia ainda é vista como repugnante por muitos (Arp *et al.*, 2024). No entanto,  
64 a aceitação dos insetos pelos consumidores tende a ser maior quando são processados em  
65 farinha e incorporados aos alimentos de forma que sua presença não seja perceptível, tornando-  
66 os mais atrativos (Zeng *et al.*, 2024; Kim *et al.*, 2016; Delicato *et al.*, 2020). A farinha de inseto  
67 é um ingrediente com potencial para o enriquecimento de produtos alimentícios (Nissen *et al.*,  
68 2020), sua incorporação contribui com o valor nutricional, aumentando os níveis de proteína e  
69 fibra alimentar, devido ao seu alto teor protéico e à presença de quitina (Carcea, 2020; Borges  
70 *et al.*, 2022).

71 Produtos à base de cereais, como pão e macarrão, são alimentos básicos consumidos  
72 globalmente (Carcea, 2020). O macarrão seco, tradicionalmente feito de sêmola de trigo duro,  
73 é um alimento não perecível, acessível e fonte de carboidratos (Pinel *et al.*, 2024). Oferece  
74 praticidade devido à sua acessibilidade, longa vida útil, facilidade de preparo e alto valor  
75 energético (Bekiroglu *et al.*, 2025).

76 Alguns estudos foram feitos para aumentar o teor de proteína do macarrão, utilizando  
77 fontes vegetais e animais, especialmente leguminosas e insetos comestíveis. Embora o  
78 enriquecimento nutricional melhore o valor das massas, ele pode alterar propriedades físico-  
79 químicas, como cor, firmeza e sabor, quando comparado à massa convencional (Abdo *et al.*,  
80 2024). A incorporação de farinha de inseto nos produtos de cereais tende a provocar alterações  
81 sensoriais, como o escurecimento na cor, e mudanças nas propriedades texturais, incluindo  
82 dureza, elasticidade, mastigabilidade e coesividade (Pérez-Rodríguez *et al.*, 2023).

83 Duda *et al.* (2019) produziram massa de semolina com diferentes níveis de pó de grilo  
84 (*A. domesticus*), observando aumento no teor de proteína com adições de 5%, 10% e 15%. Os  
85 resultados indicaram que a adição de pó de grilo influenciou na perda de cozimento, bem como  
86 na cor do macarrão, que variou para tons de azul e vermelho. A firmeza também foi alterada.  
87 Çabuk *et al.* (2020) substituíram 15% da farinha de trigo por farinha de *L. migratoria* e *T.*  
88 *molitor* para produzir erişte, uma massa tradicional turca, observando aumentos de 51% e 42%  
89 no teor de proteína, respectivamente. Piazza *et al.* (2023) usaram pó de pupas de *Bombyx mori*

90 para formular massa de semolina, resultando em aumento de 41% no teor de proteína. Já  
91 Hidalgo *et al.* (2023) substituíram 15% da semolina por proteínas solúveis em sal de *B. mori* e  
92 *H. illucens*, resultando em aumentos de 33% e 20% no teor de proteína, o macarrão enriquecido  
93 apresentou cor mais escura, maior fraturabilidade e maior índice de absorção de água em  
94 comparação com o controle, mas a firmeza e adesividade não foram alteradas.

95       Estudos sobre a fortificação de massas alimentícias com insetos comestíveis ainda são  
96 limitados na literatura científica. Até o momento, nenhum estudo abordou a fortificação de  
97 massa seca de sêmola de trigo duro com farinha desengordurada de *H. illucens*. Portanto, esta  
98 pesquisa teve como objetivo preparar amostras de macarrão tipo talharim com adição de farinha  
99 de larvas de BSF à farinha de sêmola durum, nas proporções de 11,75%, 14,65%, 23,5% e  
100 31,76%, visando obter um macarrão rico em proteína e avaliar suas propriedades físico-  
101 químicas e tecnológicas.

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

119

120

121

122

123

## 124 2 MATERIAL E MÉTODOS

125

### 126 2.1 *Matérias-primas*

127 A farinha de larvas de mosca soldado negra (BSF) foi adquirida da empresa ALFAFLY  
128 LTDA (Florianópolis, SC, Brasil), registrada no Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA).  
129 A farinha de trigo durum para a produção das massas foi comprada em um mercado online. Os  
130 demais ingredientes utilizados – óleo vegetal e sal – foram obtidos em um supermercado local  
131 em Feira de Santana, Bahia, Brasil.

132

### 133 2.2 *Propriedades reológicas e modelagem estatística*

134 Diferentes concentrações de farinha de larvas de BSF foram incorporadas à farinha de  
135 sêmola durum para avaliar os efeitos reológicos e determinar as concentrações ideais para  
136 macarrão. Testes de resistência à extensão (g) e extensibilidade (mm) analisaram a força e  
137 flexibilidade da rede de glúten (Boita *et al.*, 2016).

138 As massas seguiram um delineamento inteiramente casualizado, preparadas com 50 g  
139 de sêmola durum e 0–40% de farinha de larvas de BSF, hidratadas com água destilada a 2% de  
140 NaCl, conforme o coeficiente de absorção de água (CAA) das farinhas utilizada. A adição de  
141 NaCl (1–4%) seguiu Tan *et al.* (2018) para melhorar características das massas. As massas  
142 foram misturadas em batedeira planetária (Skynsen BPS-05-N) na velocidade 2 por 5 minutos  
143 até homogeneização, prensadas em moldes de Teflon lubrificadas com óleo mineral e  
144 repousaram por 45 minutos em câmara umidificada.

145 A análise reológica seguiu Kowalczewski *et al.* (2015) e utilizou um analisador de  
146 textura (TA-XT Plus, Stable Micro Systems) com célula de carga de 5 kg e aparato Kieffer  
147 Dough/Gluten Extensibility. Foram aplicadas velocidades de pré-teste (2 mm/s), teste (3 mm/s)  
148 e pós-teste (10 mm/s) em 10 tiras de massa por amostra. A concentração ideal de FDLBSF foi  
149 determinada por modelagem estatística em três etapas: (a) identificação do modelo adequado,  
150 (b) avaliação da significância ( $p < 0,05$ ) e (c) análise do ajuste ( $p > 0,05$ ). Modelos descritivos  
151 e regressão linear definiram a melhor concentração para resistência à extensão e  
152 extensibilidade.

153

### 154 2.3 *Produção do macarrão*

155 Foram desenvolvidas cinco formulações de massa alimentícia considerando critérios  
156 reológicos e estatísticos. A adição de farinha de inseto impactou as propriedades da massa,  
157 reduzindo a extensibilidade (mínimo de 13,94 mm com 31,76% de farinha desengordurada de

158 larvas BSF) e a resistência à extensão (mínimo de 18,80 g com 14,65% de farinha  
159 desengordurada de larvas BSF).

160 As massas foram preparadas com 0%, 11,75%, 14,65%, 23,5% e 31,76% de farinha  
161 desengordurada de larvas BSF, visando atender aos critérios da alegação nutricional "rico em  
162 proteína", conforme a Instrução Normativa Brasileira nº 75, de 8 de outubro de 2020. Esta  
163 normativa estabelece que produtos que forneçam pelo menos 20% do valor diário recomendado  
164 (VDR) de proteínas podem fazer a alegação "rico em proteína", enquanto "aumentado em  
165 proteína" é destinado a produtos com mais de 25% do VDR.

