

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA DE QUÍMICA

Gabriel Nogueira Santos



COMO ENFRENTAR AS BARREIRAS EXTERNAS PARA
POPULARIZAR A INSERÇÃO DE INSETOS COMESTÍVEIS NA
ALIMENTAÇÃO HUMANA? UMA ANÁLISE PESTEL.

RIO DE JANEIRO

2025

Gabriel Nogueira Santos

COMO ENFRENTAR AS BARREIRAS EXTERNAS PARA POPULARIZAR A
INSERÇÃO DE INSETOS COMESTÍVEIS NA ALIMENTAÇÃO HUMANA? UMA
ANÁLISE PESTEL.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro de Alimentos.

Orientador(es): Flávia Chaves Alves
Eveline Lopes Almeida
Rosires Deliza

Rio de Janeiro

2025

CIP - Catalogação na Publicação

N235c Nogueira Santos, Gabriel
Como enfrentar as barreiras externas para
popularizar a inserção de insetos comestíveis na
alimentação humana? Uma análise PESTEL. / Gabriel
Nogueira Santos. -- Rio de Janeiro, 2025.
58 f.

Orientadora: Flávia Chaves Alves.
Coorientadora: Eveline Lopes Almeida.
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de
Química, Bacharel em Engenharia de Alimentos, 2025.

1. Insetos para alimentação humana. 2. PESTEL. 3.
Aceitação do consumidor. 4. Revisão bibliográfica.
I. Chaves Alves, Flávia, orient. II. Lopes Almeida,
Eveline, coorient. III. Título.

Gabriel Nogueira Santos

COMO ENFRENTAR AS BARREIRAS EXTERNAS PARA POPULARIZAR A
INSERÇÃO DE INSETOS COMESTÍVEIS NA ALIMENTAÇÃO HUMANA? UMA
ANÁLISE PESTEL.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola de Química da Universidade Federal do
Rio de Janeiro, como parte dos requisitos
necessários à obtenção do grau de Engenheiro de
Alimentos

Aprovado em 12 de setembro de 2025.

Flavia Chaves Alves, DSc., UFRJ

Eveline Lopes Almeida, DSc., UFRJ

Rosires Deliza, DSc., EMBRAPA

Lauro Luís Martins Medeiros de Melo, DSc, UFRJ

Danielle Medeiros Strada de Oliveira, MSc., UFRJ

Rio de Janeiro
2025

A meu avô Antônio que infelizmente não pôde presenciar o fim desse ciclo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, à minha avó Ana, que sempre esteve comigo em todos os momentos, e à minha mãe, Carla, que se esforça todos os dias e nunca deixa de pensar em mim. Aos meus tios, Aline e Reinaldo, que foram referência constante em minha vida. Aos meus primos, que sempre estiveram presentes no meu dia a dia, e às minhas irmãs, que tantas vezes contaram com a minha ausência por causa dos estudos. Ao Loureiro e às crianças, que estiveram comigo de perto nesta última etapa e tornaram a caminhada ainda mais especial. Estendo também meu carinho à minha família de São Paulo, que, mesmo de longe, sempre torceram por mim.

Aos todos os meus professores e professoras, por cada conselho, voto de confiança e incentivo que moldaram meu percurso acadêmico. Ao professor Lauro, por me guiar desde cedo e nunca desistir de mim. À professora Flávia, por acreditar nas minhas ideias e me apoiar, mesmo quando os resultados não foram os esperados. À professora Eveline, por me encorajar a confiar na minha capacidade. À professora Rosires, que foi uma das primeiras a acreditar em meu potencial e a tirar o melhor de mim. À professora Karen, por me ajudar a não me perder no caminho. E à professora Aline, que literalmente me pegou pela mão e me impediu de desistir no segundo período.

Ao Laboratório da Embrapa (LASI), pelo suporte e pela estrutura que tornaram este trabalho possível. Ao Ivan, a primeira pessoa que conheci no laboratório e de quem aprendi tanto, e à Alessandra, por todos os ensinamentos. Às colegas que se tornaram parte essencial do processo: Karen, pela ideia do inseto e pela parceria constante; Carla, minha dupla dinâmica, mesmo com pausas no caminho; Aline, que chegou no final e, mesmo assim, deixou sua marca especial; Laudiane, que me apoiou em tantos aspectos da vida que faltam palavras para descrever; Inayara, que me orientou nas primeiras etapas e continua até hoje; e Marcela, inspiração constante, que sempre me impulsionou a seguir em frente. Cada palavra, cada gesto e cada incentivo fizeram diferença real na construção deste trabalho e da minha vida acadêmica.

Aos amigos e colegas que dividiram comigo trabalhos, prazos, dúvidas e alegrias. Entre tantos, cito com gratidão: Giovanna, Bárbara, Giordany, Leonardo, Luísa, Maria, Matheus, Sabrina, Beatriz, Fernanda, Bia, Anna, Patrícia, Helena, Milena, Vanessa, Giovanna, Alexandre, Alex, Thamires, Rayssa, Lara, Thiago, Maria C., Poli e Vitória. Se o seu nome não estiver aqui, por favor, se sinta incluído: se em algum momento você me ajudou, apoiou ou arrancou um sorriso, este agradecimento também é seu.

Por fim, a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a concretização deste projeto, deixo o meu mais sincero muito obrigado.

Aprenda a entender as pessoas para entender um pouco de si mesmo.

RESUMO

SANTOS, Gabriel Nogueira. **Como enfrentar as barreiras externas para popularizar a inserção de insetos comestíveis na alimentação humana? Uma análise PESTEL**. Rio de Janeiro, 2025. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025.

Este trabalho analisa, por meio do arcabouço PESTEL, os fatores externos que condicionam a difusão de alimentos à base de insetos. Antes da análise, é realizada uma revisão de literatura orientada a soluções, reunindo artigos acadêmicos e documentos setoriais, cujas evidências são integradas na discussão por eixos político, econômico, social, tecnológico, ambiental e legal. Identifica, no plano político-legal, lacunas de coordenação e harmonização regulatória; no econômico, barreiras de custo e escala; no social, neofobia e informação insuficiente; no tecnológico, baixa padronização de processos e necessidade de validação; no ambiental, potencial de circularidade, menor emissão e aproveitamento de resíduos agrícolas; e, de forma transversal, a importância de sistemas de qualidade e segurança. A partir da integração dos eixos, o estudo aponta direcionadores de mudança: políticas de P&D e governança intersetorial; padronização e rastreabilidade ao longo da cadeia; escalonamento industrial com controle de qualidade; desenho de produtos e rotulagem orientados ao consumidor; e alinhamento da produção a princípios de economia circular. No contexto brasileiro, a ausência de marcos federais específicos e a fragmentação normativa limitam a operacionalização do tema e a inserção internacional. Como limitações, o trabalho é predominantemente documental e sintético, depende de literatura recente em consolidação (especialmente regulatória) e não inclui validações experimentais; assim, os achados devem ser lidos como ponto de partida para agendas de pesquisa e políticas públicas. Conclui que o avanço do setor requer coordenação entre regulação, tecnologia, economia e comunicação, com ênfase em padronização e validação de processos para oferecer produtos estáveis, seguros e competitivos.

Palavras-chave: Insetos comestíveis; PESTEL; sustentabilidade; aceitação do consumidor; tecnologia de alimentos; legislação.

ABSTRACT

SANTOS, Gabriel Nogueira. **How to Overcome External Barriers to Popularizing the Incorporation of Edible Insects into Human Diets? A PESTEL Analysis.** Rio de Janeiro, 2025. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025.

This study analyzes, through the PESTEL framework, the external factors that shape the diffusion of insect-based foods. Prior to the analysis, it conducts a solution-oriented literature review, assembling academic papers and sector reports whose evidence is integrated into the discussion across political, economic, social, technological, environmental, and legal axes. It identifies regulatory and coordination gaps (political-legal), cost and scale barriers (economic), neophobia and insufficient information (social), low process standardization and the need for validation (technological), circularity potential, lower emissions, and by-product valorization (environmental), and—transversally—the relevance of quality and safety systems (e.g., HACCP). By integrating axes, the study highlights key drivers of change: R&D policies and cross-sector governance; standardization and traceability along the chain; industrial scale-up with quality control; consumer-oriented product design and labeling; and alignment with circular-economy principles. In Brazil, the absence of specific federal frameworks and normative fragmentation constrain implementation and international insertion. Limitations include a predominantly documentary and synthetic scope, reliance on a still-maturing and recent body of literature (notably on regulation), and the absence of experimental validations; therefore, findings should be read as a starting point for research and public-policy agendas. The study concludes that sectoral progress depends on coordinated advances in regulation, technology, economics, and communication, with emphasis on process standardization and validation to deliver stable, safe, and competitive products.

Keywords: Edible Insects, PESTEL; Sustainability; Consumer Acceptance; Food Technology; Regulations

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 - Resumo das principais características de alguns insetos e suas criações

Quadro 3.2: Informações sobre os principais nutrientes presentes nos insetos

Quadro 3.3 - Informações sobre os principais nutrientes presentes nos insetos

Quadro 3.4 - Riscos na produção de insetos

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

B2B – *Business to Business*

BSF – *Black Soldier Fly (mosca-soldado-negra)*

CE – *Comunidade Europeia*

DNA – *Ácido desoxirribonucleico*

EFSA – *European Food Safety Authority (Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos)*

EMBRAPA – *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*

EU – *União Europeia*

EUA – *Estados Unidos da América*

FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*

FCR – *Feed Conversion Ratio (Índice de Conversão Alimentar)*

G20 – *Grupo dos Vinte*

GAPDH – *Gliceraldeído-3-fosfato desidrogenase*

GEE – *Gases do Efeito Estufa*

HACCP – *Hazard Analysis and Critical Control Points*

HPAs – *Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos*

LDL – *Low-density lipoprotein*

MUFA – *Ácido Graxo Monoinsaturado*

ODS – *Objetivo de Desenvolvimento Sustentável*

OMS – *Organização Mundial da Saúde*

P&D – *Pesquisa e Desenvolvimento*

PESTEL – *Political, Economic, Social, Technological, Environmental and Legal analysis*

PRISMA – *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*

PUFA – *Ácido Graxo Poliinsaturado*

R&D – *Research and Development (Pesquisa e Desenvolvimento)*

SFA – *Saturated Fatty Acid (Ácido Graxo Saturado)*

SOFI – *State of Food Security and Nutrition in the World*

TCC – *Trabalho de Conclusão de Curso*

UFRJ – *Universidade Federal do Rio de Janeiro*

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	OBJETIVO GERAL	15
2.1.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	FUNDAMENTOS DA ENTOMOFAGIA E CONTEXTO GLOBAL.....	16
3.2	PRODUÇÃO E OBTENÇÃO DE INSETOS PARA ALIMENTAÇÃO	17
3.3	CARACTERÍSTICAS DOS NUTRIENTES DOS INSETOS.....	20
3.4	SEGURANÇA E RISCOS NA PRODUÇÃO DE INSETOS.....	25
3.5	ANÁLISE PESTEL	28
3.6	CONCEITO DE PRODUTO E RELAÇÃO COM INOVAÇÃO	29
4.	METODOLOGIA.....	31
4.1	METODOLOGIA PRISMA	31
4.2	ANÁLISE PESTEL	32
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1	FATORES POLÍTICOS	34
5.2	FATORES ECONÔMICOS	37
5.3	FATORES SOCIAIS	38
5.4	FATORES TECNOLÓGICOS	41
5.5	FATORES ECOLÓGICOS	42
5.6	FATORES LEGISLATIVOS:	45
5.7	<i>KEY DRIVERS FOR CHANGE</i>	48
6.	CONCLUSÃO.....	50
7.	REFERÊNCIAS	52

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o relatório sobre o estado da segurança alimentar e da nutrição no mundo (SOFI), divulgado por cinco agências especializadas das Nações Unidas por ocasião do G20, na cidade do Rio de Janeiro (2024), cerca de 733 milhões de pessoas passaram fome em 2023, o equivalente a uma em cada 11 pessoas no mundo e uma em cada cinco na África (FAO *et al.*, 2024). Tal dado aponta para a dificuldade em alcançar o objetivo de desenvolvimento sustentável (ODS) 2, fome zero em âmbito mundial até 2030 (FAO *et al.*, 2023).

Esse panorama reforça o papel de organismos internacionais, como a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), que têm incluído alternativas alimentares inovadoras, como os insetos, em suas estratégias de enfrentamento à fome mundial (Van Huis *et al.*, 2013). Essa indicação é justificada, entre outros fatores, pelo crescimento populacional e pela intensificação do consumo de produtos de origem animal, que impõem pressões severas aos sistemas alimentares, exigindo soluções sustentáveis e eficientes (Fatima *et al.*, 2023; Zou *et al.*, 2024).

A criação de gado responde por até 18% das emissões antrópicas de gases de efeito estufa e consome significativamente mais recursos do que converte em alimento (Fatima *et al.*, 2023; Sun-Waterhouse *et al.*, 2016). Diante disso, estudos como o relatório da FAO - *Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security* - apontam a necessidade de estimular fontes proteicas sustentáveis, como os insetos comestíveis, que vêm sendo apresentados como alternativa promissora às proteínas convencionais (Van Huis *et al.*, 2013). Esses organismos possuem alta densidade nutricional, elevada eficiência alimentar e a capacidade de transformar resíduos orgânicos em biomassa, contribuindo para o reaproveitamento de subprodutos que seriam descartados (Ojha, Bußler e Schlüter, 2020; Zou *et al.*, 2024).

Por sua vez, os insetos são reconhecidos por sua elevada taxa de conversão alimentar, superando significativamente a de bovinos, suínos e aves, o que os torna uma espécie de “mini-gados” altamente eficientes (Govorushko, 2019). Além disso, diferentemente dos animais mais consumidos atualmente, os insetos apresentam ampla diversidade, com mais de 1.500 espécies sendo utilizadas como alimento ao redor do mundo, muitas delas inseridas em contextos culturais tradicionais e bem estabelecidos (Cappelli *et al.*, 2020; Dunkel e Payne, 2016).

Outra aplicação relevante está no uso de insetos como ingrediente na formulação de rações animais, com composição nutricional comparável à da pó de peixe e farinha de soja, promovendo benefícios ao bem-estar e ao desempenho zootécnico (Onwezen *et al.*, 2021). Esse

potencial multifuncional reforça sua validade como alternativa alimentar reconhecida por diversas organizações internacionais.

Apesar de o consumo humano de insetos ser uma prática antiga e amplamente difundida em diversas culturas, ele foi gradualmente abandonado em parte do Ocidente, especialmente após a Revolução Industrial e os processos de urbanização, quando os insetos passaram a ser percebidos como pragas e não mais como alimento (Carcea, Narducci e Turfani, 2023). Esse processo resultou em forte resistência cultural em muitas regiões, dificultando sua consolidação como produto alimentar aceito no mercado (Carcea, Narducci e Turfani, 2023; Varelas, 2023). Para superar essa dificuldade de inserção, torna-se necessário compreender os desafios e oportunidades específicos do contexto mundial e brasileiro relacionados à introdução de alimentos à base de insetos. Isso envolve a investigação das principais barreiras e das possíveis estratégias para superá-las (Ribeiro *et al.*, 2022). Considerando a natureza multidisciplinar desses obstáculos, faz-se essencial adotar análises integradas que tratem o tema de forma ampla e estruturada. Nesse sentido, o presente estudo busca contribuir com a identificação de entraves e a proposição de soluções que viabilizem a adoção dos insetos como uma fonte alimentar sustentável para a humanidade.

2. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste estudo é identificar e discutir os principais desafios para a consolidação do consumo de insetos pela população mundial, elaborando um panorama geral e suas possíveis soluções, a partir de uma revisão bibliográfica e uma análise de múltiplos fatores.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar os diferentes aspectos sobre o consumo de insetos e sua possibilidade de servir como alimento humano em larga escala;
- Descrever os principais problemas relacionados ao consumo de insetos como alimento humano;
- Elaborar uma discussão sobre barreiras relacionadas ao uso de insetos como alimento humano;
- Propor e refletir soluções multidisciplinares relacionadas ao consumo e produção de insetos para consumo humano.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta revisão está organizada em seis partes. As duas primeiras seções, 3.1 e 3.2, têm caráter de base, sendo apresentado os fundamentos da entomofagia e o contexto global, e em seguida a produção e a obtenção de insetos para alimentação, respectivamente. Na sequência, foram incluídas duas seções específicas para aprofundar conceitos fundamentais: a 3.3 discute as características nutricionais dos insetos e a 3.4 aborda questões de segurança e riscos associados à sua produção. Por fim, as duas últimas seções, preparam a discussão final: a 3.5 introduz a análise PESTEL que será utilizada como referência metodológica na leitura dos fatores externos, e por fim, a seção 3.6 aborda o conceito de produto e sua relação com inovação.

3.1 FUNDAMENTOS DA ENTOMOFAGIA E CONTEXTO GLOBAL

A entomofagia acompanha a história humana. Isso pode ser observado desde os primatas, que possuem algum grau de consumo de insetos, e dos antepassados que utilizavam ferramentas (inclusive ossos-ferramenta) para extrair térmitas, um tipo de cupim, a fim de usufruir das gorduras, das proteínas e dos micronutrientes destes insetos (Dunkel e Payne, 2016; Koops *et al.*, 2015; Lesnik, 2011; McGrew, 2014; Rothman *et al.*, 2014; Sanz, Schöning e Morgan, 2010; Whiten, Horner e De Waal, 2005). Hoje, aproximadamente 2 bilhões de pessoas, em mais de 113 países, consomem mais de 2.000 espécies de insetos comestíveis, caracterizando uma prática amplamente distribuída (Dunkel e Payne, 2016; Lesnik, 2011; Tao e Li, 2018; Van Huis *et al.*, 2013). Esse interesse ganhou impulso acadêmico a partir dos anos 2000, com salto após o relatório da FAO (2013) e, uma mudança de foco do extrativismo para espécies criadas em sistemas controlados (Dunkel e Payne, 2016; Müller *et al.*, 2016; Van Huis *et al.*, 2013). Em paralelo, vem se consolidando uma base nutricional e sensorial consistente, sustentada por evidências de segurança e interfaces diretamente ligada às áreas de alimentos, agricultura e farmacêutica (Chen, Feng e Chen, 2009; Jideani e Netshiheni, 2017; Kok e Van Huis, 2021; Niu *et al.*, 2023; Paoletti e Dreon, 2005; Tang *et al.*, 2019).

No panorama global, destacam-se as ordens Coleoptera, Lepidoptera, Hymenoptera, Orthoptera e Hemiptera, principalmente em países asiáticos. Estimativas apontam consumo predominante de besouros (~31%), abelhas/formigas (~14%) e grilos (~13%) (Jongema, 2017; Niu *et al.*, 2023; Van Huis *et al.*, 2013; Van Huis, 2020). Além disso, há países com registros históricos extensos, como a China, onde o consumo remonta a mais de 3.000 anos e engloba 178 espécies já analisadas nutricionalmente, sendo que esse consumo varia de acordo com as práticas de cada região e integram cardápios anuais, festivais e pratos locais (Chen, Feng e

Chen, 2009; Feng, 2016a; b; Feng et al., 2018; Liu, 2021; Liu e Zhai, 2017; Yi et al., 2010; Zhao, 2015). Já no Norte Global, principalmente Estados Unidos e Europa, onde o consumo de insetos não está inserido no cotidiano das sociedades, observa-se uma transição em curso, que pode ser vista por alguns movimentos como: crescimento de empresas *on-line* com foco em produtos alimentícios a base de insetos (mercado ainda caro e incipiente), adesão na alta gastronomia e uso de pó de inseto em alimentos familiares. Além disso, a repulsa (“nojo”) pode ser atenuada por gestão de marca, educação sensorial e sessões de degustação, como por exemplo, o caso do sushi no Ocidente, um produto que era rejeitado e visto como algo de outra cultura e, hoje, é um produto altamente consumido e consolidado (Dunkel e Payne, 2016; Looy, Dunkel e Wood, 2014; Müller *et al.*, 2015).

Cultural e ecologicamente, os insetos atuam como presa, predador e decompositor, contribuindo para o equilíbrio ecológico (Feng, 2016a; Kok e Van Huis, 2021; Niu *et al.*, 2023). Do ponto de vista ambiental, apresentam alta conversão alimentar, biodegradação de resíduos, menores emissões (GEE/amônia), menor uso de água/terra e viabilidade de alta densidade, características compatíveis com ambientes internos e fazendas verticais, aproximando a produção do consumidor (Doi e Mulia, 2021; Dunkel e Payne, 2016; Van Huis *et al.*, 2013; Van Huis e Oonincx, 2017). No eixo socioeconômico, a entomofagia pode sustentar meios de vida, integrar agricultura urbana (frequentemente liderada por mulheres) e melhorar a adequação dietética em países em desenvolvimento (Dunkel e Payne, 2016; Hovorka, Zeeuw, e Njenga, 2009; Zezza e Tasciotti, 2010). A cadeia ainda inclui uso em alimentação animal (por exemplo, alternativa ao pó de peixe) e coprodutos de quitina/quitosana com valor tecnológico, como na criação de embalagens, e farmacêutico (Barroso *et al.*, 2014; Rinaudo, 2006; Singla e Chawla, 2001). Os desafios imediatos, pelo lado da oferta, concentram-se em escala, preço e disponibilidade, além da necessidade de capacitação técnica (engenharia de processos, microbiologia e regulação) (Dunkel e Payne, 2016). Já pela perspectiva da demanda, diversos desafios de aceitação podem ser percebidos.

3.2 PRODUÇÃO E OBTENÇÃO DE INSETOS PARA ALIMENTAÇÃO

Há quatro modalidades de obtenção/produção, apresentadas em ordem crescente de controle operacional; em cada uma delas é abordado a função, limites e exemplos.

(1) Coleta silvestre — define-se como a obtenção direta no ambiente natural. Por depender de clima, estação e abundância, apresenta forte sazonalidade e, por conseguinte, maior vulnerabilidade sanitária; nesse arranjo, predomina no quadro atual (estimativas $\approx 95\%$ do volume), o que, por sua vez, eleva o risco de contaminação por pesticidas e patógenos e de

sobrecoleta (retirada acima da capacidade de reposição da população, com declínio populacional); ademais, é diretamente afetada por agricultura intensiva, urbanização e desertificação, em particular, o uso de pesticidas prejudica populações como *Locusta migratoria* (gafanhoto migratório) e *Anaphe panda* (mariposa africana produtora de seda); exemplos recorrentes incluem *agave worm* (*Scyphophorus* spp., gorgulho do agave), formigas *Liometopum*, verme mopane (lagarta de *Gonimbrasia belina*), larvas de *Rhynchophorus* (gorgulho das palmeiras), ovos de hemípteros aquáticos (percevejos-de-água) e cupins (Bhatia; Yousuf, 2013; Cerritos, 2009; Gahukar, 2016; Looy; Dunkel; Wood, 2014; Morales-Ramos; Rojas; Shapiro-Ilan, 2014; Naseem *et al.*, 2023; Yen, 2015; Van Huis *et al.*, 2013).

(2) Semicultivo *in situ* — define-se como manejo no próprio habitat com intervenção mínima. Na prática, envolve proteção de árvores hospedeiras, delimitação de áreas e acordos comunitários; dessa forma, contribui para estabilizar a oferta, uma vez que reduz a dependência de janelas sazonais e de flutuações populacionais. Funciona, portanto, como resposta prática às limitações da coleta silvestre (sazonalidade, risco sanitário e pressão antrópica). Sua participação é estimada em cerca de 6% do total, com maior frequência em Papua-Nova Guiné, África Subsaariana, Sudeste Asiático, Amazônia e Tailândia; espécies e cadeias típicas incluem *Gonimbrasia belina*, *Rhynchophorus* spp. e ovos de hemípteros aquáticos (Hanboonsong; Jamjanya; Durst, 2013; Gahukar, 2016; Naseem *et al.*, 2023).

(3) Criação doméstica ou tradicional — define-se como criação em pequena escala com materiais locais (bambu, redes, casas de barro). Em contextos comunitários, costuma envolver a participação de mulheres e crianças, além de iniciativas escolares. Nessas condições, observa-se que o treinamento em boas práticas melhora sanidade e rendimento e, por consequência, reduz a sazonalidade e o risco sanitário quando comparada à coleta. Pode, ainda, operar como etapa de transição rumo a sistemas mais controlados e previsíveis (Gahukar, 2016; Hanboonsong; Jamjanya; Durst, 2013; Sathe *et al.*, 2011;).

(4) Criação em ambiente controlado (indoor), de caráter industrial — define-se como produção sob controle de fotoperíodo, temperatura e umidade, com biossegurança e contenção. Nessas condições, assegura disponibilidade contínua e maior previsibilidade sanitária. Embora ainda represente cerca de 2% do volume (e seja claramente crescente), observa-se a tendência de automação e sensoriamento em Estados Unidos, Canadá e União Europeia, visando ganho de escala e redução de custos. As aplicações típicas incluem grilos (em gaveteiros e caixas) e mosca soldado negro (*Hermetia illucens*), bem como tenébrio (*Tenebrio molitor*, larva-da-farinha), criados em bandejas e contêineres (Diener *et al.*, 2011; Hanboonsong; Jamjanya; Durst, 2013; Zhu *et al.*, 2012; Nadeau *et al.*, 2015; Raheem *et al.*, 2019; Naseem *et al.*, 2023).

O Quadro 3.1 apresenta as principais características identificadas para alguns insetos selecionados.

Quadro 3.1 – Resumo das principais características de alguns insetos e suas criações

Espécie / grupo	Principais características de criação e uso	Referências
Grilos (<i>Acheta domesticus</i> , <i>Gryllus</i> spp., <i>Gryllodes sigillatus</i>)	Ciclo curto 30–45 dias, produção contínua em cilindros, blocos, caixas e gaveteiros; dieta com ração avícola 14–21% + vegetais no pré-abate reduz custo e melhora sabor; alto teor proteico em base seca, 25–33 g/100 g de lipídios, ~40% de ácidos graxos totais com Ácidos Graxos Poli-insaturados (PUFAs) relevantes.	Hanboonsong, Jamjanya e Durst (2013); Lundy e Parrella (2015); Pastell <i>et al.</i> (2021); Rumpold e Schlüter (2013)
<i>Tenebrio molitor</i> (tenébrio)	Converte subprodutos com eficiência; perfil de aminoácidos comparável à soja e pó de peixe; melhor desempenho com proteína de levedura; FCR elevado sob dieta otimizada; criação em contêineres ventilados para alimento e ração.	De Marco <i>et al.</i> , (2015); van Broekhoven <i>et al.</i> , (2015); Oonincx <i>et al.</i> , (2015); Hanboonsong <i>et al.</i> , (2013); Bordiean <i>et al.</i> , (2020)
<i>Hermetia illucens</i> (BSF)	Detritívora, converte resíduos orgânicos em biomassa e biofertilizante; dois sistemas produtivos (oviposição em substrato natural ou colônias adultas em gaiolas); sobrevivência ~77% em resíduos vegetais versus ~47% em resíduos domésticos; foco primário em feed.	Diener <i>et al.</i> , (2011); Dzepe <i>et al.</i> , (2021)
<i>Musca domestica</i> (mosca doméstica)	Produção voltada a feed; farinha larval com ~60% proteína e ~20% lipídios, predominando ácido graxo monoinsaturado (MUFAs) e Ácidos graxos saturados (SFAs); substratos incluem esterco e misturas com farelos.	Hussein <i>et al.</i> , (2017); Makkar <i>et al.</i> , (2014); Charlton <i>et al.</i> , (2015)
<i>Bombyx mori</i> (bicho-da-seda)	Domesticado; criação <i>indoor</i> em bandejas e estrados; demanda por larvas e pupas para alimento e feed; alta sensibilidade à qualidade da folha e ao manejo sanitário.	Gahukar, (2014); Areerat <i>et al.</i> , (2021); Tayal & Chauhan, (2017)

Fonte: Elaborado pelo autor

No recorte geográfico, a Tailândia abriga mais de 20.000 fazendas e, em levantamentos oficiais, reúne 19.961 criadores com 217.529 baias, com produção e estrutura de processamento, transporte e marketing para grilos, gafanhotos, tenébrios e larvas de palmeira (Dossey, Tatum e McGill, 2016; Hanboonsong, Jamjanya e Durst, 2013). A China contabiliza 324 espécies consumidas, porém a produção em massa permanece incipiente para diversas espécies (Chen, Feng e Chen, 2009; Marone, 2016; Zhu *et al.*, 2012). Na África, além da criação

doméstica e do semicultivo voltados à segurança alimentar, avançam parcerias com a Europa para estruturar cadeias de valor em cultivo, processamento, distribuição e consumo (FAO, 2004; Halloran *et al.*, 2016; Halloran e Münke, 2014; Huis, van *et al.*, 2013). Nos EUA, Canadá e União Europeia, a utilização de insetos na alimentação animal — inclusive para animais de estimação — já possui um histórico consolidado, configurando uma indústria multimilionária que vem automatizando linhas. No EUA, por exemplo, a produção chega a aproximadamente 50 milhões de grilos por semana (Weissman *et al.*, 2012).

Quanto à cadeia de suprimentos, o *upstream* (insumos e produção primária) envolve núcleos de reprodutores e ovos, infraestrutura de contenção e ambiente controlado, além da formulação de dietas que vão de rações comerciais a subprodutos agroalimentares em modelos circulares, especialmente para Mosca soldado Negro (BSF) e *Musca domestica*, reduzindo custos e fechando ciclos (Diener *et al.*, 2011; Hussein *et al.*, 2017; Lundy e Parrella, 2015; Naseem *et al.*, 2023). No *midstream* (etapas intermediárias de produção), a colheita é programada por estágio biológico, seguindo para processamento voltado a alimento humano, sob formas inteira, pós e óleos, e a *feed*, com requisitos de higiene e embalagem (Bukkens, 1997; Gahukar, 2016). No *downstream* (produto final e mercado), coexistem mercados locais, *foodservice* com alta gastronomia, varejo de snacks e pós, *pet feed* e *feed* para peixes, aves e suínos (Hanboonsong, Jamjanya e Durst, 2013; Van Huis *et al.*, 2013).