166 Todos os ingredientes foram pesados nas seguintes proporções: 20% de farinha de  
167 sêmola durum, 0,5% de sal, 2% de óleo de soja e 40% de água filtrada. Os ingredientes secos  
168 foram misturados por 1 minuto em velocidade baixa na batedeira planetária até homogeneizar.  
169 Em seguida, o óleo e a água foram adicionados e misturados por 4 minutos até formar uma  
170 massa homogênea. A massa foi então extrusada na máquina de massas (INDIANA, MINI 30)  
171 no formato "talharim", com 5 cm de comprimento e 3 mm de espessura. As amostras recém-  
172 extrusadas foram secas em estufa de circulação de ar a 60 °C por 3 horas, até atingirem um teor  
173 de umidade máximo de 13,0% (g/100g), conforme a Resolução nº 263, de 22 de setembro de  
174 2005, da ANVISA, que estabelece esse limite para massas alimentícias secas.

175

176 **Figura 17.** Macarrões secos formulados com diferentes proporções de farinha desengordurada  
177 de larvas de BSF.



178

179 **\*\***(A) Controle – 100% farinha de sêmola durum (0% de farinha de inseto); (B) Macarrão com 11,75% de  
180 farinha de inseto; (C) Macarrão com 14,65% de farinha de inseto; (D) Macarrão com 23,50% de farinha de  
181 inseto; e (E) Macarrão com 31,76% de farinha de inseto, incorporada à farinha de sêmola durum para  
182 enriquecimento proteico.

183

**Fonte:** Autora, 2025.

#### 184 **2.4 Composição nutricional do macarrão**

185 As análises foram realizadas na massa crua triturada. O teor de umidade foi  
186 determinado pelo método (AOAC 925.10) secagem a 105 °C até peso constante, cinzas (AOAC  
187 942.05), proteína bruta pelo método micro-Kjeldahl (AOAC 979.09), com fator de conversão  
188 de nitrogênio de 5,70. Lipídios foi obtido pelo método Soxhlet, extraídos com éter de petróleo  
189 30°-60° P.A por 6 horas (AOAC 948.22). Os carboidratos totais foram obtidos por diferença,  
190 subtraindo os teores de lipídios, proteínas, cinzas e umidade de 100% da amostra.

191

#### 192 **2.5 Determinação de Cor**

193 As análises de cor das massas cruas e cozidas foram realizadas com um colorímetro CR-  
194 400 (Konica Minolta, Tóquio, Japão) no espaço de cores CIELAB. Para garantir a consistência,  
195 fios de massa crua e cozida foram alinhados paralelamente sobre uma superfície plana, sem  
196 espaços entre eles. Cada medição utilizou 10 a 12 fios de macarrão, com quatro leituras em  
197 pontos distintos da superfície de cada amostra, totalizando três medições por amostra. Os  
198 valores de L\* (luminosidade), a\* (vermelhidão) e b\* (amarelidão) foram registrados e  
199 comparados à amostra controle.

200

#### 201 **2.6 Análises de Textura**

202 A análise de textura foi realizada em amostras cozidas utilizando um analisador de  
203 textura TA.XTplus (Stable Micro System Co. Ltd., Godalming, Reino Unido), de acordo com  
204 o Método Aprovado 66-50 da AACC (2000). O analisador de textura foi equipado com uma  
205 sonda reta de plexiglass, (A/LKB-F, Stable Micro System Co. Ltd., Godalming, Reino Unido)  
206 e as medições foram realizadas à temperatura ambiente, utilizando uma célula de compressão  
207 de 5 kg.

208 Cinco tiras de massa cozida e escorrida, com 5 cm de comprimento cada, foram  
209 posicionadas lado a lado na plataforma do analisador. Uma sonda retangular de 35 mm × 50  
210 mm foi utilizada, com os seguintes parâmetros de teste: velocidade pré-teste de 0,5 mm/s,  
211 velocidade de teste de 0,2 mm/s e velocidade pós-teste de 10 mm/s. A distância de descida da  
212 sonda foi de 4,5 mm, permitindo o corte completo da amostra. As amostras apresentavam  
213 dimensões de 2 mm de altura, 10 mm de largura e 100 mm de comprimento. A força máxima  
214 necessária para cortar a amostra (força máxima de cisalhamento ou firmeza) e o trabalho  
215 necessário para movimentar a lâmina através da amostra (trabalho de cisalhamento) foram  
216 calculados. Os resultados foram expressos como a média de quatro réplicas.

217

## 218 **2.7. Tempo de cozimento ótimo (OCT)**

219 Vinte e cinco gramas de macarrão seco cru foram adicionados a 300 mL de água  
220 fervente (sem adição de sal), mantendo-se uma fervura contínua. Durante o processo, amostras  
221 foram retiradas a cada 30 segundos e pressionadas entre duas lâminas de vidro transparentes. O  
222 OCT foi determinado quando nenhum núcleo branco era mais visível, indicando a hidratação  
223 completa do macarrão. As avaliações foram realizadas conforme os procedimentos descritos  
224 pela AACC (2000).

225

## 226 **2.8 Perda de sólidos**

227 A perda de sólidos durante o cozimento foi determinada por gravimetria, conforme  
228 descrito por Duda *et al.* (2019). A massa foi cozida de acordo com o OCT, e 10 mL da água de  
229 cozimento de cada amostra foram coletados e transferidos para placas de Petri previamente  
230 taradas. Em seguida, as placas foram colocadas em estufa a 105 °C até a secagem completa.  
231 Após esse processo, as amostras foram resfriadas em dessecador por 30 minutos e,  
232 posteriormente, pesadas. A perda de sólidos foi calculada como a razão entre a massa cozida e  
233 a crua (g/g).

234

## 235 **2.9 Aumento de volume**

236 O aumento de volume das massas foi determinado pelo método descrito por Chang *et*  
237 *al.* (2004), com modificações. Amostras de 25 g foram imersas em 110 mL de querosene, e o  
238 volume deslocado pelo querosene foi medido tanto para a massa crua quanto para a massa  
239 cozida. Os resultados foram expressos como o fator de aumento de volume da massa após a  
240 cocção.

241

## 242 **2.10 Absorção de água**

243 O índice de absorção de água foi determinado de acordo com Axentii *et al.* (2023), com  
244 modificações. Para isso, 25 g de massa foram cozidos em 300 mL de água destilada, seguindo  
245 o tempo ótimo de cozimento (OCT) definido para cada amostra. Após o cozimento, o excesso  
246 de água foi drenado em uma peneira fina por 3 minutos, e adicionado 50 mL de água para parar  
247 o cozimento e o peso do produto cozido foi registrado. O índice de absorção de água foi  
248 calculado como: **W1** é peso da amostra cozida (g), **W2** é o peso da amostra crua (g).

249 
$$\text{Absorção de água (\%)} = w1 (g) - \frac{w1 (g)}{W2 (g)} \times 100$$

250

Eq. 16

251 **2.11. Análise estatística**

252 Os dados foram analisados com o software Jamovi por meio de ANOVA e regressão  
253 linear, incluindo termos lineares e quadráticos. A qualidade do ajuste foi avaliada pelo  
254 coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e pelo teste F. A normalidade dos resíduos foi verificada por  
255 meio dos testes de Shapiro-Wilk e a homocedasticidade foi avaliada pelos testes de Breusch-  
256 Pagan. O nível de significância adotado foi de 5% ( $p < 0,05$ ). Os dados foram expressos como  
257 média  $\pm$  desvio padrão (DP) quando aplicável.