3.3 CARACTERÍSTICAS DOS NUTRIENTES DOS INSETOS

Em relação aos nutrientes, é importante organizar as vantagens e desvantagens, que podem impulsionar qualquer produto com inseto, além de agrupar os possíveis problemas e soluções apontados por alguns artigos.

No que diz respeito às vantagens, destaca-se o alto teor de proteínas dos insetos, que varia conforme o estágio de desenvolvimento, sendo maior no adulto, intermediário na pupa e menor na larva (Xie *et al.*, 2024). Essa composição também é influenciada pela dieta, pelas condições ecológicas e pelo método de processamento, podendo haver diferenças de até 50% no teor proteico dentro da mesma espécie (Lisboa *et al.*, 2024). Além disso, problemas nas metodologias de análise, como o uso do fator tradicional de conversão de nitrogênio para proteína (6,25), que desconsidera a presença de quitina, podem superestimar os valores, exigindo ajustes específicos para insetos, diferentes de outros alimentos que não contêm esse carboidrato (Lisboa *et al.*, 2024; Xie *et al.*, 2024).

Também se destacam outras vantagens, em relação as proteínas, como os efeitos relacionados à contribuição para crescimento, metabolismo do ferro e modulação da microbiota

intestinal do indivíduo (Lisboa *et al.*, 2024), aplicações tecnológicas na produção de emulsões mais estáveis, melhoria de pães e até indícios de efeitos medicinais antiulcerosos e anticancerígenos em algumas espécies (Kłobukowski, Śmiechowska e Skotnicka, 2025; Xie *et al.*, 2024).

Em relação aos lipídeos, as maiores vantagens incluem a alta proporção de ácidos graxos insaturados (Lisboa *et al.*, 2024; Xie *et al.*, 2024) e efeitos como redução do colesterol LDL, ação antioxidante, anti-inflamatória, melhora da imunidade, além da presença de fosfolipídios como a fosfatidilcolina e o mioinositol, que são importantes para o cérebro e metabolismo de gorduras (Lisboa *et al.*, 2024; Xie *et al.*, 2024).

Quanto aos carboidratos, os benefícios podem incluir a ação prebiótica, principalmente da quitosana, a melhora do funcionamento intestinal devido ao efeito de fibra, o fortalecimento imunológico e a remoção de toxinas (Kłobukowski, Śmiechowska e Skotnicka, 2025a; Lisboa *et al.*, 2024; Xie *et al.*, 2024).

Por último, os micronutrientes e compostos bioativos apresentam minerais como ferro, zinco, cálcio e selênio, além de peptídeos bioativos, compostos fenólicos e vitaminas com funções antioxidantes e imunomoduladoras (Conway, Jaiswal e Jaiswal, 2024; Kłobukowski, Śmiechowska e Skotnicka, 2025a; Lisboa *et al.*, 2024; Psarianos, Aghababaei e Schlüter, 2025; Xie *et al.*, 2024).

Quanto as desvantagens incluem a dificuldade em determinar perfis nutricionais precisos, como os de proteínas (Lisboa *et al.*, 2024; Xie *et al.*, 2024), a variação do perfil lipídico e o risco de contaminação por metais pesados, principalmente em função do tipo de dieta, substrato e ambiente de criação dos insetos (Conway, Jaiswal e Jaiswal, 2024; Kłobukowski, Śmiechowska e Skotnicka, 2025; Lisboa *et al.*, 2024; Xie *et al.*, 2024). Além disso, a quitina pode reduzir a biodisponibilidade de nutrientes por ser resistente à digestão, podendo causar acúmulo de partes como asas e patas no intestino quando insetos são consumidos inteiros (Conway, Jaiswal e Jaiswal, 2024; Kłobukowski, Śmiechowska e Skotnicka, 2025; Lisboa *et al.*, 2024). Também há a presença de antinutrientes como fitatos, taninos, oxalatos, glicosídeos cianogênicos e tiaminase, que interferem na absorção de proteínas e minerais (Conway, Jaiswal e Jaiswal, 2024; Kłobukowski, Śmiechowska e Skotnicka, 2025b; Lisboa *et al.*, 2024).

Em relação às recomendações tecnológicas, estas incluem o uso de fatores de conversão ajustados em estudos (Lisboa *et al.*, 2024; Xie *et al.*, 2024), a utilização de outros ingredientes para melhorar ainda mais o perfil nutricional de produtos feitos com insetos, como a junção do pó de inseto com sorgo (Kłobukowski, Śmiechowska e Skotnicka, 2025), o uso de técnicas

como fervura, torrefação, fermentação e tratamento com enzimas para reduzir antinutrientes (Lisboa *et al.*, 2024). Além de mais pesquisas sobre a digestibilidade e a biodisponibilidade *versus* o controle do substrato, dieta e melhores práticas de criação em fazendas de insetos (Conway, Jaiswal e Jaiswal, 2024; Kłobukowski, Śmiechowska e Skotnicka, 2025; Lisboa *et al.*, 2024; Xie *et al.*, 2024). Essas informações estão organizadas no Quadro 3.2.

Quadro 3.2: Informações sobre os principais nutrientes presentes nos insetos

Nutriente	Qualidade / Teor	Vantagens	Desvantagens	Recomendação de melhoria	Referências
Proteína	20–76% (média ~60%); perfil de aminoácidos atende /excede FAO/OMS; teor varia muito entre pesquisas, dependendo de fatores como dieta, ambiente e fase de vida	Crescimento infantil, metabolismo do ferro, efeitos prebióticos, aplicações tecnológicas (emulsões, pães), efeitos antiulcerosos e anticancerígenos em algumas proteínas (ex.: bicho-da-seda)	Conteúdo de proteína pode estar superestimado devido ao fator de conversão de nitrogênio; teor varia conforme dieta, substrato e fase de desenvolvimento	Combinar com farinhas vegetais como sorgo para equilíbrio nutricional em relação aos aminoácidos essenciais	Xie <i>et al.</i> , (2024); Lisboa <i>et al.</i> , (2024); Conway <i>et al.</i> , (2024); Kłobukowski <i>et al.</i> , (2025)
Lípideos	2–70% (mais em larvas/pupas); ácidos graxos insaturados (PUFA/MUFA) podem chegar a 80%	Redução da Lipoproteína de Baixa Densidade (LDL), ação anti-inflamatória, antioxidante, melhora da imunidade; presença de fosfatidilcolina e mioinositol com funções no cérebro e metabolismo de gorduras	Perfil lipídico varia conforme dieta, substrato e ambiente; risco de contaminação por metais pesados associado principalmente às gorduras	Monitorar substrato/alimento e ambiente de criação; mais estudos sobre digestibilidade e biodisponibilidade	Xie <i>et al.</i> , (2024); Lisboa <i>et al.</i> , (2024); Conway <i>et al.</i> , (2024); Kłobukowski <i>et al.</i> , (2025)
Fibras	Quitina: fibra insolúvel e abundante; alginato presente na hemolinfa; quitosana formada pela ação de quitinase	Quitina e quitosana têm efeitos prebióticos, estimulam <i>Lactobacillus</i> e <i>Bifidobacterium</i> , melhoram trânsito intestinal, reduzem colesterol; alginato favorece microbiota, fortalece imunidade e remove toxinas	Quitina pode reduzir biodisponibilidade de proteínas e minerais, pois é resistente à digestão; consumo excessivo de partes duras (patas, asas) pode causar obstrução intestinal, mas esse risco é minimizado quanto ao tipo de processamento	Processar em forma de pó; controlar quantidade; estudar prevalência de quitinase em populações consumidoras	Xie <i>et al.</i> , (2024); Lisboa <i>et al.</i> , (2024); Conway <i>et al.</i> , (2024); Kłobukowski <i>et al.</i> , (2025)
Micronutrientes	Minerais: ferro, zinco, selênio, cálcio, fósforo etc.; peptídeos bioativos, compostos fenólicos, vitaminas	Suprimento de minerais essenciais, funções antioxidantes, imunomodulação; potencial promissor para saúde global futura	Antinutrientes como fitatos, taninos, oxalatos e glicosídeos cianogênicos podem reduzir absorção de minerais e proteínas	Técnicas de processamento como fervura, torrefação, fermentação e enzimas reduzem antinutrientes e melhoram biodisponibilidade	Lisboa <i>et al.</i> , (2024); Psarianos <i>et al.</i> , (2025); Conway <i>et al.</i> , (2024)

Fonte: elaboração própria.

3.4 SEGURANÇA E RISCOS NA PRODUÇÃO DE INSETOS

Entender a produção e os riscos envolvidos na criação de insetos é essencial para desenvolver novos procedimentos e estimular leis efetivas que estimulem o consumo seguro pela população. Os riscos de natureza biológica, química e física podem ser controlados principalmente por meio do sistema HACCP (*Hazard Analysis and Critical Control Points*, ou Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle), que consiste em um sistema de gestão que identifica, avalia e controla perigos significativos para a inocuidade dos alimentos. A aplicação desse sistema é essencial em todas as etapas da cadeia, desde o manejo, o abate, processamento até a estocagem, e ocorre, por exemplo, com a manutenção de umidade adequada, o uso de substratos seguros e isentos de contaminação, a realização de análises periódicas e a adoção de boas práticas agrícolas para reduzir resíduos de pesticidas (Carvalho, Teixeira e Barbosa, 2025; Conway, Jaiswal e Jaiswal, 2024; Kłobukowski, Śmiechowska e Skotnicka, 2025a; Xie *et al.*, 2024).

Os riscos alergênicos envolvem questões relevantes para a saúde pública, já que os insetos apresentam panalergia (alergia por proteínas homólogas) com outros artrópodes, como crustáceos, ácaros e miriápodes. Entre as principais substâncias envolvidas estão a quitina, a tropomiosina, a arginina quinase, a gliceraldeído-3-fosfato desidrogenase (GAPDH) e a hemocianina, que podem desencadear reações alérgicas graves, como coceira, inchaço, asma, choque anafilático e até morte, além de alergias ocupacionais em trabalhadores de fazendas de insetos (Carvalho, Teixeira e Barbosa, 2025; Conway, Jaiswal e Jaiswal, 2024; Kłobukowski, Śmiechowska e Skotnicka, 2025a; Xie *et al.*, 2024).

Já o risco físico está associado ao consumo exagerado de insetos inteiros, pois partes duras como patas e asas podem se acumular e causar obstrução intestinal. Esse risco, no entanto, é reduzido quando os insetos são devidamente processados, sendo a produção em forma de pó uma das principais formas recomendadas para evitar problemas digestivos (Conway, Jaiswal e Jaiswal, 2024; Kłobukowski, Śmiechowska e Skotnicka, 2025a; Xie *et al.*, 2024).

A fim de identificar soluções para os desafios de difusão do consumo de insetos, alguns dados importantes sobre os riscos foram sintetizados no Quadro 3.3, modo a facilitar a compreensão do tema.

Quadro 3.3- Riscos na produção de insetos

Tipo de Risco	Origem (agente/tipo)	Características	Resolução	Referências
Biológico – Bactérias	Microbiota do inseto, substratos contaminados	Espécies: Clostridium, Campylobacter, Enterobacteriaceae, Pseudomonas, <i>Bacillus cereus</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , E. coli, Rickettsiella, Salmonella, Shigella. Podem causar doenças graves e resistência antimicrobiana (absorção intestinal de genes resistentes)	HACCP, manejo higiênico, controle de jejum pós-abate	Boykin e Mitchell, (2025); Carvalho <i>et al.</i> , (2025); Conway <i>et al.</i> , (2024)
Biológico – Fungos	Contaminação ambiental e armazenamento inadequado	Aspergillus, Penicillium, Mucor, Alternaria → produção de micotoxinas com genotoxicidade, hepatotoxicidade e neurotoxicidade	HACCP, controle de umidade e estocagem adequada	Carvalho <i>et al.</i> , (2025)
Biológico – Vírus	Substratos contaminados	Norovírus, rotavírus, hepatite A/E; potencial vetorial para arbovírus (dengue, zika, febre do Nilo)	HACCP, substratos seguros, rastreabilidade	Conway <i>et al.</i> , (2024)
Biológico Parasitas	– Substratos contaminados, ambiente	Protozoários: <i>Entamoeba histolytica</i> , <i>Giardia lamblia</i> , <i>Toxoplasma spp.</i> , <i>Sarcocystis spp.</i> ; Trematódeo: <i>Dicrocoelium dendriticum</i> ; Nematóides: <i>Gordius spp.</i> , <i>G. chianshanus</i>	HACCP, controle sanitário dos substratos	Conway <i>et al.</i> , (2024)
Biológico Prions	– Substratos contaminados	Insetos não produzem, mas podem ser vetores mecânicos dessas proteínas anômalas	Evitar uso de substratos de origem animal contaminada	Conway <i>et al.</i> , (2024)
Químico Micotoxinas	– Fungos em substratos contaminados ou armazenamento inadequado	Aflatoxinas e outras micotoxinas; alta resistência térmica → não degradam facilmente	Monitorar substratos, HACCP	Kłobukowski <i>et al.</i> , (2025); Xie <i>et al.</i> , (2024)
Químico – Metais pesados	Solo, água, ração, resíduos agrícolas	Cádmio (Cd), chumbo (Pb), mercúrio (Hg), arsênio (As); efeitos neurotóxicos e carcinogênicos	Análise periódica de substratos, controle de origem	Conway <i>et al.</i> , (2024); Kłobukowski <i>et al.</i> , (2025); Xie <i>et al.</i> , (2024)
Químico Pesticidas	– Substratos agrícolas contaminados, milho tratado	Clorpirifós, clorpirifós-metil, pirimifós-metil, metalaxil, epoxiconazol; risco de bioacumulação	Controle do substrato, boas práticas agrícolas	Conway <i>et al.</i> (2024)

Químico – Antibióticos e antifúngicos	Uso nos substratos	Podem causar resíduos e resistência antimicrobiana	Proibição ou controle de uso, regulamentação	Conway <i>et al.</i> , (2024)
Químico – Dioxinas, furanos e HPAs	Queima incompleta de matéria orgânica	Compostos cancerígenos que causam danos ao DNA	Evitar fontes contaminadas, análises laboratoriais	Conway <i>et al.</i> , (2024)
Alergênico – Panalergia	Semelhança molecular com artrópodes (crustáceos, ácaros, miriápodes)	Quitina, tropomiosina, arginina quinase, GAPDH, hemocianina; reações graves (coceira, asma, choque anafilático, morte); alergias ocupacionais em fazendas	Identificação de alérgenos, processamento adequado, regulamentação e rotulagem	Boykin e Mitchell, (2025); Conway <i>et al.</i> , (2024); Kłobukowski <i>et al.</i> , (2025); Xie <i>et al.</i> , (2024)
Físico	Consumo excessivo de insetos inteiros (pernas, asas)	Casos de obstrução intestinal associados a partes duras; risco ausente em produtos em pó, pois essas estruturas são removidas no processamento	Processar os insetos em forma de pó, evitando consumo exagerado de inteiros	Conway <i>et al.</i> , (2024); Kłobukowski <i>et al.</i> , (2025)

Fonte: elaboração própria.

3.5 ANÁLISE PESTEL

O PESTEL é uma metodologia usada por organizações para ler o macroambiente e organizar a análise de fatores externos que influenciam decisões e resultados (Johnson; Scholes; Whittington, 2017; Whittington et al., 2020). Na obra de estratégia, a ideia central é observar os elementos político, econômico, social, tecnológico, ambiental e legal como um conjunto conectado, evitando listas soltas e aproximando a análise do que realmente move o setor (Johnson; Scholes; Whittington, 2017). A leitura começa no macro, passa pelo nível do setor e chega a mercados e concorrentes, servindo de base para previsão e construção de cenários, com o objetivo final de identificar os *key drivers for change*, isto é, os motores de mudança com maior impacto (Whittington et al., 2020).

O PESTEL não deve ser visto como uma metodologia que entrega resultados por si só, mas como uma forma de organizar a leitura do ambiente externo e destacar os fatores que importam agora e no futuro (Johnson; Scholes; Whittington, 2017). A ferramenta considera ambiente de mercado e não-mercado, reconhece a interação entre as seis dimensões e orienta a integração dessas dimensões na formulação de cenários estratégicos (Whittington et al., 2020).

Aplicações na literatura indicam que essa leitura ajuda a identificar fatores-chave e a formular estratégias para mitigar riscos na difusão de novos produtos e setores emergentes (Segura et al., 2018). Na prática, a análise inclui diferenciar risco político amplo do país e risco político específico do setor, localizar a decisão no ciclo econômico, mapear redes e campos organizacionais no social, acompanhar sinais de tecnologia por P&D, patentes e roadmaps, tratar o ecológico por poluição, *stewardship* e sustentabilidade e, no legal, considerar leis formais e normas informais, inclusive variações institucionais entre países (Johnson; Scholes; Whittington, 2017; Whittington et al., 2020).

O resultado esperado é a identificação de poucos *key drivers for change* que concentram impacto e orientam escolhas estratégicas adiante (Whittington et al., 2020). Segundo a literatura recente, os fatores da análise PESTEL podem ser classificados da seguinte forma, aqui adaptados ao contexto de alimentos com insetos comestíveis (Furuncu, 2025; Kokkinos et al., 2023):

a) Fatores políticos: políticas públicas, estabilidade governamental, regulamentações sobre novos alimentos, incentivos fiscais e acordos comerciais que podem facilitar ou restringir o avanço do setor, incluindo o papel do Estado como regulador ou comprador e a pressão de sociedade civil e mídia (Furuncu, 2025; Kokkinos et al., 2023).

b) Fatores econômicos: condições do mercado, custos de produção, investimentos públicos e privados, crescimento do segmento de proteínas alternativas, acesso a crédito e políticas de incentivo à inovação, com atenção à fase do ciclo econômico (Furuncu, 2025; Kokkinos *et al.*, 2023).

c) Fatores sociais: percepção pública, hábitos culturais e alimentares, educação, saúde e desigualdades que afetam a adoção, além de redes e campos organizacionais que dão legitimidade (Furuncu, 2025; Kokkinos *et al.*, 2023).

d) Fatores tecnológicos: inovação disponível, P&D, automação de criação e processamento, segurança e rastreabilidade e a velocidade de adoção de tecnologias pela indústria, observando indicadores como patentes e anúncios de novos produtos (Furuncu, 2025; Kokkinos *et al.*, 2023).

e) Fatores ambientais: escassez de recursos, mudanças climáticas, uso de água e energia, sustentabilidade da proteína e uso de resíduos agroindustriais como substrato, com atenção ao ciclo de vida e à gestão de resíduos (Furuncu, 2025; Kokkinos *et al.*, 2023).

f) Fatores legais: leis e normas sanitárias, rotulagem, direitos do consumidor, propriedade intelectual e marcos para alimentos não convencionais, incluindo a influência de normas informais (Furuncu, 2025; Kokkinos *et al.*, 2023).

3.6 CONCEITO DE PRODUTO E RELAÇÃO COM INOVAÇÃO

Um inseto utilizado em um produto deve ter um propósito claro, alinhado às necessidades do mercado (Schewe e Hiam, 2000). Um produto pode ser entendido como:

- (i) Um conjunto de atributos tangíveis e intangíveis;
- (ii) Um conjunto de benefícios que satisfazem necessidades ou desejos;
- (iii) Um portador de satisfação potencial, que nunca se realiza plenamente, mantendo espaço para novas soluções.

Muitos produtos surgem não apenas por avanços tecnológicos, mas também por problemas percebidos pelos consumidores, reforçando a importância de compreender o comportamento de mercado (Schewe e Hiam, 2000).

Todo produto possui um ciclo de vida, com formatos diversos, sendo o modelo em sino (introdução, crescimento, maturidade e declínio) o mais comum (Fuller, 2004). Produtos alimentícios apresentam particularidades como perecibilidade, exigências regulatórias e influência cultural e sensorial (Fuller, 2004). O conceito de “produto novo” pode envolver desde a criação inédita até mudanças em formulação, embalagem ou mercado-alvo.

É fundamental diferenciar *customer* (quem compra) e *consumer* (quem consome), pois essa distinção afeta o desenvolvimento, a comunicação e o valor percebido do produto (Fuller, 2004; Oxford, 2024; Cambridge, 2024). Sendo que, o desenvolvimento de alimentos é influenciado por quatro eixos principais (Fuller, 2004):

- a) **Avanços tecnológicos:** que criam soluções e agregam valor de mercado
- b) **Mudanças no perfil do consumidor:** associadas a identidade, cultura e participação ativa como *prosumer* (*producer* + *consumer*)
- c) **Ações governamentais:** como guias alimentares, portarias e políticas de prevenção, que moldam formulações e oferta
- d) **Pressões de mercado:** ligadas à substituição de produtos em declínio e à expansão de canais

Esses fatores se conectam a quatro movimentos-chave para a inovação: declínio de produtos antigos, pressão por crescimento, surgimento de nichos e avanços tecnológicos, e mudanças regulatórias (Fuller, 2004).

4. METODOLOGIA

4.1 METODOLOGIA PRISMA

Devido à natureza diversa dos fatores que dificultam a aceitação e implementação do consumo de insetos como alimento pela população, tornou-se essencial mapear esses problemas, organizá-los e buscar, na literatura científica, potenciais soluções que possam mitigar as barreiras identificadas. Assim, o presente estudo buscou artigos recentes que apresentassem propostas concretas ou evidências aplicáveis para superar os principais desafios relacionados à produção, processamento e aceitação dos insetos comestíveis, priorizando materiais que oferecessem soluções práticas para o mercado alimentar humano.

As diretrizes do protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) foram consideradas para estruturar o processo metodológico sempre que pertinente, organizadas em quatro etapas sequenciais: identificação, triagem, leitura crítica e seleção final dos artigos (CHEN *et al.*, 2025). Esse protocolo foi desenvolvido para garantir que revisões sistemáticas sigam um fluxo lógico e transparente, permitindo a reprodutibilidade do processo e a rastreabilidade das decisões tomadas em cada etapa.

Na etapa de identificação, as bases *Scopus* e *Web of Science* foram selecionadas por sua ampla cobertura de periódicos de alta qualidade. As buscas foram realizadas entre janeiro de 2024 e maio de 2025, apenas no idioma inglês, nos campos de título, resumo e palavras-chave. Os termos utilizados foram:

Scopus:

TITLE-ABS-KEY ("edible insect*" OR "insects as food" OR entomophagy)

AND TITLE-ABS-KEY (farm* OR rearing OR cultivation OR "mass production")

AND TITLE-ABS-KEY ("human food" OR "human consumption" OR food)

Web of science:

TS=("edible insect*" OR "insects as food" OR entomophagy)

AND TS=(farm* OR rearing OR cultivation OR "mass production")

AND TS=("human food" OR "human consumption" OR food)

As estratégias de busca foram adaptadas às especificidades de cada base para assegurar a melhor recuperação possível dos artigos relevantes.

Em relação aos mecanismos de busca, foram aplicados filtros de idioma (inglês), tipo de documento (artigos de revisão e artigos de pesquisa) e ano (2024-2025) diretamente nas

plataformas, resultando em um total de 234 artigos: 58 exclusivos da *Scopus*, 68 exclusivos da *Web of Science* e 108 presentes em ambas as bases.

Na triagem preliminar, realizou-se a leitura dos títulos e resumos dos 234 artigos, aplicando os critérios de inclusão: foco em consumo humano e relação com a produção e uso de insetos em alimentos. Nessa etapa, foram excluídos 78 artigos por inadequação temática, 48 artigos por duplicidade entre as bases e outros 48 artigos por impossibilidade de acesso completo aos textos via bases disponibilizadas pela UFRJ. Assim, restaram 60 artigos após a triagem preliminar.

Na leitura crítica, foram analisados integralmente os 60 artigos, buscando avaliar sua aderência aos objetivos do estudo, ou seja, a apresentação de problemas relevantes à implementação de insetos na alimentação humana e, principalmente, a proposição de soluções ou uma visão geral atualizada sobre o tema. Foram excluídos artigos que, apesar de tratarem de produção ou aspectos nutricionais, não apresentavam propostas de solução ou que se mostraram desalinhados aos objetivos do estudo, isto é, trabalhos que descreviam apenas dados isolados sem discussão aplicável à cadeia produtiva ou à aceitação de insetos como alimento.

Na seleção final, 21 artigos foram selecionados para o estudo. Contudo, como alguns desses trabalhos abordaram mais de um tipo de problema ou solução, eles foram citados em diferentes subtópicos dos resultados.

Os 21 artigos únicos selecionados foram: Aguilar-Toalá (2025), Caparros (2024), Carvalho (2025), Colamatteo (2025), Conway (2024), Fuso (2024), Gallè (2025), Kłobukowski (2025), Lisboa (2024), Meijer (2025), Mikulec (2024), Muñoz-Seijas (2025), Ochieng (2025), Okaiyeto (2024), Psarianos (2025), Safavi (2024), Siddiqui (2024), Sokame (2024), Wahengbam (2024), Wang (2024) e Xie (2024).

O processo de seleção final priorizou documentos que apresentavam propostas práticas para resolver barreiras identificadas na introdução, como percepções negativas de consumidores, questões regulatórias, desafios de segurança alimentar e dificuldades na produção e comercialização do pó de inseto, esses dados seviram de suporte primário para a contextualização feita pela análise PESTEL

4.2 ANÁLISE PESTEL

O PESTEL é usado por organizações para ler o macroambiente e organizar fatores externos que influenciam decisões e resultados, considerando de forma conectada as dimensões política, econômica, social, tecnológica, ambiental e legal (Johnson; Scholes; Whittington, 2017; Whittington *et al.*, 2020). Esse enquadramento também serve para olhar presente e futuro,

apoiar previsão e cenários e, ao final, destacar os *key drivers for change*, isto é, os motores de mudança com maior impacto no setor analisado (Whittington *et al.*, 2020).

No presente trabalho, 21 artigos foram selecionados, organizados e usados para embasar os fatores externos da análise PESTEL. O conteúdo foi agrupado por dimensão política, econômica, social, tecnológica, ambiental e legal, a partir dos argumentos apresentados nos próprios textos. Alguns fatores podem influenciar mais de uma dimensão e, por isso, podem reaparecer na discussão, respeitando a natureza interligada do tema (Johnson; Scholes; Whittington, 2017). Os principais fatores identificados como motores de mudança foram separados para destaque ao final da leitura das seis dimensões, servindo de base para a sequência dos resultados (Whittington *et al.*, 2020).

A organização interna de ideias como mais favoráveis ou desfavoráveis, quando usada para organizar a discussão, é apenas um recurso de organização e será apresentada nos resultados e discussão, sempre com contextualização do fator e, quando possível, indicação de caminho de solução sustentada pelas evidências dos 21 artigos. Essa marcação não faz parte do procedimento do PESTEL tal como apresentado na obra de referência (Johnson; Scholes; Whittington, 2017; Whittington *et al.*, 2020)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 FATORES POLÍTICOS

É possível identificar três aspectos no âmbito das políticas que interferem na difusão de produtos à base de insetos, são eles:

- (i) Integração e coordenação entre atores;
- (ii) Definição e harmonização de parâmetros técnico-sanitários;
- (iii) Aceitação pública como resultado de instrumentos institucionais.

Nesse caso, a importância do fator político se qualifica pelo papel do Estado como regulador e integrador e pela exposição do assunto a organizações da sociedade civil, como mídia, ONGs, campanhas e lobbies (Whittington *et al.*, 2020).

Um primeiro ponto diz respeito à dificuldade de ações efetivas de políticas públicas para promover maior integração entre diferentes atores, como a indústria e os centros de pesquisa. Essa ausência de articulação compromete a inovação e o amadurecimento do setor (Varelas, 2023), que exige sinergia entre atores e estímulos estruturados (Muñoz-Seijas *et al.*, 2025; Sokame; Runyu; Tonnang, 2024). Esse cenário contraria o papel integrador do Estado, que poderia atuar como agente direto ou indireto de coordenação entre diferentes pares. Pode-se supor que, na ausência dessa coordenação pública, o setor opere em ilhas institucionais e tecnológicas, o que posterga economias de escala e o acesso a mercados regulados.

Outro aspecto de grande relevância é a falta de políticas públicas organizadas para definir parâmetros básicos, como limites de contaminantes, padrões microbiológicos e critérios de rastreabilidade, em etapas fundamentais da produção (Bonysana *et al.*, 2024; Kłobukowski; Smiechowska; Skotnicka, 2025; Safavi *et al.*, 2024). Soma-se a isso a carência de diretrizes claras para procedimentos técnicos, como o pré-tratamento, a secagem, a torra e a moagem, que seguem sem padronização internacional, afetando diretamente a segurança e a qualidade do produto no final da cadeia produtiva, bem como a não implementação sistemática do sistema HACCP, essencial para garantir a segurança alimentar, mas ainda negligenciado em muitos contextos de produção de insetos (Okaiyeto, 2024; Ristic; Smetana; Heinz, 2023; Varelas, 2023). Neste contexto, o papel do Estado é indutor e coordenador. Pode-se deduzir, dentro desse quadro, que a ausência de uma definição mínima de parâmetros eleva o custo de conformidade por empresa, pois cada agente refaz testes e protocolos, o que pode reduzir a competitividade frente a proteínas alternativas com rotas já normatizadas.

As políticas públicas desempenham um papel estratégico ao promover o fluxo de informações e a integração entre diferentes agentes do setor. Isso pode ocorrer por meio de investimentos em ações informativas, fomento ao diálogo entre centros de pesquisa, indústria e governo e iniciativas de divulgação científica e tecnológica (Fuller, 2004). Essas medidas podem atuar como fatores indutores para ampliar o conhecimento da população sobre os insetos comestíveis, além de facilitar a inserção internacional por meio da harmonização de práticas e regulamentações.

Com base em Whittington *et al.* (2020), a análise política considera dois eixos de risco:

- macro x micro (país, setor, organização);
- interno x externo (fatores domésticos versus choques ou decisões originadas fora do país).