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274

275

276

277

278

279

280

281

282

## 283 **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

284

### 285 **3.1 Análise reológica da massa**

286 Conforme observado na Figura 18, concentrações de até 15% de farinha de larvas BSF  
287 resultam em uma redução significativa da resistência da massa (RES), com valores inferiores a  
288 20%. Concentrações acima desse limite promovem um aumento expressivo da resistência. A  
289 diminuição da resistência está associada à formação deficiente da rede de glúten, prejudicando  
290 propriedades como extensibilidade e viscoelasticidade. Isso ocorre devido à possível ausência  
291 das proteínas gliadina e glutenina, que são as proteínas primárias responsáveis pela formação  
292 do glúten (Ahmed *et al.*, 2024) na farinha de larvas BSF, tornando a massa mais frágil e menos  
293 elástica, pois o glúten desempenha um papel crucial na qualidade do macarrão (Li *et al.*, 2023).  
294 Por outro lado, o aumento expressivo da resistência com maiores concentrações de farinha de  
295 inseto pode estar relacionada às suas características físico-químicas. A alta concentração de  
296 lipídios na farinha de inseto contribui para a hidrofobicidade da massa, dificultando a hidratação  
297 e tornando-a mais compacta e rígida.

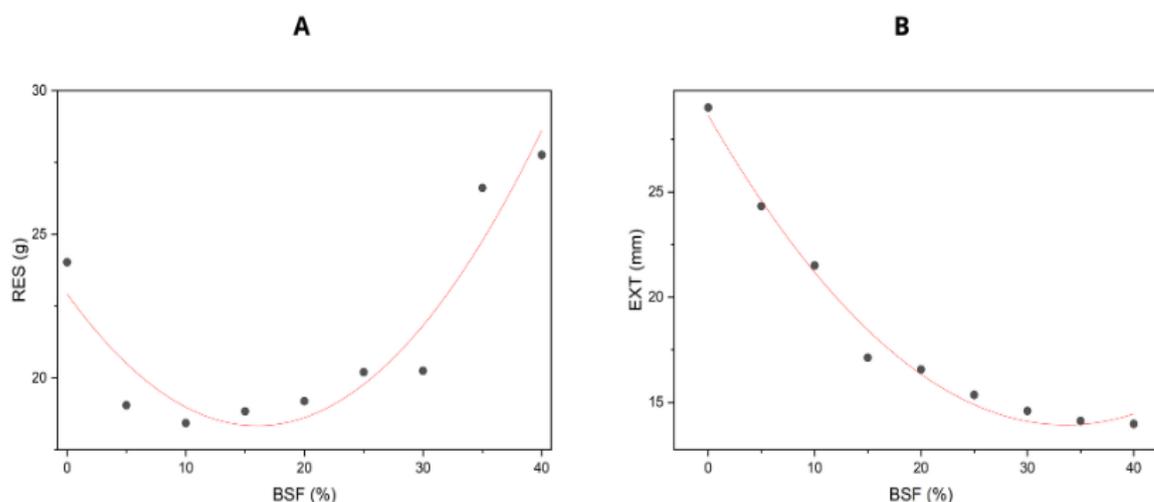
298 A análise de regressão apresenta um aumento da farinha de larvas BSF na massa que  
299 reduz sua resistência, o que está relacionado com a maciez da massa (Mu *et al.*, 2022).  
300 Entretanto, o modelo quadrático significativo ( $p < 0,001$ ) sugere uma curvatura na relação, ou  
301 seja, o efeito da farinha de larvas BSF sobre a resistência da massa não é linear, mas depende  
302 da concentração de farinha de inseto. O ponto mínimo ocorre em 14,65% de farinha de BSF,  
303 resultando em uma resistência de 18,80 g. Esse comportamento parabólico sugere que a  
304 concentração ideal de farinha de BSF pode ser ajustada conforme o objetivo desejado. Os  
305 valores ideais de RES são 31,76% e 14,65%, respectivamente.

306 Da mesma forma, o aumento da farinha de BSF inicialmente reduziu o valor de extensão  
307 (EXT) da massa. No entanto, o modelo linear indicou uma relação negativa significativa ( $p =$   
308 0,014), ou seja, à medida que a concentração de farinha de inseto aumenta, a extensibilidade da  
309 massa diminui. O ponto mínimo ocorre quando a farinha de BSF atinge 31,76%, resultando em  
310 uma EXT mínima de 13,94 cm. Isso significa que, até esse ponto, a extensão diminui, mas após  
311 esse valor, começa a aumentar novamente.

312

313

314 **Figura 18.** Gráfico com a curva de regressão para (A) resistência (RES) e (B) extensão (EXT)  
 315 da massa com adição de farinha de larvas de mosca soldado negra (BSF).



316

317

*Fonte: Autora, 2025.*

318

### 319 **3.2 Composição nutricional do macarrão**

320 A incorporação de farinha de larvas BSF resultou em uma melhoria na composição  
 321 nutricional do macarrão, com aumento significativo no teor de proteínas e cinzas ( $p < 0,001$ ),  
 322 Figura 19. Além disso, observou-se uma redução gradual nos carboidratos (Tabela 4). Os  
 323 tratamentos 11,75% e 14,65% de farinha de larvas atenderam ao critério para a alegação de  
 324 “alto teor de proteína” (Equação 16) pois fornecem pelo menos 20% do valor diário  
 325 recomendado (VDR) de proteína por porção, conforme a Instrução Normativa nº 75/2020  
 326 (BRASIL, 2020). Já os tratamentos 23,50% e 31,76% podem ser rotulados como “aumentado  
 327 de proteína”, (Equação 15) por atingirem no mínimo 25% do VDR, garantindo níveis  
 328 particularmente adequados para fins nutricionais, conforme a normativa brasileira.

329

$$330 \quad \text{Proteína por porção (g)} = \frac{21,15}{100} \times 80 = 16,92 \text{ g}$$

331

Eq. 17

332 onde, Porção de macarrão: 80g; Proteína encontrada no tratamento máximo: 21,15%;

333 Consumo diário recomendado de proteína: 50g

334

335

$$336 \quad \text{Proteína por porção (g)} = \frac{16,54}{100} \times 80 = 13,27 \text{ g}$$

337 Eq. 18

338 onde, Porção de macarrão: 80g; Proteína encontrada no tratamento mínimo: 16,54%;  
339 Consumo diário recomendado de proteína: 50g.

340 A tabela 4 apresenta os dados da composição centesimal das massas secas preparadas  
341 com diferentes concentrações de farinhas de inseto (BSF).

342

343 **Tabela 4.** Composição centesimal e qualidade das massas secas enriquecidas com farinha  
344 desengordurada de larvas de mosca soldado negra em matéria natural.

345

Parâmetros	Tratamentos (%) <sup>a</sup>					p Valor <sup>b</sup>	
	0	11,75	14,65	23,50	31,76	L	Q
<i>Composição centesimal</i>							
PROT (%)	12,98 ± 0,16	16,59 ± 0,13	17,34 ± 0,01	19,42 ± 0,14	21,62 ± 0,11	<0,001	<0,001
LIP (%)	0,19 ± 0,09	1,57 ± 1,44	2,28 ± 0,97	2,36 ± 1,21	3,21 ± 0,92	0,085	0,489
UMI (%)	9,21 ± 0,36	8,69 ± 0,33	8,54 ± 0,18	8,11 ± 0,22	7,67 ± 0,41	0,076	0,804
CIN (%)	1,27 ± 0,02	2,20 ± 0,14	2,38 ± 0,05	2,96 ± 0,03	3,20 ± 0,14	<0,001	<0,001
CARB (%)	76,32 ± 0,13	70,99 ± 1,52	69,43 ± 0,84	67,13 ± 1,03	64,71 ± 0,94	<0,001	0,080
<i>Qualidade da massa</i>							
OCT (min)	7:33 ± 0,0	7:33 ± 0,0	7:33 ± 0,0	7:33 ± 0,0	5:05 ± 0,0	0,013	<0,001
PC (%)	1,27 ± 1,1	2,26 ± 1,3	3,35 ± 1,3	4,17 ± 0,0	5,08 ± 2,1	<0,001	<0,001
VOL (mL)	128,51 ± 2,5	125,63 ± 1,7	124,51±3,2	129,40 ±3,3	120,82 ± 1,9	0,971	0,540
WA (%)	241,94 ± 12,2	234,04±13,4	220,93±8,5	245,99±11,5	217,00 ± 7,1	0,801	0,864

346 Os dados são apresentados em média ± e desvio padrão de três repetições; (p < 0,05).

347 **a:** Percentual de adição de farinha desengordurada de mosca soldado negra na farinha de sêmola de trigo  
348 durum; 0 = 100% de farinha sêmola durum; 11,75%; 14,65%; 23,50% e 31,76% =

349 **b:** (L) Efeito linear e quadráticos (Q).