A partir disso, é possível supor que, no caso dos insetos comestíveis, o risco micro interno se concentre em licenciamento e inspeção sanitária, enquanto o risco macro externo decorre de alterações em normas e requisitos de acesso a mercados internacionais. É importante, no entanto, destacar a importância da conexão entre os ministérios da tecnologia, saúde e agricultura para evitar lacunas e contradições das políticas.

Essa função estratégica do Estado é explicitada no relatório intitulado “Políticas Nacionais de Ciência e Tecnologia 2025”, do Ministério das Relações Exteriores do Brasil, que indica que o progresso científico e tecnológico exige articulação entre poder público, academia, empresas e sociedade, dentro de uma visão de longo prazo. Essa articulação deve estar associada ao investimento em infraestrutura, à formação de talentos científicos, ao fomento às relações internacionais, incluindo diplomacia científica, e à construção de um ambiente inovador (Ministério das Relações Exteriores do Brasil, 2025), o que também facilita distinguir riscos amplos (orientação nacional de CT&I) de gargalos operacionais setoriais (licenças, inspeção e extensão tecnológica). Em nível subnacional, pode-se supor que planos municipais de resíduos e clima que incluam projetos com insetos tendam a priorizar orçamentos e procedimentos, estimulando a criação e a expansão dessas iniciativas.

Nesse contexto, os insetos comestíveis representam uma proposta inovadora de alimentação, incentivada por órgãos como a FAO, mas que ainda carece de políticas públicas efetivas para se consolidar. A FAO publicou documentos específicos sobre o uso de insetos na alimentação humana, como “*Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security*” (Van Huis *et al.*, 2013). Em relatórios mais recentes, como *Achieving SDG2 without Breaching the 1.5°C Threshold – A Global Roadmap – Part 1 (In Brief)* (FAO, 2023), os insetos não são mencionados explicitamente quando se trata da transformação dos sistemas alimentares. Ainda

assim, os insetos comestíveis se enquadram nos critérios promovidos pelo Roadmap da FAO, com ênfase em produção ambientalmente eficiente, menores emissões de GEE, uso racional de recursos e contribuição para a segurança alimentar. Dentro do contexto político, para estimular a demanda, pode-se supor que instrumentos como compras públicas piloto e linhas de crédito voltadas a ingredientes em pó, quando sensorialmente aceitos, funcionem como âncoras de mercado, reforçando o papel estatal como regulador e indutor de padrões.

Essas perspectivas podem alinhar-se a políticas de incentivo estimuladas por estratégias nacionais, como ocorreu na Dinamarca com o *Danish Action Plan for Plant-based Foods* (Denmark, 2020). Nesse plano, observam-se medidas como incentivo direto via fundo nacional (675 milhões entre 2023 e 2030), com pelo menos 50% dos recursos destinados a projetos orgânicos *plant-based*, integração em políticas públicas alimentares, incluindo refeições escolares com opções vegetais, e reformulação das diretrizes alimentares nacionais, além de investimentos em infraestrutura de processamento e desenvolvimento de ingredientes, fortalecimento da identidade de marca nacional (Food Nation), campanhas de promoção e uma força tarefa dedicada à exportação. Embora voltado a vegetais, o caso dinamarquês oferece lições de desenho institucional ao combinar incentivos econômicos, informação e compras públicas, úteis para a agenda de insetos, respeitadas as diferenças tecnológicas e regulatórias. Pode-se supor, como lição transferível, que o arranjo entre incentivos econômicos e instrumentos de informação seja aplicável aos insetos, desde que preservadas suas especificidades regulatórias.

Apesar de tais ações serem promissoras para alimentos vegetais, os insetos comestíveis permanecem fora de estratégias similares na maioria dos países. A ausência de incentivos estruturais pode contribuir para a manutenção da percepção negativa e da rejeição sensorial e simbólica do consumidor, o que desestimula a adoção de medidas pró-mercado para insetos (Sexton, 2018). Esse fenômeno de estímulo dá origem ao que Sexton (2018) denomina “biopolítica da comestibilidade”, que envolve, por um lado, estratégias para tornar os insetos aceitáveis como alimento humano e, por outro, a transferência da responsabilidade ao consumidor, como se a adoção desse tipo de alimento dependesse exclusivamente de uma escolha individual, desconsiderando questões estruturais como regulação, incentivos, sistemas de produção e cadeias de valor. Assim, a aceitação não é apenas escolha individual, mas também resultado de instrumentos institucionais, como disponibilidade, informação e regras de mercado, frequentemente acionados por pressões da sociedade civil (Sexton, 2018). Em síntese, pode-se deduzir que a insuficiência da atuação do Estado dificulta a difusão: ela enfraquece a

coordenação entre atores, adia a harmonização técnico-sanitária e deixa a aceitação pública sem suporte institucional consistente.

5.2 FATORES ECONÔMICOS

O panorama econômico dos produtos à base de insetos é marcado por preços elevados e pela percepção limitada de valor, o que dificulta a popularização do consumo (Ummara *et al.*, 2023). Nesse sentido, fatores como preço acessível, local de processamento e origem do produto podem favorecer a aceitação e aumentar a disposição do consumidor a pagar por novos alimentos (Gallè *et al.*, 2025; Wang; Park, 2025).

Com base na literatura, podem ser destacados sete desafios de produção de insetos como matriz alimentar com impacto econômico direto. O primeiro é o preço e o valor percebido, que podem ser trabalhados por meio de estratégias de posicionamento e comunicação para ampliar a aceitação (Ummara *et al.*, 2023; Varelas, 2023). O segundo é a necessidade de produção em maior escala para diluir custos e estabilizar a oferta, o que pode reduzir preços e aumentar o alcance de mercado (Majeed, 2023; Ummara *et al.*, 2023). O terceiro desafio está relacionado ao processamento e à preservação dos nutrientes, demandando o uso de tecnologias como extrusão, alta pressão e campos elétricos pulsados, capazes de manter a qualidade nutricional e tecnológica do ingrediente (Varelas, 2023; Carvalho; Teixeira; Barbosa, 2025). O quarto diz respeito à padronização de etapas críticas, como pré-tratamento, secagem, torra e moagem, essenciais para reduzir a variabilidade da qualidade e os custos ligados a falhas de conformidade (Okaiyeto *et al.*, 2024; Varelas, 2023). O quinto é a necessidade de regulação e convergência normativa, já que a harmonização regulatória garante previsibilidade e reduz custos de transação (Varelas, 2023). O sexto problema é a falta de cooperação entre pesquisa e indústria, que retarda a inovação e encarece o desenvolvimento, exigindo arranjos colaborativos mais consistentes (Varelas, 2023). Por fim, o sétimo desafio envolve barreiras sensoriais e culturais, que podem ser enfrentadas com campanhas de informação, ajuste de preço e o uso do ingrediente em pó, recurso que facilita a inserção em produtos já familiares ao consumidor e reduz a rejeição (Carcea; Narducci; Turfani, 2023; Okaiyeto *et al.*, 2024; Ummara *et al.*, 2023).

Além dos fatores relacionados diretamente ao setor de alimentos com insetos para alimentação humana, alguns determinantes macroeconômicos influenciam diretamente. A variação do câmbio pode afetar a viabilidade de exportação e encarecer equipamentos e insumos importados, refletindo no preço final (Whittington *et al.*, 2020). Taxas de juros mais altas aumentam o custo do capital para expansão de fazendas e linhas de processamento, o que

pode levar ao adiamento de projetos quando a taxa de retorno se torna menos atrativa (Whittington *et al.*, 2020). Também é necessário observar o ciclo econômico: em fases de desaceleração, cai o poder de compra e diminui a propensão do consumidor a experimentar categorias novas como os insetos, enquanto nas fases de recuperação a demanda pode voltar de forma rápida e exigir capacidade produtiva adequada para evitar falta de produto e aumento repentino de preços (Whittington *et al.*, 2020; Ummara *et al.*, 2023). Como previsões de câmbio, juros e crescimento estão sujeitas a choques inesperados, qualquer planejamento deve ser feito com cautela. Nesse contexto, torna-se essencial escolher o momento certo do investimento e adotar medidas para reduzir riscos, como módulos produtivos escaláveis que permitem expansão gradual, contratos de fornecimento com o setor de food service, financiamento de longo prazo com parcelas previsíveis em ampliações de capital, cláusulas de reajuste para insumos indexados ao câmbio e, em casos específicos, mecanismos de proteção cambial para equipamentos importados (Whittington *et al.*, 2020; Majeed, 2023; Ummara *et al.*, 2023).

Para ampliar a comercialização em larga escala, continua sendo fundamental investir em comunicação estratégica e na adaptação a dietas específicas, já que a rejeição cultural ainda limita o avanço (Ummara *et al.*, 2023; Varelas, 2023). O uso do ingrediente em pó é considerado uma das estratégias mais promissoras por tornar o inseto menos visível no alimento, facilitar a aceitação em produtos já conhecidos e, ao mesmo tempo, agregar argumentos de enriquecimento nutricional e de sustentabilidade ambiental (Carcea; Narducci; Turfani, 2023; Okaiyeto *et al.*, 2024).

Em síntese, um dos fatores decisivos para a difusão é alcançar crescimento em escala suficiente para reduzir preços. Se a escala for ampliada no momento adequado, há tendência de queda nos preços e expansão do mercado; caso contrário, persistem preços elevados e baixa penetração. A articulação desses fatores sustenta um plano de ação econômico orientado a diminuir barreiras de preço, reforçar o valor percebido e atender necessidades de compra relacionadas à conveniência e à segurança alimentar, sempre atento à volatilidade de câmbio, juros e atividade econômica (Okaiyeto *et al.*, 2024; Schewe; Hiam, 2000; Whittington *et al.*, 2020).

5.3 FATORES SOCIAIS

Em relação aos aspectos sociais, a aceitação de insetos como alimento ainda encontra grandes obstáculos, principalmente pela refração cultural no Ocidente, enquanto em contextos orientais surgem preconceitos relacionados à origem e à influência de culturas externas (Carcea;

Narducci; Turfani, 2023; Collins; Vaskou; Kountouris, 2019). Esses fatores são reforçados por barreiras psicológicas, como a neofobia alimentar e o sentimento de nojo associado a ambientes insalubres ou a organismos decompositores, além de preocupações com o potencial alergênico (Conway; Jaiswal; Jaiswal, 2024; Klobukowski; Smiechowska; Skotnicka, 2025; Xie *et al.*, 2024). Há também entraves relacionados a deficiências nutricionais causadas pela ausência de boas práticas e pela baixa padronização na criação, somados à regulamentação lenta, que causa desconfiança ao consumidor (Colamatteo; Bravo; Cappelli, 2025; Okaiyeto *et al.*, 2024; Siddiqui *et al.*, 2024).

Contudo, os aspectos positivos não são anulados pelas limitações. Os insetos apresentam argumentos nutricionais consistentes, e a maior parte dos problemas de qualidade e segurança pode ser mitigada com boas práticas produtivas (Conway; Jaiswal; Jaiswal, 2024; Klobukowski; Smiechowska; Skotnicka, 2025; Psarianos; Aghababaei; Schlüter, 2025; Xie *et al.*, 2024). Estratégias de comunicação e políticas de redução de preço podem reforçar essa percepção positiva, assim como a oferta de produtos com sabor agradável e experiências sensoriais integradoras, incluindo sua presença em restaurantes, que podem atrair diferentes perfis de consumidores (Gallè *et al.*, 2025; Okaiyeto *et al.*, 2024; Wang; Park, 2025).

Do ponto de vista do consumidor, a aceitação inicial pode ser ampliada por meio de estratégias que adaptem o produto às expectativas do público. Transformar os insetos em pó e integrá-los a alimentos já conhecidos reduz a rejeição inicial e aumenta as chances de inserção em dietas ocidentais (Carcea; Narducci; Turfani, 2023; Okaiyeto *et al.*, 2024). Estudos indicam maior aceitação entre jovens e homens mais abertos ao novo, com preocupações ambientais e menor apego à carne, bem como entre consumidores movidos pela curiosidade (Carcea; Narducci; Turfani, 2023). Ainda assim, fatores como preço, marca e tipo de produto podem tornar-se decisivos para a compra e fidelização após a superação da barreira inicial (Santos, 2024).

Elementos como preço acessível e local de processamento influenciam de maneira significativa, ainda que divergente entre contextos culturais, como mostrado em pesquisas com consumidores italianos e asiáticos (Gallè *et al.*, 2025; Wang; Park, 2025). Além disso, argumentos nutricionais e ecológicos tendem a atrair perfis específicos de consumidores que, após superar a barreira inicial de rejeição, demonstram maior propensão à adesão (Collins; Vaskou; Kountouris, 2019; Mikulec *et al.*, 2024; Moruzzo *et al.*, 2021; Tuccillo; Marino; Torri, 2020).

A literatura aponta três pilares fundamentais para o processo de familiarização do consumidor: campanhas de marketing adequadas, ações educacionais consistentes e

desenvolvimento de produtos bem formulados (Carcea; Narducci; Turfani, 2023; Collins; Vaskou; Kountouris, 2019; Okaiyeto *et al.*, 2024). Experiências sensoriais positivas, associadas a sabor e textura agradáveis, também contribuem para reduzir a neofobia (Carcea; Narducci; Turfani, 2023; Okaiyeto *et al.*, 2024). Nesse contexto, a rotulagem ganha relevância por ser, muitas vezes, o primeiro contato do consumidor com o produto, devendo ser clara e objetiva para estimular a confiança (Santos, 2024).

De forma complementar, Okaiyeto *et al.* (2024) propõem nove pontos essenciais para a adesão ao consumo de insetos, que envolvem segurança alimentar, desenvolvimento de produtos, respeito a normas culturais, experiência culinária, parcerias com restaurantes, conscientização e educação, políticas públicas e regulação, marketing e comunicação e acessibilidade dos produtos no varejo. Tais diretrizes mostram que a aceitação depende de um esforço multifatorial e de longo prazo.

A variedade de aplicações reforça esse potencial. O pó de inseto pode ser incorporado em cookies, muffins, patês, carnes análogas, biscoitos, bebidas lácteas, sorvetes e snacks, com boa aceitação em teores de até 10 a 15% em várias formulações, como 15% em cookies de grilo, 20% em cookies com sorgo e inseto e 2% em patê suíno (Carcea; Narducci; Turfani, 2023; Naseem *et al.*, 2023; Niu *et al.*, 2023; Ummara *et al.*, 2023; Varelas, 2023). Ainda que muitos produtos precisem de testes adicionais para definir teores ideais de inclusão, esse leque de possibilidades amplia o potencial de desenvolvimento industrial e a incorporação dos componentes nutricionais dos insetos em alimentos que, isoladamente, têm menor valor nutricional, aumentando a chance de adesão por parte do consumidor.

Assim, tanto os aspectos sociais quanto os ligados ao comportamento do consumidor demonstram que a aceitação não depende apenas da superação de barreiras culturais, mas também de fatores como preço, acessibilidade, regulação, informação clara e experiências de consumo positivas. A integração dessas estratégias cria condições para que os insetos conquistem espaço como alternativa alimentar sustentável.