350 PROT = Proteínas; LIP = Lipídios; UMI = Umidade; CIN = Cinzas; CARB = Carboidratos; OCT =  
351 Tempo ótimo de cozimento; PC = Perda de Cozimento; VOL= Volume; WA= Absorção de água.

352 Fonte: Autora, 2025.

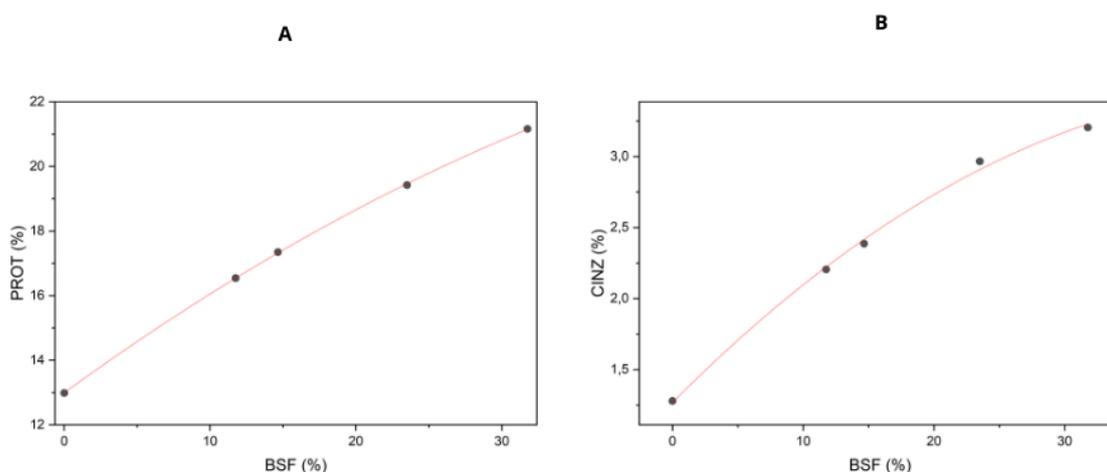
353

354 A análise de regressão do modelo linear indicou um aumento significativo no teor de  
355 proteínas e cinzas ( $p < 0,001$ ) com a inclusão da farinha de larvas BSF nas massas. No entanto,  
356 o modelo quadrático sugeriu que essa relação não é linear e, após certo limite de concentração  
357 de farinha de BSF, o aumento desses teores diminui ou passa a ser negativo (Figura 19). Isso  
358 indica que, embora a farinha de BSF inicialmente aumente os teores de proteínas e cinzas, há  
359 um ponto de saturação em que o efeito benéfico se inverte.

360 De acordo com Duda *et al.* (2019), a adição de fontes alternativas de proteína, como  
361 farinha e pós de insetos, pode melhorar a composição nutricional de produtos alimentícios. Da  
362 mesma forma, Çabuk e Yilmaz (2020) encontraram resultados positivos ao incorporar 15% de  
363 farinha de gafanhoto ou larva amarela na massa de ovo, o que resultou em um aumento no perfil  
364 nutricional, especialmente em proteínas e cinzas.

365

366 **Figura 19.** Gráfico com a curva de regressão para (A) proteína (PROT) e (B) cinzas (CINZ)  
367 da massa com adição de farinha de larvas de mosca soldado negra (BSF).



368

369

*Fonte: Autora, 2025.*

370

371 Por outro lado, os lipídios não apresentaram efeitos significativos nos tratamentos ( $p =$   
372  $0,085$ ), indicando que o incremento das concentrações de farinha de inseto não promove  
373 modificações estatisticamente relevantes sobre a concentração de lipídios das massas. A  
374 escolha da gordura é um fator crucial no desenvolvimento do macarrão, pois impacta  
375 diretamente a percepção do sabor e a formação da rede de glúten, influenciando a elasticidade  
376 e a extensibilidade da massa (Ahmed *et al.*, 2024). Atualmente, a legislação brasileira não  
377 estabelece limites específicos para o teor de lipídios em massas alimentícias enriquecidas com  
378 farinha de inseto. No entanto, a literatura reporta valores variáveis para essa composição. Duda

379 *et al.* (2019) identificaram teores de lipídios entre 1,31% e 4,73% em macarrão enriquecido  
380 com pó de grilo, enquanto Hidalgo *et al.* (2023) observaram valores entre 1,1% e 1,4% para  
381 proteínas solúveis em sal de *Hermetia illucens* e *Bombyx mori* em massas.

382 Os teores de umidade não apresentaram efeitos significativos nos tratamentos ( $p =$   
383 0,076), sugerindo que esse parâmetro não foi impactado de maneira relevante pela adição de  
384 farinha de larvas de BSF (Tabela 4). No entanto, é importante destacar que a umidade das  
385 massas desempenha um papel essencial na segurança e qualidade do produto, influenciando  
386 características como textura, sabor, aroma, estabilidade microbiológica e prazo de validade  
387 (Islam *et al.*, 2025). Hidalgo *et al.* (2023) relatou um teor de umidade de 12,4% em macarrão  
388 elaborado com extratos de *Hermetia illucens*, um valor superior ao observado neste estudo.

389 Quanto ao teor de carboidrato, apenas o efeito linear foi significativo para este parâmetro  
390 ( $p < 0,001$ ), indicando uma relação direta, pois à medida que a quantidade de BSF aumenta, o  
391 teor de carboidrato diminui de forma constante. Duda *et al.* também obtiveram resultados  
392 semelhantes, destacando que produtos com teores de carboidratos menores são favoráveis para  
393 atletas.

394

### 395 **3.2 Qualidade tecnológica da massa**

396 Os principais atributos de qualidade da massa incluem o OCT, a absorção de água, a  
397 textura após o cozimento, a resistência ao cozimento, a aparência e os atributos sensoriais, que  
398 são determinantes para a aceitabilidade do produto (Bustos *et al.*, 2015). As propriedades de  
399 cozimento desempenham um papel essencial na aceitação do consumidor, influenciadas pela  
400 interação entre o glúten e o amido, impactando diretamente a textura, firmeza e retenção de  
401 água durante o preparo (Abdo *et al.*, 2024).

402 A resposta das variáveis tempo de cozimento, absorção de água e volume aos modelos  
403 de regressão foi analisada estatisticamente. O OCT é definido como o tempo necessário para o  
404 desaparecimento completo do núcleo branco da massa, indicando a completa gelatinização do  
405 amido (Thomas *et al.*, 2022). Os tratamentos 11,75%, 14,65% e 23,50% não houve alteração  
406 significativa no tempo de cozimento (Tabela 4) em comparação com o tratamento 0%. Contudo,  
407 no tratamento 31,76%, observou-se uma redução no OCT, o que indicou um enfraquecimento  
408 da rede de glúten. Isso resultou em maior absorção de água e maior perda de sólidos no  
409 cozimento, conforme descrito por Bekiroglu *et al.* (2025). Esse efeito ocorre porque uma rede  
410 de glúten mais fraca permite maior penetração de água na massa e maior liberação de exsudato  
411 na água do cozimento (Long *et al.*, 2024).

412 A perda de sólidos é um indicador importante da qualidade da massa, sendo desejável  
413 que fique <9% para garantir massas de boa qualidade (AACC, 2000). Os resultados  
414 apresentados (Tabela 4), as massas à base de farinha de insetos obtiveram uma perda de sólidos  
415 menor que 6%, demonstrando uma retenção eficiente.

416 O índice de absorção de água reflete o aumento de peso da massa após o cozimento e  
417 está diretamente relacionado à composição dos ingredientes adicionados (Thomas *et al.*, 2022),  
418 além de ser usado para estimar características funcionais da massa, mostrando a capacidade da  
419 água ligada do produto (Itusaca-Maldonado *et al.*, 2024). Os valores encontrados no índice de  
420 absorção de água variaram entre 217,00% e 245,99%. As massas enriquecidas apresentaram  
421 uma variação na absorção de água em comparação à massa controle resultando em um modelo  
422 linear e quadrático não significativo (Tabela 4).

423 No aumento de volume, observou-se uma variação em comparação à amostra controle,  
424 com os modelos linear e quadrático não apresentando significância (Tabela 4). O menor volume  
425 registrado foi de 120,82 mL no tratamento 31,76%, o que pode estar associado ao seu maior  
426 teor proteico. Geralmente, um alto teor de proteína resulta na incorporação dos grânulos de  
427 amido em uma matriz proteica rígida, o que restringe sua capacidade de absorver água e limita  
428 o inchaço - uma característica fundamental para a qualidade do macarrão (Zaman *et al.*, 2024).  
429 O aumento de volume da massa está relacionado à sua densidade estrutural, pois produtos com  
430 menor densidade tendem a ocupar um volume maior devido à maior absorção de água pelo  
431 amido. Esse fenômeno representa um equilíbrio entre o desempenho do produto cozido em  
432 relação ao cru e o excesso de absorção de água causado pela alta gelatinização do amido (Bustos  
433 *et al.*, 2015).

434

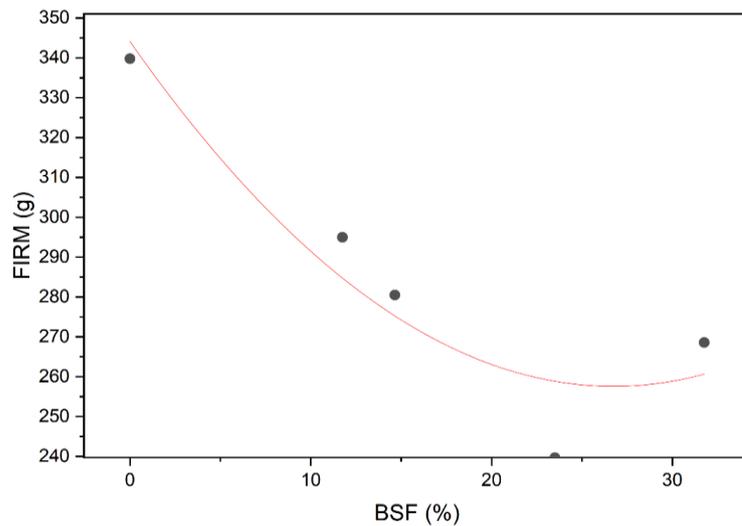
### 435 **3.3 Propriedades textuais da massa**

436 Segundo Bokić *et al.* (2022), as propriedades texturais são fundamentais para a  
437 qualidade da massa, pois garantem a integridade após o cozimento. Os parâmetros analisados  
438 nesse estudo foram firmeza (g) e cisalhamento (g.cm). Na Figura 20, observa-se que a firmeza  
439 do macarrão pode ser comprometida pela adição da farinha de BSF, na qual o aumento da  
440 incorporação deste no produto ocasiona uma redução de até 25% na firmeza inicial. Contudo,  
441 pode-se observar que para concentrações superiores a 30%, ocorre um leve aumento, resultando  
442 em um crescimento da firmeza (Figura 21). A firmeza da massa é definida como a força máxima  
443 exercida, estando diretamente relacionada à resistência da matriz proteica. Quanto maior o  
444 desenvolvimento da rede de glúten durante o processamento, maior será a força necessária para  
445 deformar a massa. Além disso, a integridade dessa matriz proteica influencia diretamente a

446 firmeza, resultando em menor liberação de resíduos na água de cozimento e menor adesividade  
447 da massa (Bustos *et al.*, 2015).

448

449 **Figura 20.** Gráfico de regressão para o parâmetro de textura na firmeza da massa nos  
450 diferentes tratamentos, podendo observar uma diminuição inicial seguida de um aumento,  
451 com o ponto de inflexão da curva.



452

453

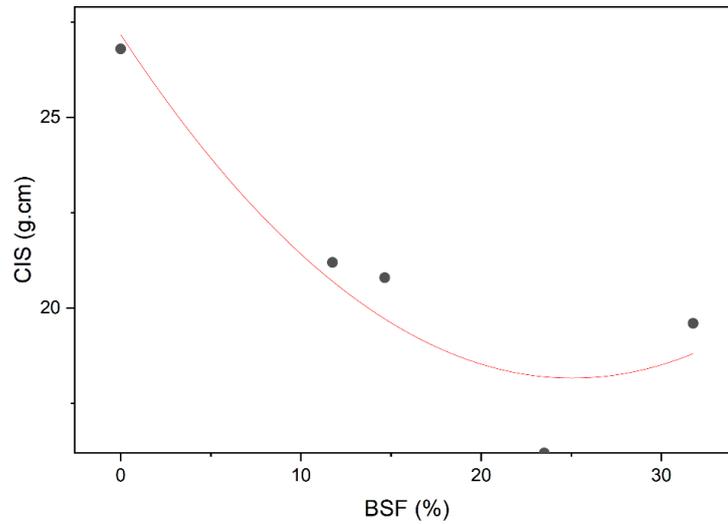
*Fonte: Autora, 2025.*

454 A força de cisalhamento representa a resistência da massa ao corte, sendo um fator  
455 essencial para a textura e a sensação de "mordida" percebida pelo consumidor (Bragança *et al.*,  
456 2017). A adição de farinha de inseto reduziu essa capacidade de cisalhamento (deformação),  
457 indicando um aumento na dureza da massa devido à sua maior compactabilidade, conforme  
458 ilustrado na Figura 21. Estudos anteriores sugerem que uma tensão de cisalhamento excessiva  
459 pode comprometer a qualidade do macarrão. Portanto, sua redução pode favorecer um produto  
460 final com melhor aceitação sensorial (Guan *et al.*, 2023).

461

462

463 **Figura 21.** Gráfico de regressão sobre a força de cisalhamento dos macarrões desenvolvidos.



464

465

*Fonte: Autora, 2025.*

#### 466 3.4 Cor da massa

467 Segundo (Islam *et al.*, 2025), a cor é um dos principais atributos de qualidade,  
 468 influenciando a decisão de compra do consumidor. Nos últimos anos, as massas têm  
 469 apresentado uma grande variedade de tonalidades, que vão desde o tradicional amarelo até o  
 470 vermelho, verde e preto. A coloração amarela característica, obtida pela utilização de semolina  
 471 durum, é um dos principais indicadores de boa qualidade em massas, devido ao seu alto teor de  
 472 carotenóides (Bustos *et al.*, 2015).