Além disso, como destaca Whittington *et al.* (2020), fatores sociais também abrangem demografia, distribuição de renda e geografia, que moldam a demanda e a oferta. A partir dessa ótica, a aceitação de insetos pode ser pensada como parte de uma rede social mais ampla, envolvendo “atores-ponte” como chefs, associações profissionais, influenciadores e gestores de compras públicas. Esses agentes podem acelerar a confiança e o aprendizado do consumidor, sobretudo em contextos em que as redes são mais fechadas, e argumentos nutricionais e ecológicos, quando comunicados de forma simples e verificável, podem reforçar ainda mais esse processo.

5.4 FATORES TECNOLÓGICOS

A questão tecnológica ainda apresenta fragilidades relevantes, especialmente pela ausência de padronização e de controle robusto nos processos produtivos. Etapas críticas como pré-tratamento, secagem, torra e moagem carecem de normas industriais consolidadas e de validação inter laboratorial, o que limita a reprodutibilidade e a comparabilidade de resultados (Okaiyeto *et al.*, 2024; Ristic, Smetana e Heinz, 2023; Varelas, 2023). Persistem problemas metodológicos, como a definição do fator de conversão de nitrogênio para proteína adequado a cada espécie e estágio de desenvolvimento e a determinação precisa de nutrientes. Somam-se riscos físicos associados ao consumo de partes duras de insetos inteiros, como patas e asas, com possibilidade de obstruções intestinais (Conway, Jaiswal e Jaiswal, 2024; Klobukowski, Smiechowska e Skotnicka, 2025; Xie *et al.*, 2024).

Esses entraves se agravam diante de riscos na matéria-prima, como contaminação por metais pesados e presença de antinutrientes (Conway, Jaiswal e Jaiswal, 2024; Klobukowski, Smiechowska e Skotnicka, 2025; Lisboa *et al.*, 2024), além da baixa integração e da insuficiência de regulamentação setorial, que podem comprometer a confiança e a aceitação do consumidor (Colamatteo, Bravo e Cappelli, 2025; Okaiyeto *et al.*, 2024; Siddiqui *et al.*, 2024; Varelas, 2023). O panorama atual, portanto, revela desafios estruturais que demandam ações coordenadas entre pesquisa, indústria e órgãos reguladores.

Por outro lado, há capacidades tecnológicas consolidadas e em evolução que sinalizam alto potencial de desenvolvimento. A inclusão de insetos na alimentação humana se justifica pelo valor nutricional, com destaque para proteínas, fibras, lipídeos insaturados, vitaminas, minerais e compostos bioativos (Conway, Jaiswal e Jaiswal, 2024; Klobukowski, Smiechowska e Skotnicka, 2025; Lisboa *et al.*, 2024; Psarianos, Aghababaei e Schlüter, 2025; Xie *et al.*, 2024). Observam-se avanços em processamento e segurança, incluindo fermentação e fervura para melhorar digestibilidade, aplicação sistemática do HACCP para controle de perigos e adoção de tecnologias como extrusão, alta pressão, campos elétricos pulsados, ultrassom e aquecimento ôhmico, que tendem a aprimorar propriedades funcionais de proteínas de insetos (Carvalho, Teixeira e Barbosa, 2025; Conway, Jaiswal e Jaiswal, 2024; Klobukowski, Smiechowska e Skotnicka, 2025; Ristic, Smetana e Heinz, 2023; Varelas, 2023; Xie *et al.*, 2024).

Adicionalmente, destacam-se iniciativas alinhadas a tecnologias verdes, como o uso de biorrefinarias para obtenção de compostos de maior valor agregado (Muñoz-Seijas *et al.*, 2025), bem como estratégias de adesão tecnológica integradas a cultura, legislação e campanhas

educativas (Okaiyeto *et al.*, 2024). O potencial de escalabilidade industrial é frequentemente apontado como resposta factível à insegurança alimentar global, desde que acompanhado de padronização e governança de dados de qualidade (Majeed, 2023; Ummara *et al.*, 2023).

Dessa forma, para mitigar fragilidades e ampliar pontos positivos, é fundamental investir em pesquisa e desenvolvimento com ênfase em digestibilidade, biodisponibilidade e boas práticas de criação (Conway, Jaiswal e Jaiswal, 2024; Klobukowski, Smiechowska e Skotnicka, 2025; Lisboa *et al.*, 2024; Xie *et al.*, 2024), escalabilidade industrial e avaliação dos impactos ambientais de processos e rotas de processamento (Muñoz-Seijas *et al.*, 2025), além do fortalecimento da biodiversidade nos sistemas produtivos integrados (Sokame, Runyu e Tonnang, 2024).

Nesse contexto, para aprimorar P&D, recomenda-se mapear de forma sistemática os investimentos de empresas e de programas públicos voltados à criação, processamento e segurança de insetos; relacionar picos de financiamento com avanços de processo e com marcos de aprovação regulatória; e usar esses sinais para priorizar linhas tecnológicas com maior tração (Whittington *et al.*, 2020).

Complementarmente, sugere-se monitorar a atividade de patentes, realizar análise de citações, registrar anúncios de novos produtos e de escalonamentos industriais e fortalecer a cobertura midiática especializada, como instrumentos de orientação e acompanhamento da evolução tecnológica; esses mecanismos podem ser ainda potencializados pela elaboração de um *roadmap* tecnológico do setor de insetos comestíveis, a fim de projetar demandas de médio e longo prazo, identificar alternativas de processo e de produto e definir um cronograma de maturação (Whittington *et al.*, 2020).

5.5 FATORES ECOLÓGICOS

Os insetos têm menor emissão de gases e maior eficiência ambiental que a pecuária (Conway, Jaiswal e Jaiswal, 2024; Lisboa *et al.*, 2024; Muñoz-Seijas *et al.*, 2025) e têm o potencial de ajudar a reduzir o desperdício e fechar ciclos de nutrientes (Conway, Jaiswal e Jaiswal, 2024), ou seja, eles trazem uma extensa vantagem ecológica (Van Huis *et al.*, 2013).

No enquadramento PESTEL, o ecológico corresponde a questões do macroambiente como poluição, resíduos e mudanças climáticas; esses fatores podem impor custos, como controles de efluentes, mas também abrir oportunidades, como negócios de reciclagem e reuso de subprodutos, aplicáveis diretamente à cadeia de insetos (Whittington *et al.*, 2020).

Esse panorama abre margem para estudos dos insetos em modelos de agricultura circular urbana e periurbana (Sokame, Runyu e Tonnang, 2024), uso de resíduos orgânicos e

aproveitamento do frass (subproduto sólido da criação de insetos, composto por fezes, restos de alimento não digerido e resíduos de muda, com potencial de uso como biofertilizante) (Lisboa *et al.*, 2024; Muñoz-Seijas *et al.*, 2025), além do estímulo às biorrefinarias que usam insetos em processos verdes para produzir compostos de alto valor (Muñoz-Seijas *et al.*, 2025), o que potencializaria o uso de insetos de forma ecológica.

A sustentabilidade na produção de alimentos deve abranger três pilares: ambiental, social e econômico. Ou seja, os sistemas devem ser economicamente viáveis, lucrativos ao longo de toda a cadeia produtiva, socialmente responsáveis, por meio da geração de benefícios para as comunidades envolvidas, agricultores e trabalhadores, e ambientalmente sustentáveis, gerando impacto positivo ou, no mínimo, neutro sobre o meio ambiente (Aguilar-Toalá, Vidal-Limón e Liceaga, 2025). Dentro dessa lógica, e considerando fatores ambientais, o desempenho ambiental dos insetos apresenta indicadores superiores aos da pecuária tradicional, principalmente em relação à menor emissão de gases de efeito estufa (GEE), menor emissão de amônia, baixo uso de água e terra e maior conversão alimentar (Conway, Jaiswal e Jaiswal, 2024; Lisboa *et al.*, 2024; Muñoz-Seijas *et al.*, 2025).

Segundo o PESTEL, esses resultados podem ser analisados em três frentes: (i) controle direto da poluição e de efluentes, incluindo a necessidade de processos limpos de produção; (ii) *stewardship*, isto é, responsabilidade pelo impacto ambiental ao longo de toda a cadeia, incluindo fornecedores, consumidores e descarte de embalagens e resíduos; e (iii) desenvolvimento sustentável, que implica garantir a continuidade da produção sem sobreexplorar recursos ou degradar ecossistemas (Whittington *et al.*, 2020).

Essa questão pode ser avaliada por meio da Análise de Ciclo de Vida Consagrada ao Ciclo (C-LCA), na qual são observados melhores resultados ambientais quando os insetos são alimentados com resíduos orgânicos de baixo valor econômico, e não com insumos que competem com cadeias consolidadas, como soja e farinha de peixe (Lisboa *et al.*, 2024; Muñoz-Seijas *et al.*, 2025). Essa vantagem se estende ao uso dos excrementos (frass) (Lisboa *et al.*, 2024; Muñoz-Seijas *et al.*, 2025), ao aproveitamento em diferentes cadeias de alimentos, destinados aos seres humanos e aos animais, o que amplia o leque de aplicações sustentáveis e contribui para reduzir a pressão sobre recursos convencionais, e à possibilidade de uso tecnológico em biorrefinarias que priorizem tecnologias verdes (Muñoz-Seijas *et al.*, 2025).

A ideia principal da biorrefinaria é separar o biomaterial dos insetos em subprodutos de alto valor agregado, como proteínas, lipídios, quitina e compostos bioativos, além do uso deles como material para biofertilizantes e bioplásticos, utilizando processos menos agressivos ao meio ambiente e que preservem melhor os compostos nutricionais (Muñoz-Seijas *et al.*, 2025).

Esses subprodutos possuem uso diversificado, inclusive para a quitina, que é matéria-prima para o desenvolvimento de biofilmes com propriedades antimicrobianas e proteção contra radiação UV (Muñoz-Seijas *et al.*, 2025).

Nesse contexto, o *stewardship* ambiental implica estabelecer indicadores de impacto ao longo da cadeia, incluindo substratos, energia, transporte, embalagem e descarte final dos produtos à base de insetos (Whittington *et al.*, 2020).

Dessa forma, a criação de insetos tem potencial para contribuir com a redução de desperdício, fechamento de ciclos de nutrientes e mitigação de impactos ambientais (Conway, Jaiswal e Jaiswal, 2024), sendo uma estratégia interessante, também, para integração em modelos de agricultura circular, especialmente em contextos urbanos e periurbanos (Sokame, Runyu e Tonnang, 2024). Um exemplo de integração inteligente foi estudado em uma análise de cenários na qual o sistema que integrava a criação de larva de mosca soldado negro, grilos, milho e aves num mesmo local se mostrou o mais produtivo e ecologicamente viável (Sokame, Runyu e Tonnang, 2024), destacando a importância da biodiversidade em sistemas futuros de criação.

Ainda conforme o PESTEL, a relevância de cada tema ecológico depende do grau de certeza científica, da visibilidade social e da emotividade associada. No caso dos insetos, odores de criações, escapes para o ambiente ou riscos à fauna local podem se tornar particularmente visíveis e sensíveis em contextos urbanos (Whittington *et al.*, 2020).

Contudo, como em qualquer tipo de produção, é necessária uma ação ecológica efetiva de diversos órgãos públicos e privados, pois a produção de insetos pode causar problemas ambientais. Um exemplo é o risco de extinção e sobre-exploração de espécies selvagens de insetos consumidos, sendo uma proposta de resolução a criação de micro reservas e o incentivo à ciência cidadã para conservação de insetos (Ochieng e Egonyu, 2025). Esse caso mostra a necessidade de que, ao se implementar insetos como forma de alimentação, diferentes consequências ambientais podem surgir, exigindo interferência externa humana para a manutenção do ecossistema afetado.

Além disso, a saliência das questões ecológicas aumenta em campos organizacionais com reguladores ativos, ONGs influentes e redes produtivas interconectadas, que tornam mais difícil ocultar impactos negativos e aumentam a pressão por conformidade (Whittington *et al.*, 2020).

Outra recomendação de conservação ambiental se refere ao enfoque que cada país deve adotar, dependendo de suas condições, para o desenvolvimento industrial de insetos de forma sustentável. Enquanto regiões desenvolvidas devem se preocupar com questões ambientais

relacionadas à conservação, legislação, áreas protegidas e monitoramento ecológico, regiões em desenvolvimento podem valorizar o aproveitamento alimentar e os saberes tradicionais sobre manejo de habitats, sazonalidade e coleta seletiva, utilizando os insetos como forma de melhorar a qualidade de vida dos cidadãos locais (Ochieng e Egonyu, 2025). Além disso, devido ao risco associado à criação restrita a poucas espécies e à possível extinção de espécies locais, é importante a criação de micro reservas ambientais específicas para insetos, especialmente em regiões tropicais, bem como programas de ciência cidadã e monitoramento participativo que valorizem o conhecimento indígena sobre as espécies locais (Ochieng e Egonyu, 2025). Esse alinhamento atende ao critério de desenvolvimento sustentável, garantindo que o aproveitamento dos insetos não comprometa a renovação dos recursos naturais nem a continuidade intergeracional dos sistemas (Whittington *et al.*, 2020).

Outros problemas importantes incluem aspectos de ordem tecnológica, como a falta de pesquisas sobre impactos ecológicos em escalas de produção industrial; de ordem legislativa, como a ausência de regulamentações para quitina, frass e insetos adultos (Muñoz-Seijas *et al.*, 2025); e de ordem política, como a carência de políticas públicas que incentivem sistemas integrados de agricultura, pecuária e insetos, com suporte técnico, crédito, educação e estímulo à bioeconomia e à economia circular (Muñoz-Seijas *et al.*, 2025; Sokame, Runyu e Tonnang, 2024).

Do ponto de vista estratégico, responder a pressões ecológicas não apenas reduz riscos, mas pode reforçar legitimidade junto a consumidores e reguladores e até criar vantagem competitiva por meio de redução de custos e diferenciação em mercados de “produtos verdes” (Whittington *et al.*, 2020).

5.6 FATORES LEGISLATIVOS:

Do ponto de vista do PESTEL, o elemento “Legal” abrange um conjunto amplo de temas, incluindo legislação trabalhista, ambiental e de defesa do consumidor, requisitos fiscais e de reporte, bem como regras de propriedade, concorrência e governança corporativa. Mudanças regulatórias podem abrir oportunidades de mercado por meio de regulação e harmonização, mas também impor custos e restrições à operação e à entrada de novos atores (Whittington *et al.*, 2020).

Em relação à legislação, a falta de normas globais dificulta o controle, a padronização e a expansão do setor (Caparros Megido *et al.*, 2024; Carvalho, Teixeira e Barbosa, 2025; Okaiyeto *et al.*, 2024). Isso pode ser observado tanto em regiões que já possuem alguma regulamentação, como a Europa, quanto em países que ainda carecem de normas específicas,

como o Brasil. Na Europa, a regulamentação sobre insetos comestíveis foi lenta e só se consolidou com o Regulamento (UE) 2015/2283 (Meijer *et al.*, 2025; Siddiqui *et al.*, 2024), sendo ainda falha em alguns aspectos, por exemplo, por não contemplar critérios claros de bem-estar animal e limites específicos para resíduos de pesticidas (Meijer *et al.*, 2025).