473

474

**Tabela 5.** Valores de cor nas formulações de macarrão da massa crua e cozida.

Parâmetros	Tratamentos (%) <sup>a</sup>				p Valor <sup>b</sup>		
	0	11,75	14,65	23,50	31,76	L	Q
<b>Cor</b>	<i>Massa seca crua</i>						
<i>L</i> *	35,53 ±0,56	26,73 ±1,03	23,20 ±0,95	23,02 ±0,46	21,91 ± 1,21	<0,001	<0,001
<i>a</i> *	2,33 ± 0,11	2,29 ± 0,10	2,52 ± 0,16	2,43 ± 0,13	2,81 ± 0,14	0,621	0,136
<i>b</i> *	19,96 ±0,54	11,56 ±0,38	9,79 ± 0,44	10,18 ±0,39	11,099 ± 0,15	<0,001	<0,001
	<i>Massa Cozida</i>						

<i>L</i> *	36,89 ±0,76	22,67 ±1,06	20,83 ±0,69	17,87 ±0,39	16,72 ± 0,67	<0,001	<0,001
<i>a</i> *	1,00 ± 0,08	3,56 ± 0,02	3,71 ± 0,16	3,37 ± 0,23	3,41 ± 0,07	<0,001	<0,001
<i>b</i> *	17,85 ±0,64	9,41 ± 0,28	9,32 ± 0,33	7,92 ± 0,27	8,11 ± 0,49	<0,001	<0,001

475 **a:** Os dados são apresentados em média ± e desvio padrão de três repetições, ( $p < 0,05$ ).

476 **a:** Percentual de adição de f farinha sêmola durum; Farinha desengordurada de mosca soldado negra na  
477 farinha de sêmola durum; 0% = 100% de 11,75%; 14,65%; 23,50% e 31,76% = percentuais de adição  
478 de farinha de larvas de mosca soldado negra;

479 **b:** *L*\*: Luminosidade; *a*\*: vermelho(+) ou verde (-); *b*\*: amarelo(+) ou azul (-);

480 (L) Efeito linear e quadráticos (Q).

481 Fonte: Autora, 2025.

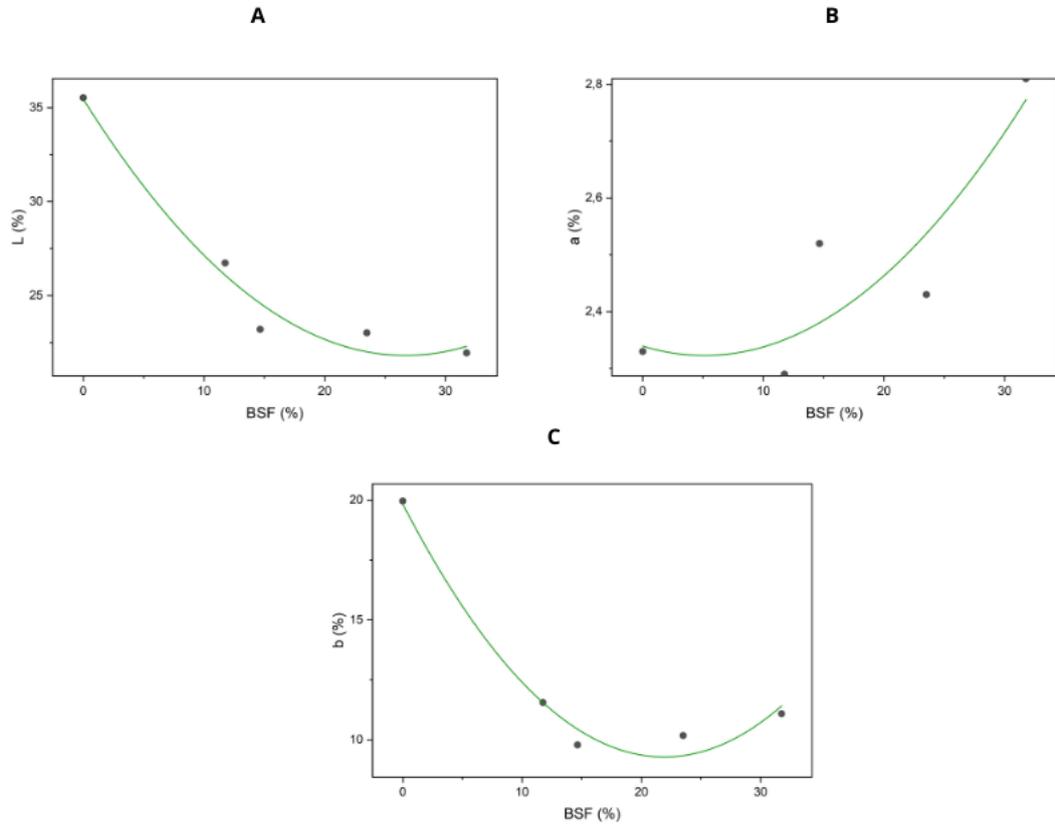
482

483 As coordenadas de cor *L*\*, *a*\* e *b*\* das massas crua e cozida foram avaliadas (Tabela 5).

484 Os efeitos linear e quadrático da regressão apresentou efeitos significativos para os parâmetros  
485 *L*\* e *b*\* da massa crua e cozida ( $p < 0,001$ ). Em contrapartida, o parâmetro *a*\* da massa crua  
486 não apresentou significância para os efeitos linear e quadrático ( $p > 0,05$ ), supondo que as  
487 concentrações de farinha de inseto adicionadas à massa crua não afetam a tendência de  
488 coloração do produto no eixo vermelhidão (*a*\*), embora podendo observar um aumento deste  
489 parâmetro, quando adicionado às concentrações de farinha BSF a olho nú (Figura 22B).

490

491

**Figura 22.** Gráfico de regressão para as variáveis de cor L\*, a\* e b\* da massa crua.

492

493

*Fonte: Autora, 2025.*

494

495

496

497

498

499

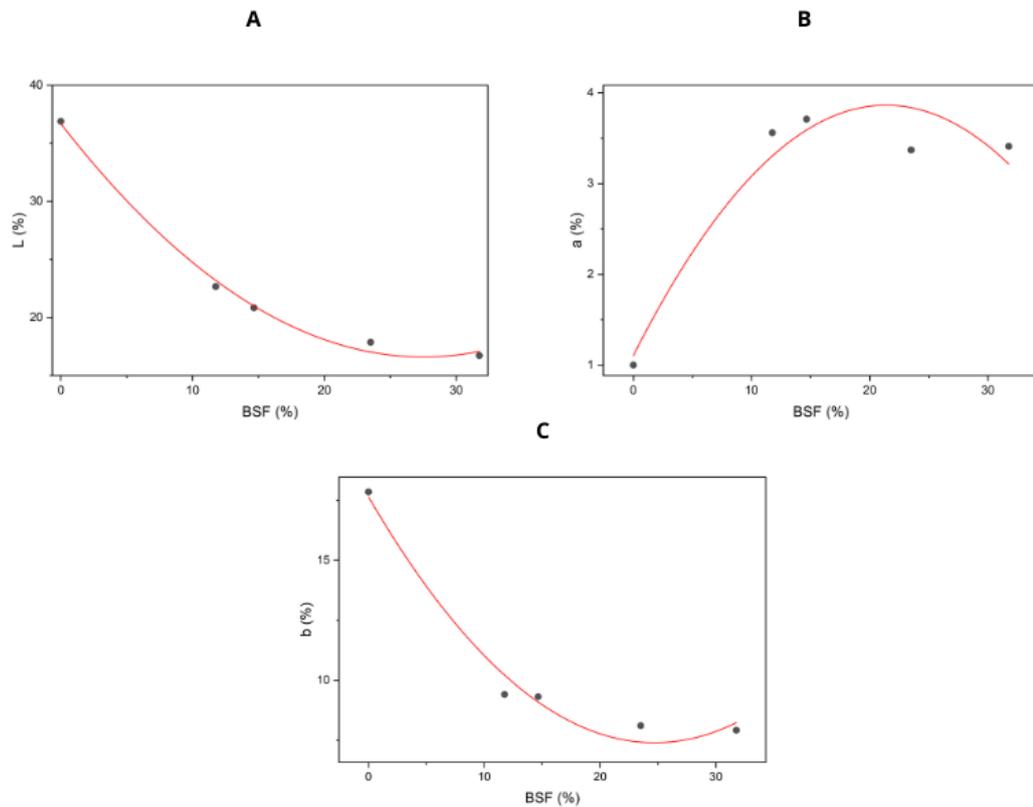
500

501

502

A massa controle apresentou os maiores valores de luminosidade (L\*), com 36,89% para a massa cozida e 35,53% para a crua, observando-se uma redução após o cozimento Figura 23. O aumento da concentração de farinha de BSF teve uma tendência direta à coloração das massas, tornando-as progressivamente mais escuras. No macarrão cru, a adição de farinha de inseto reduziu significativamente a luminosidade (L\*), que passou de 35,53% para 21,91% no tratamento com 31,76%, representando uma diminuição de aproximadamente 38,3%. Esse comportamento (Figura 22), demonstra a relação inversa entre o teor de farinha de inseto e a luminosidade, que corresponde a claridade da amostra.

503 **Figura 23.** Gráfico de regressão para as variáveis de cor L\*, a\* e b\* da massa cozida.



504 *Fonte: Autora, 2025.*

505

506

507

508

509

510

511

512

513

514

515

516

517

518

519

520

Um comportamento semelhante foi observado por Duda *et al.* (2019), que relatou um aumento da incorporação de farinha de inseto na sêmola durum, também ocorreu uma redução na luminosidade, atribuída à coloração naturalmente mais escura da farinha de inseto. Esse efeito na cor pode impactar a aparência final do produto e, conseqüentemente, influenciar a aceitação sensorial pelos consumidores. O parâmetro b\*, que representa a tonalidade da cor variando de azul (-b\*) a amarelo (+b\*), também foi influenciado pela adição de farinha de larvas BSF. Conforme mostrado na Tabela 5 e na Figura 22C, o aumento da concentração de farinha de BSF na massa crua resultou em uma redução desse parâmetro, indicando uma menor tendência à tonalidade amarelada. Para a massa cozida, os tratamentos influenciaram significativamente, mostrando resultados de diminuição da luminosidade em quase 50% da massa cozida, além de uma tendência significativa para o vermelhidão (a\*) em todas as amostras enriquecidas com farinha de BSF.

#### 521 4 CONCLUSÃO

522 A farinha de inseto tem se destacado como uma fonte alternativa de proteína, pois sua  
523 inclusão em produtos alimentícios facilita a aceitação pelos consumidores e aumenta o valor  
524 nutricional dos alimentos. A farinha de mosca soldado negra (BSF) ainda é pouco utilizada na  
525 indústria alimentícia, inclusive em macarrões. O macarrão, um alimento básico e de baixo  
526 custo, é, no entanto, carente em valor nutricional, especialmente em proteínas. Nos macarrões  
527 desenvolvidos, foi observada uma concentração de até 21,62% de proteína, resultando em um  
528 aumento de até 16,92 g por porção. A inclusão de farinha larvas BSF afetou negativamente o  
529 tempo de cozimento, reduzindo-o de 7 minutos para 5 minutos no tratamento com 31,76% de  
530 farinha de larvas BSF. Em contrapartida, o teor de cinzas aumentou, refletindo um maior teor  
531 de cinzas nas amostras.

532 A umidade, a absorção de água e o teor de carboidratos também sofreram alterações,  
533 com a redução desses componentes à medida que a porcentagem de farinha BSF aumentava.  
534 Na análise de cor, observou-se uma diminuição na luminosidade da massa (valor do parâmetro  
535 L\*) e um deslocamento da tonalidade para o vermelho e azul, devido à introdução da farinha  
536 de larvas BSF. Os tratamentos com 11,75% e 14,65% de farinha BSF apresentaram  
537 características de cor semelhantes às da massa integral, o que pode resultar em maior aceitação  
538 pelos consumidores. Na avaliação de textura, os parâmetros de firmeza e força de cisalhamento  
539 mostraram uma redução de 25% na firmeza inicial, tornando o macarrão final um produto mais  
540 quebradiço. Portanto, a inclusão de farinha de larvas BSF pode ser considerada em formulações  
541 de macarrão seco, porém o percentual deve ser cuidadosamente planejado, uma vez que pode  
542 resultar em alterações físico-químicas e tecnológicas.

543

544

545

546

547

548

549

550

551

552

553

554

555 **5 REFERÊNCIA**

- 556 Abdo, E. M., Darwish, A. M. G., Hussein, M. M. E., & Mansour, H. M. M. Pasta enriched with  
557 de-oiled sesame and yellow pepper flours: Evaluation of physicochemical properties, protein  
558 quality, and antioxidant potential. *Applied Food Research*, v. 4, n. 2, 100602, 2024.
- 559 Ahmed, Z., Uddin, N., Latif, A., Tufail, T., Qayum, A., Manzoor, M. F., Khan, K. A., Ashraf,  
560 J., Khalid, N., & Xu, B. Improving the quality and digestibility of wheat flour starch and protein  
561 for noodles through ultrasound, high hydrostatic pressure, and plasma technologies.  
562 *International Journal of Biological Macromolecules*, 282(6), 137383., 2024.
- 563 AOAC. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 17th  
564 ed. Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists, 2000.
- 565 Araújo, R. R. S.; Benfica, T. A. R. S.; Ferraz, V. P.; Santos, E. M. Nutritional composition of  
566 insects *Gryllus assimilis* and *Zophobas morio*: Potential foods harvested in Brazil. *Journal of*  
567 *Food Composition and Analysis*, v. 76, p. 22-26, 2019.
- 568 Axentii, M., Stroe, S.-G., & Codină, G.G. Development and quality evaluation of rigatoni pasta  
569 enriched with hemp seed meal. *Foods*, v. 12, 1774, 2023.
- 570 Babu, S., Garza, J., Kumar, R., & Talavera, M. J. Sensory optimization of Peruvian lucuma  
571 fruit ice cream using I-optimal mixture design. *Applied Food Research*, 5(1), 100807, 2025.
- 572 Bekiroglu, H., Ozulku, G., Erol, K. F., Karadag, A., & Sagdic, O. Pasta with grape leaves and  
573 hops extract: Effect on quality properties, predicted glycemic index and in vitro bio-  
574 accessibility of phenolics. *Food Bioscience*, v. 64, 105909, 2025.
- 575 Biró, B., Fodor, R., Szedljak, I., Pásztor-Huszár, K., & Gere, A. Buckwheat-pasta enriched with  
576 silkworm powder: Technological analysis and sensory evaluation. *LWT*, v. 116, 108542, 2019.
- 577 Boita, E. R. F., Oro, T., Bressiani, J., & Santetti, G. Rheological properties of wheat flour dough  
578 and pan bread with wheat bran. *Journal of Cereal Science*, v. 71, p. 177-182, 2016.
- 579 Bokić, J., Škrobot, D., Tomić, J., Šregelj, V., Abellán-Victorio, Á., Moreno, D. A., & Ilić, N.  
580 Broccoli sprouts as a novel food ingredient: Nutritional, functional and sensory aspects of  
581 sprouts enriched pasta. *LWT*, v. 172, 114203, 2022.
- 582 Borges, M. M., Da Costa, D. V., Trombete, F. M., & Câmara, A. K. F. I. Edible insects as a  
583 sustainable alternative to food products: An insight into quality aspects of reformulated bakery  
584 and meat products. *Current Opinion in Food Science*, v. 46, 100864, 2022.
- 585 BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 75, de  
586 8 de outubro de 2020. *Diário Oficial da União*, 9 out. 2020. Seção 1, p. 113.
- 587 Bustos, M. C., Perez, G. T., & Leon, A. E. Structure and quality of pasta enriched with  
588 functional ingredients. *RSC Advances*, v. 5, n. 39, p. 30780–30792, 2015.
- 589 Carcea, M. Quality and nutritional/textural properties of durum wheat pasta enriched with  
590 cricket powder. *Foods*, v. 9, n. 9, p. 1298, 2020.