Fora da Europa, fatores como a ausência de certificações e de sistemas de rastreabilidade comprometem a segurança dos produtos e a estabilidade jurídica do setor (Carvalho, Teixeira e Barbosa, 2025; Okaiyeto *et al.*, 2024; Safavi *et al.*, 2024). No caso do Brasil, a inexistência de uma legislação federal específica para consumo humano, somada à dependência de normas estaduais, limita significativamente o desenvolvimento da cadeia produtiva (Costa *et al.*, 2021). Esse panorama reforça a necessidade de uma regulamentação global que alinhe práticas sustentáveis e garanta a confiabilidade dos produtos ao longo da cadeia (Varelas, 2023). Tal regulamentação torna-se ainda mais importante diante de fatores como a ausência de boas práticas de fabricação, a baixa padronização na criação de insetos e a lentidão nos processos regulatórios, os quais podem aumentar diretamente ou indiretamente a desconfiança dos consumidores em relação aos produtos à base de insetos (Colamatteo, Bravo e Cappelli, 2025; Okaiyeto *et al.*, 2024; Siddiqui *et al.*, 2024).

O histórico regulatório europeu mostrou-se lento e complexo. Antes de 2020, havia incertezas sobre o enquadramento legal de insetos inteiros no Regulamento (CE) n.º 258/97, situação sanada quando o Tribunal de Justiça da União Europeia decidiu que insetos inteiros não estavam contemplados, levando à atualização com o Regulamento (UE) 2015/2283, que passou a incluir explicitamente insetos inteiros e suas partes como alimentos novos (Meijer *et al.*, 2025; Siddiqui *et al.*, 2024). Os principais objetivos do novo regulamento foram acelerar as autorizações, harmonizar legislações e estabelecer parâmetros claros para submissão de dossiês técnicos com estudos microbiológicos, físico-químicos e informações do processo produtivo, avaliados pela EFSA, culminando na inclusão do alimento na Lista de Novel Foods da União Europeia (Meijer *et al.*, 2025; Siddiqui *et al.*, 2024).

Também foram definidos padrões para registro sanitário, aplicação de HACCP, boas práticas de fabricação e restrições ao uso de substratos, proibindo esterco, resíduos urbanos e carne, mas permitindo resíduos vegetais, derivados de leite, mel e sangue de animais não ruminantes, bem como o frass que pode ser comercializado como fertilizante desde que tratado termicamente e livre de microrganismos patogênicos (Meijer *et al.*, 2025). A rotulagem deve indicar o nome científico da espécie, a forma de processamento e alertas para alergênicos, especialmente para consumidores sensíveis a crustáceos, moluscos e ácaros (Meijer *et al.*, 2025). Contudo, a legislação europeia não aborda aspectos como bem-estar animal ou limites

específicos para resíduos de pesticidas ou outros contaminantes químicos, adotando parâmetros gerais aplicados a outros alimentos, o que pode aumentar riscos de bioacumulação não monitorada (Meijer *et al.*, 2025).

Fora da Europa, a ausência de legislações específicas, sistemas de certificação internacional e rastreabilidade dos substratos compromete a segurança e a estabilidade jurídica do setor (Carvalho, Teixeira e Barbosa, 2025; Okaiyeto *et al.*, 2024; Safavi *et al.*, 2024). Essa fragilidade regulatória, somada à apresentação dos produtos em forma de pó, favorece fraudes como substituição de espécies, uso de insetos selvagens vendidos como de criação, mistura com farinhas vegetais não declaradas, utilização de substratos proibidos e rotulagem inadequada (Fuso *et al.*, 2024). Essas práticas aumentam os riscos sanitários, incluindo micotoxinas, metais pesados, contaminantes biológicos e alergênicos não informados (Fuso *et al.*, 2024). Além disso, a falta de rastreamento robusto dificulta identificar a origem de contaminações, como demonstrado em casos em que produtos rotulados apenas como “gafanhoto” revelaram-se, por análise de DNA, *Locusta migratoria*, espécie não tão usada em fazendas e provavelmente selvagem (Fuso *et al.*, 2024).

No Brasil, não há legislação clara e específica para regulamentar a produção e o consumo de insetos como alimento, o que dificulta a criação e a expansão dos processos legislativos. A Resolução CONAMA n.º 489/2018 estabelece diretrizes gerais, mas as normativas podem variar conforme autoridades locais; produtores que pretendem capturar espécimes da fauna silvestre devem procurar a Secretaria de Agricultura de seu estado para atender à legislação vigente (Costa *et al.*, 2021).

Por fim, é crucial reconhecer o caráter transversal do marco regulatório em relação às demais dimensões do PESTEL. O “Legal” interage com o Político ao definir arranjos institucionais e o papel do Estado, com o Econômico ao moldar custos de conformidade, incentivos e tributação, com o Social ao incorporar normas e expectativas de consumidores e trabalhadores, com o Tecnológico ao exigir padrões de qualidade, rastreabilidade e reporte de dados, e com o Ecológico ao operacionalizar controles de poluição, gestão de resíduos e critérios de sustentabilidade. Em síntese, a viabilidade e a escalabilidade do setor de insetos dependem de um plano regulatório que, além de claro e harmonizado, seja coerente com as normas informais e com a variedade de capitalismo local, pois é esse conjunto que determina as possibilidades de entrada, competitividade e legitimidade no mercado (Whittington *et al.*, 2020).

5.7 KEY DRIVERS FOR CHANGE

No PESTEL, os *key drivers for change* são os fatores do macroambiente com maior probabilidade de impactar o setor e decidir o sucesso ou fracasso das estratégias. Eles servem para “traduzir” o ambiente amplo para o nível setorial, evitando listas extensas e ajudando a focar no que realmente muda o o panorama geral (Whittington *et al.*, 2020). Em análise de cenários, esses drivers são usados para explorar caminhos plausíveis de futuro sob alta incerteza, com o objetivo de aprender, não de prever, mantendo uma visão aberta para alternativas (Whittington *et al.*, 2020). Com base na análise PESTEL realizada neste estudo, foram identificados os principais *key drivers for change*, os quais serão abordados a seguir.

- **Politicamente**, o *driver* é a atenção e coordenação governamental, incluindo a integração entre países. Importa porque define ritmo de políticas, cooperação internacional, compras públicas e coerência entre órgãos; quando alto, reduz barreiras e acelera a adoção; quando baixo, fragmenta e encarece a entrada.
- **Economicamente**, o *driver* é a escalonamento industrial. Importa porque a passagem para larga escala determina custo unitário, viabilidade de contratos Business to Business (B2B) e competitividade de preço; sem escala, o setor fica restrito a nichos e margens voláteis.
- **Socialmente**, o *driver* é a aceitação do consumidor em relação aos insetos. Importa porque legitima a categoria, sustenta distribuição e repetição de compra; rejeição ou aceitação morna travam o portfólio e inibem investimentos mesmo quando tecnologia e custo estão favoráveis.
- **Tecnicamente**, o *driver* é o ritmo de inovação tecnológica. Importa porque automação, qualidade de substratos, rastreabilidade e biorrefinaria afetam produtividade, segurança e diferenciação; inovação lenta expõe o setor a imitadores e pressão de margem.
- **Ecologicamente**, o *driver* é o desempenho ambiental comprovado. Importa porque evidências robustas (LCA, uso de água/solo/energia, gestão do frass) sustentam a narrativa de sustentabilidade, habilitam financiamentos verdes e reduzem risco reputacional.
- **Legalmente**, o *driver* é a maturidade regulatória. Importa porque marcos claros e harmonizados reduzem incerteza, definem substratos permitidos, rotulagem, HACCP e rastreabilidade; lacunas e ambiguidade elevam risco jurídico e travam escala. O marco regulatório é transversal: condiciona custos (Econômico), viabiliza tecnologias (Tecnológico), molda legitimação social (Social), operacionaliza metas ambientais

(Ecológico) e depende de vontade e coordenação política (Político) (Whittington *et al.*, 2020).

Em síntese, esses seis *drivers* concentram alto impacto e alta incerteza para o setor de insetos comestíveis. Eles orientam onde alocar atenção gerencial agora e servem de base para, na etapa seguinte, estruturar uma análise de cenários que explore combinações plausíveis desses motores de mudança (Whittington *et al.*, 2020).

6. CONCLUSÃO

A partir dos resultados, foi possível identificar as principais barreiras existentes para a difusão de produtos à base de insetos e possíveis soluções propostas na literatura.

No que tange os aspectos políticos, observa-se a falta de políticas públicas específicas para fomentar uma maior articulação entre centros de pesquisa e empresas, no sentido de aumentar inovações tecnológicas na cadeia de produção de insetos para alimentos.

Fatores econômicos também se constituem em barreiras, como a baixa escala de produção e o alto custo de possíveis produtos, o que dificulta a competitividade frente a outras fontes tradicionais de alimento, principalmente as proteicas. No entanto, o potencial econômico produtivo existe, e pode ser desenvolvido por meio de investimentos na cadeia produtiva e na infraestrutura tecnológica.

Do ponto de vista social, barreiras culturais, como a falta de identificação e o sentimento de nojo, dificultam a aceitação, especialmente no Ocidente. Essas resistências podem ser superadas por meio de ações de educação alimentar, respeito às culturas locais e campanhas de conscientização estratégias fundamentais para promover a aceitação de produtos com pó de inseto. Tais questões se articulam com os desafios tecnológicos, que ainda limitam a padronização, a escalabilidade, a aceitação sensorial (aparência, aroma, sabor, textura) e a aceitação cultural. Assim, torna-se urgente o aumento de investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D), com foco em melhorar as características dos produtos e ampliar o aproveitamento nutricional dos insetos.

Contudo, os avanços tecnológicos não devem obscurecer um dos principais argumentos favoráveis ao uso de insetos, os ecológicos. O uso reduzido de recursos naturais e a menor emissão de gases de efeito estufa devem caminhar lado a lado com o desenvolvimento tecnológico, orientando soluções sustentáveis para novos produtos.

Por fim, no campo legislativo, embora já existam avanços, como na União Europeia, ainda é necessária uma maior integração internacional. A regulamentação deve antecipar riscos e considerar aspectos ecológicos, tecnológicos e sociais, evitando problemas como as fraudes. A partir da análise PESTEL, delinear-se fatores gerais com incidência global e especificidades nacionais; no Brasil, a ausência de marcos regulatórios consolidados e de coordenação intersetorial ainda limita o debate e a operacionalização do tema.

Este estudo apresenta limitações inerentes ao seu escopo: caráter predominantemente documental e sintético, ausência de validações em bancada e de análises aprofundadas de desempenho técnico-econômico, além de uma base bibliográfica em parte recente e em

consolidação, especialmente no campo regulatório. Assim, os resultados devem ser lidos como um ponto de partida para agendas futuras que priorizem padronização de processos, validação e rastreabilidade, desenho e melhoria de produtos, protocolos de segurança e qualidade, escalonamento industrial e harmonização normativa. Em termos de pesquisa e desenvolvimento, recomenda-se foco em tecnologias de criação e processamento, com ênfase na reprodutibilidade e na comparação entre métodos, de modo a gerar produtos mais estáveis e competitivos e, por consequência, favorecer a consolidação dos insetos comestíveis no mercado alimentar.

7. REFERÊNCIAS

AGUILAR-TOALÁ, J. E.; VIDAL-LIMÓN, A. M.; LICEAGA, A. M. Advancing Food Security with Farmed Edible Insects: Economic, Social, and Environmental Aspects. **Insects**, v. 16, n. 1, p. 67, 2025.

BARROSO, F. G. et al. **The potential of various insect species for use as food for fish.** **Aquaculture**, v. 422–423, p. 193–201, 2014.

BHATIA, N. K.; YOUSUF, M. Forest Insect Industry in Collaborative Forest Management: An Overview. **International Journal of Industrial Entomology**, v. 27, n. 1, p. 166–179, 2013.

BONYSANA, R. et al. **Ethno-entomotherapeutic and metabolite profiling of *Coridius chinensis* (Dallas), a traditional edible insect species of North-East India.** **Scientific Reports**, v. 14, p. 6545, 2024.

BUKKENS, S. G. F. The Nutritional Value of Edible Insects. **Ecology of Food and Nutrition**, v. 36, n. 3, p. 287–319, 1997.

CAPARROS MEGIDO, R. et al. A worldwide overview of the status and prospects of edible insect production. **Entomologia Generalis**, v. 44, n. 1, p. 3–27, 2024.

CAPPELLI, A. et al. Insects as food: A review on risks assessments of Tenebrionidae and Gryllidae in relation to a first machines and plants development. **Food Control**, v. 113, p. 107–118, 2020.

CARCEA, M.; NARDUCCI, V.; TURFANI, V. **Consumer Attitudes towards Insects as Food.** In: GRASSO, S.; BORDIGA, M. (Ed.). **Edible Insects Processing for Food and Feed: From Startups to Mass Production.** 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2023. p. [s.p.]

CARVALHO, T. B. de; TEIXEIRA, P.; BARBOSA, J. B. Edible insects and food safety: providing scientific insights for the agro-food sector. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, **Epub ahead of print.** p. 1–26, 2025.

CERRITOS, R. Insects as Food: An Ecological, Social and Economical Approach. **CAB Reviews**, v. 4, n. 027, 2009.

CHEN, X.; FENG, Y.; CHEN, Z. Common edible insects and their utilization in China. **Entomological Research**, v. 39, n. 5, p. 299–303, 2009.

COLAMATTEO, I.; BRAVO, I.; CAPPELLI, L. Insect-based food products: A scoping literature review. **Food Research International**, v. 200, p. 115355, 2025.

COLLINS, C. M.; VASKOU, P.; KOUNTOURIS, Y. Insect Food Products in the Western World: Assessing the Potential of a New “Green” Market. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 112, n. 6, p. 518–528, 2019.

CONWAY, A.; JAISWAL, S.; JAISWAL, A. K. The Potential of Edible Insects as a Safe, Palatable, and Sustainable Food Source in the European Union. **Foods**, v. 13, n. 3, p. 387, 2024.

COSTA, D. V. et al. **Insetos para alimentação animal no Brasil: aspectos de produção e regulatórios**. São Paulo: Alexa Cultural, 2021. (Organizadores: Ricardo Moreira Calil; Luciana Lacerda Pereira Santos).

DENMARK. Ministry of Food, **Agriculture and Fisheries**. [S.l.]: [s.n.], [s.d.]. Disponível em: <https://en.fvm.dk/publications>. Acesso em: 4 set. 2025.

DIENER, S. et al. Biological Treatment of Municipal Organic Waste Using Black Soldier Fly Larvae. **Waste and Biomass Valorization**, v. 2, n. 4, p. 357–363, 2011.

DOI, H.; MULIA, R. N. Future land use for insect meat production among countries: A global classification. **Frontiers in Nutrition**, v. 8, p. 661056, 2021.