- 591 Chang, Y. K., & Martínez Flores, H. E. Quality of fresh pastas obtained from blends of durum  
592 wheat semolina (*T. durum* L.) and wheat flour (*T. aestivum* L.). *Food Science and Technology*,  
593 v. 24, n. 4, p. 487-493, 2004.
- 594 Duda, A., Adamczak, J., Chełmińska, P., Juskiewicz, J., & Kowalczewski, P. Quality and  
595 nutritional/textural properties of durum wheat pasta enriched with cricket powder. *Foods*, v. 8,  
596 n. 2, p. 46, 2019.
- 597 FAO, IFAD, UNICEF, & WHO, W. The state of food security and nutrition in the world 2020:  
598 Transforming food systems for affordable healthy diets. *Food & Agriculture Organization*, v.  
599 2020, 2020.
- 600 FAO/WHO. The State of Food and Agriculture: Leveraging Food Systems for Inclusive Rural  
601 Transformation. *Food and Agriculture Organization / World Health Organization*. FAO,  
602 Rome, Italy, 2017.
- 603 Hidalgo, A., Cullere, M., Dalle Zotte, A., & Pasini, G. Salt-soluble protein extracts from  
604 *Hermetia illucens* and *Bombyx mori* for high protein pasta production. *LWT*, v. 190, 115507,  
605 2023.
- 606 Islam, S., Islam, M. F., Bhuiyan, M. N. I., Tisa, K. J., Kibria, A., Bhuiyan, M. H. R., Abedin,  
607 M. J., Abdullah, A. T. M., Kabir, M. A., & Miah, M. A. S. Integrating green banana and  
608 cauliflower into whole wheat pasta: Approaches to enhance nutritional benefits while  
609 maintaining quality. *Food Chemistry Advances*, v. 2025.
- 610 Itusaca-Maldonado, Y. M., Pumacahua-Ramos, A., Apaza-Humerez, C. R., & Mayta Pinto, E.  
611 Technological and textural properties of gluten-free quinoa-based pasta (*Chenopodium quinoa*  
612 Wild). *Heliyon*, v. 10, e28363, 2024.
- 613 Kim, H.-W., Setyabrata, D., Lee, Y. J., Jones, O. G., & Kim, Y. H. B. Pre-treated mealworm  
614 larvae and silkworm pupae as a novel protein ingredient in emulsion sausages. *Innovative Food*  
615 *Science & Emerging Technologies*, v. 38, p. 116–123, 2016.
- 616 Kowalczewski, Przemysław, Grażyna Lewandowicz, Agnieszka Makowska, Ismena Knoll,  
617 Wioletta Błaszczak, Wojciech Białas, and Piotr Kubiak. "Pasta Fortified with Potato Juice:  
618 Structure, Quality, and Consumer Acceptance. *Journal of Food Science*, 80(6), (2015).
- 619 Li, H., Hao, Y.-p., Dai, Y., Chen, Z.-z., Ping, Y.-l., & Zhao, B.-b. Effects of protein-  
620 polysaccharide extracted from *Auricularia auricula-judae* mushroom on the quality  
621 characteristics of Chinese wheat noodles. *LWT*, 182, 114783, 2023.
- 622 Long, D. Q., Doan, T. B. N., Ton, N. M. N., Tran, T. T. T., & Le, V. V. M. Quality of durum  
623 wheat pasta fortified with different ratios of turmeric residue powder. *Journal of Agriculture*  
624 *and Food Research*, v. 16, 101220, 2024.
- 625 Mu, J., Qi, Y., Gong, K., Chen, Z., Brennan, M. A., Ma, Q., Wang, J., Gen, Y., Lv, W., &  
626 Brennan, C. S. Influence of substituting wheat flour with quinoa flour on quality characteristics  
627 and in vitro starch and protein digestibility of fried-free instant noodles. *LWT*, 165, 113686,  
628 2022.

- 629 Pinel, P., Barron, C., Cassan, D., Robert, M., Bourlieu-Lacanal, C., & Micard, V. Culinary  
630 properties, nutritional quality, and in vitro starch digestibility of innovative gluten-free and  
631 climate smart cowpea-based pasta. *LWT*, v. 211, 116917, 2024.
- 632 Tan, H.-L., Tan, T.-C., & Mat Easa, A. Comparative study of cooking quality, microstructure,  
633 and textural and sensory properties between fresh wheat noodles prepared using sodium  
634 chloride and salt substitutes. *LWT*, v. 97, p. 396-403, 2018.
- 635 Zaman, S., Rahman, F., Alam, M., Islam, M. N., Parvin, R., Lina, N. N., & Zahid, M. A.  
636 Evaluation of physicochemical properties of Rohu fish noodles. *Food Chemistry Advances*, v.  
637 4, 100732, 2024.
- 638 Zeng, F., Hu, Z., Yang, Y., Jin, Z., & Jiao, A. Baking quality and starch digestibility in whole  
639 wheat bread based on protein enrichment strategy: Significance of protein-starch-water  
640 interaction in dough. *Food Bioscience*, v. 61, p. 104403, 2024.
- 641
- 642
- 643
- 644
- 645
- 646
- 647
- 648
- 649
- 650
- 651
- 652
- 653
- 654
- 655
- 656
- 657
- 658
- 659
- 660
- 661
- 662
- 663

## 5 CONCLUSÃO GERAL

Os resultados deste estudo evidenciam o potencial da farinha de larvas de mosca soldado negra (BSF) como ingrediente funcional para a indústria alimentícia, com destaque para pães e macarrão. A adição de BSF nas formulações de pães resultou em alterações nas características físico-químicas e sensoriais, como aumento na cor e mudanças nas propriedades de perda de massa e absorção de água. Além disso, a análise de PCA e HCA mostrou que a inclusão de BSF tem uma tendência a impactar a composição dos pães, evidenciando a necessidade de novos experimentos para explorar os benefícios nutricionais dessa farinha. No caso dos macarrões, observou-se um aumento significativo no teor de proteína, mas também alterações no tempo de cozimento e na textura, o que sugere que a inclusão de BSF deve ser planejada os pontos de mínimos e máximos para otimizar suas características nutricionais sem comprometer a qualidade do produto. Esses achados reforçam a relevância de explorar a farinha de BSF como uma fonte alternativa de proteína, com um potencial considerável para enriquecer alimentos básicos e de baixo custo.