DOSSEY, A. T.; TATUM, J. T.; MCGILL, W. L. Modern Insect-Based Food Industry: Current Status, Insect Processing Technology, and Recommendations Moving Forward. In: DOSSEY, A. T.; MORALES-RAMOS, J. A.; ROJAS, M. G. (Ed.). **Insects as Sustainable Food Ingredients**. [S.l.]: Academic Press, 2016. p. 113–152.

DUNKEL, F. V.; PAYNE, C. Introduction to Edible Insects. In: DOSSEY, A. T.; MORALES-RAMOS, J. A.; ROJAS, M. G. (Ed.). **Insects as Sustainable Food Ingredients: Production, Processing and Food Applications**. San Diego: Academic Press/Elsevier, 2016. p. 1–27.

FAO. **Contribution des insectes de la forêt à la sécurité alimentaire: L'exemple des chenilles d'Afrique Centrale**. Roma: FAO, 2004. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/007/j3463f/j3463f00.htm>. Acesso em: 4 set. 2025.

FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO. **The State of Food Security and Nutrition in the World 2024 – Financing to end hunger, food insecurity and malnutrition in all its forms**. Rome: FAO, 2024. DOI: 10.4060/cd1254en.

FATIMA, N. et al. Recent advances in microalgae, insects, and cultured meat as sustainable alternative protein sources. **Food and Humanity**, v. 1, p. 731–741, 2023.

FENG, Y. **Utilization and prospect of edible insects**. In: FENG, Y.; CHEN, X.; ZHAO, M. (Ed.). **Edible Insects of China**. Beijing: Science Press, 2016a. p. 100–106.

FENG, Y. **Edible insects of China**. In: FENG, Y.; CHEN, X.; ZHAO, M. (Ed.). **Edible Insects of China**. Beijing: Science Press, 2016b. p. 107.

FENG, Y. Edible insects in China: Utilization and prospects. **Insect Science**, v. 25, n. 2, p. 184–198, 2018.

FULLER, G. W. **New food product development: from concept to marketplace**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2004.

FUSO, A. et al. Novel foods/feeds and novel frauds: The case of edible insects. **Trends in Food Science & Technology**, v. 147, p. 104457, 2024.

GAHUKAR, R. T. **Edible Insects Farming: Efficiency and Impact on Family Livelihood, Food Security, and Environment Compared with Livestock and Crops**. In: DOSSEY, A. T.; MORALES-RAMOS, J. A.; ROJAS, M. G. (Ed.). **Insects as Sustainable Food**

Ingredients: Production, Processing and Food Applications. San Diego: Academic Press (Elsevier), 2016.

GALLÈ, F. et al. Changing Food in a Changing World: Assessing Compliance to Insects, Cultivated Meat, and Soil-Less Products Among Italian Undergraduates. **Nutrients**, v. 17, n. 5, p. 909, 2025.

GOVORUSHKO, S. Global status of insects as food and feed source: A review. *Trends in Food Science & Technology*, v. 91, p. 436–445, 2019.

HALLORAN, A. et al. The Development of the Edible Cricket Industry in Thailand. **Journal of Insects as Food and Feed**, 2016. p. [s.p.]

HALLORAN, A.; MÜNKE, C. **Discussion Paper: Regulatory Frameworks Influencing Insects as Food and Feed**. [S.l.]: [s.n.], 2014.

HANBOONSONG, Y.; JAMJANYA, T.; DURST, P. B. **Six-legged Livestock: Edible insect farming, collection and marketing in Thailand**. Bangkok: FAO Regional Office for Asia and the Pacific, 2013.

HOVORKA, A.; DE ZEEUW, H.; NJENGA, M. (Ed.). **Women Feeding Cities: Mainstreaming Gender in Urban Agriculture and Food Security**. Rugby: Practical Action Publishing, 2009.

HUIS, A. VAN et al. **Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security**. Rome: FAO, 2013.

HUIS, A. VAN et al. Nutrition and health of edible insects. **Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care**, v. 23, n. 3, p. 228–231, 2020.

HUIS, A. VAN; OONINCX, D. G. A. B. The environmental sustainability of insects as food and feed: A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 37, n. 5, p. 43, 2017.

HUSSEIN, M. et al. Sustainable production of housefly (*Musca domestica*) larvae as a protein-rich feed ingredient by using cattle manure. **PLOS ONE**, v. 12, n. 2, p. e0171708, 2017.

JIDEANI, A. I. O.; NETSHIHENI, R. K. **Selected Edible Insects and Their Products in Traditional Medicine, Food and Pharmaceutical Industries in Africa: Utilisation and Prospects**. In: MIKKOLA, H. (Ed.). *Future Foods*. London: IntechOpen, 2017. p. 55–69.

JOHNSON, G.; SCHOLLES, K.; WHITTINGTON, R. **Exploring Corporate Strategy: Text and Cases**. 7. ed. Harlow: Financial Times Prentice Hall/Pearson Education, 2005.

JONGEMA, Y. **List of edible insect species of the world**. 2017. Disponível em: <https://www.wur.nl/en/Research-Results/Chair-groups/Plant-Sciences/Laboratory-of-Entomology/Edible-insects/Worldwide-species-list.htm>. Acesso em: 4 set. 2025.

KŁOBUKOWSKI, F.; ŚMIECHOWSKA, M.; SKOTNICKA, M. Edible insects from the perspective of sustainability—A review of the hazards and benefits. **Foods**, v. 14, n. 8, p. 1382, 2025.

KOK, R.; HUIS, A. VAN. **Insect food in space.** *Journal of Insects as Food and Feed*, v. 7, n. 1, p. 1–4, 2021.

KOOPS, K. et al. Chimpanzees prey on army ants at Seringbara, Nimba Mountains, Guinea: predation patterns and tool use characteristics. *American Journal of Primatology*, v. 77, n. 3, p. 319–329, 2015.

LESNIK, J. J. Bone tool texture analysis and the role of termites in the diet of South African hominids. *PaleoAnthropology*, p. 268–281, 2011.

LISBOA, H. M. et al. Unlocking the Potential of Insect-Based Proteins: Sustainable Solutions for Global Food Security and Nutrition. *Foods*, v. 13, n. 12, p. 1846, 2024.

LIU, M. Brief introduction to Chinese insect-associated folklore culture. *Agricultural Archaeology*, v. 1, p. 237–244, 2021.

LIU, M.; ZHAI, R. The history and industrial development of edible insect culture in China. *Agricultural Archaeology*, v. 3, p. 223–232, 2017.

LOOY, H.; DUNKEL, F. V.; WOOD, J. R. How then shall we eat? Insect-eating attitudes and sustainable foodways. *Agriculture and Human Values*, v. 31, p. 131–141, 2014.

LUNDY, M. E.; PARRELLA, M. P. Crickets are not a free lunch: Protein capture from scalable organic side-streams via high-density populations of *Acheta domesticus*. *PLOS ONE*, v. 10, n. 4, p. e0118785, 2015.

MAJEED, W. et al. **Mass Production Technologies.** In: GRASSO, S.; BORDIGA, M. (Ed.). *Edible insects processing for food and feed: from startups to mass production*. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2023. p. 181–186.

MARONE, P. A. **Food Safety and Regulatory Concerns.** In: DOSSEY, A. T.; MORALES-RAMOS, J. A.; ROJAS, M. G. (Ed.). *Insects as Sustainable Food Ingredients*. [S.l.]: Academic Press, 2016. p. 203–221.

MCGREW, W. C. **The “other faunivory” revisited: insectivory in human and non-human primates and the evolution of human diet.** *Journal of Human Evolution*, v. 71, p. 4–11, 2014.

MEIJER, N. et al. **Review: European Union legislation and regulatory framework for edible insect production – Safety issues.** *Animal*, p. 101468, 2025.

MIKULEC, A. T. et al. Attitudes and purchase intentions of Polish university students towards food made from insects—A modelling approach. *PLOS ONE*, v. 19, n. 3, p. e0300871, 2024.

MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES (Brasil). **Políticas Nacionais de Ciência e Tecnologia** 2025. [Brasília]: MRE, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mre/pt-br/assuntos/ciencia-tecnologia-e-inovacao/diplomacia-da-inovacao>. Acesso em: 4 set. 2025.

MORUZZO, R. et al. Exploring the Acceptance of Entomophagy: A Survey of Italian Consumers. *Insects*, v. 12, n. 2, p. 123, 2021.

- MÜLLER, A. et al. **Entomophagy and Power**. [S.l.]: [s.n.], 2015.
- MÜLLER, A. et al. Entomophagy and power. **Journal of Insects as Food and Feed**, 2016. p. [s.p.]
- MUÑOZ-SEIJAS, N. et al. Recent advances in biorefinery of *Tenebrio molitor* adopting green technologies. **Food and Bioprocess Technology**, v. 18, p. 1061–1078, 2025.
- NADEAU, L. et al. The Potential for Entomophagy to Address Undernutrition. **Ecology of Food and Nutrition**, v. 54, n. 3, p. 200–208, 2015.
- NASEEM, R. et al. Edible Insect Farming. In: GRASSO, S.; BORDIGA, M. (Ed.). **Edible Insects Processing for Food and Feed: From Startups to Mass Production**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2023. p. 109–126.
- NIU, L. et al. **The Role of Insects for Nature and Humans**. In: GRASSO, S.; BORDIGA, M. (Ed.). **Edible Insects Processing for Food and Feed: From Startups to Mass Production**. [S.l.]: CRC Press, 2023. p. [s.p.]
- OCHIENG, H.; EGONYU, J. P. Contemporary and traditional practices towards the conservation and management of edible insects across the globe: a review. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 45, n. 1, p. 1–20, 2025.
- OJHA, S.; BUSSLER, S.; SCHLÜTER, O. K. Food waste valorisation and circular economy concepts in insect production and processing. **Waste Management**, v. 118, p. 600–609, 2020.
- OKAIYETO, S. A. How to enhance the acceptability of insects food—A review. **Food Frontiers**, v. 5, n. 2, p. 311–328, 2024. [Também citado como: OKAIYETO, S. A., 2024 (duplicata idêntica).]
- ONWEZEN, M. C. et al. Consumer acceptance of insects as food and feed: The relevance of affective factors. **Food Quality and Preference**, v. 87, p. 104–117, 2021.
- PAOLETTI, M. G.; DREON, A. L. **Minilivestock, environment, sustainability, and local knowledge disappearance**. In: PAOLETTI, M. G. (Ed.). **Ecological Implications of Minilivestock: Potential of Insects, Rodents, Frogs and Snails**. Boca Raton: CRC Press, 2005. p. 1–18.
- PASTELL, H. et al. Nutritional composition and safety of farmed house crickets (*Acheta domesticus*). **Food Chemistry**, v. 359, p. 129909, 2021.
- PSARIANOS, M.; AGHABABAEI, F.; SCHLÜTER, O. K. Bioactive compounds in edible insects: Aspects of cultivation, processing and nutrition. **Food Research International**, v. 203, p. 115802, 2025.
- RAHEEM, D. et al. Traditional Consumption of and Rearing Edible Insects in Africa, Asia and Europe. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 14, p. 2169–2188, 2019.

RIBEIRO, J. C. et al. Insects as food and feed in Portugal and Norway – Cross-cultural comparison of determinants of acceptance. **Food Quality and Preference**, v. 96, p. 104412, 2022.

RINAUDO, M. Chitin and chitosan: properties and applications. **Progress in Polymer Science**, v. 31, n. 7, p. 603–632, 2006.

RISTIC, D.; SMETANA, S.; HEINZ, V. Subsequent Processing of Insects. In: GRASSO, S.; BORDIGA, M. (Ed.). *Edible insects processing for food and feed: from startups to mass production*. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2023. p. 261–268.

ROTHMAN, J. M. et al. Nutritional contributions of insects to primate diets: implications for primate evolution. **Journal of Human Evolution**, v. 71, p. 59–69, 2014.

RUMPOLD, B. A.; SCHLÜTER, O. K. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 57, n. 5, p. 802–823, 2013.

SAFAVI, A. et al. **Insect Production: A Circular Economy Strategy in Iceland. Sustainability**, v. 16, n. 20, art. 9063, 2024.

SANZ, C. M.; SCHÖNING, C.; MORGAN, D. B. Chimpanzees prey on army ants with specialized tool set. **American Journal of Primatology**, v. 72, n. 1, p. 17–24, 2010.

SATHE, T. V. et al. Sucking Insect Pests and Medicinal Value of Tulsi (*Ocimum sanctum* L.) (Lamiaceae). **Indian Journal of Applied Research**, v. 4, n. 3, p. 31–33, 2011.

SCHEWE, C. D.; HIAM, A. MBA: **curso prático – marketing**. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

SIDDIQUI, S. A. et al. Acheta domesticus (house cricket) as human foods: An approval of the European Commission – A systematic review. **Food Frontiers**, v. 5, n. 1, 2024. [Também citado como: SIDDIQUI, S. A.; OTHERS, 2024.]

SINGLA, A. K.; CHAWLA, M. Chitosan: some pharmaceutical and biological aspects—an update. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 53, n. 8, p. 1047–1067, 2001.

SOKAME, B. M.; RUNYU, J. C.; TONNANG, H. E. Z. Integrating edible insect into circular agriculture for sustainable production. **Sustainable Production and Consumption**, v. 52, p. 80–94, 2024.

SUN-WATERHOUSE, D. et al. Transforming insect biomass into consumer wellness foods: A review. **Food Research International**, v. 89, p. 129–151, 2016.

TANG, C. et al. Edible insects as a food source: a review. *Food Production, Processing and Nutrition*, v. 1, n. 1, p. 1–13, 2019.

TAO, J.; LI, Y. O. Edible insects as a means to address global malnutrition and food insecurity issues. **Food Quality and Safety**, v. 2, n. 1, p. 17–26, 2018.

TUCCILLO, F.; MARINO, M. G.; TORRI, L. Italian consumers' attitudes towards entomophagy: Influence of human factors and properties of insects and insect-based food. **Food Research International**, v. 137, p. 109619, 2020.

UMMARA, U. E. et al. **Market Potential and Statistics on Current Insect Consumption as Food**. In: GRASSO, S.; BORDIGA, M. (Ed.). *Edible Insects Processing for Food and Feed: From Startups to Mass Production*. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2023. p. 289–297.

VARELAS, V. **Future Challenges for a Sustainable Edible Insect Industry**. In: GRASSO, S.; BORDIGA, M. (Ed.). *Edible Insects Processing for Food and Feed: From Startups to Mass Production*. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2023. p. 311–320.

WANG, Z.; PARK, J. Japanese-made or Chinese-made? Exploring the country-of-origin (COO) effect on insect-based foods. **Food Quality and Preference**, p. 105421, 2025.

WEISSMAN, D. B. et al. **Billions and Billions Sold: Pet-Feeder Crickets (Orthoptera: Gryllidae), Commercial Cricket Farms, an Epizootic Densovirus, and Government Regulations Make for a Potential Disaster**. *Zootaxa*, v. 3504, p. 67–88, 2012.

WHITEN, A.; HORNER, V.; DE WAAL, F. B. M. Conformity to cultural norms of tool use in chimpanzees. *Nature*, v. 437, n. 7059, p. 737–740, 2005.

WHITTINGTON, R.; REGNÉR, P.; ANGWIN, D.; JOHNSON, G.; SCHOLLES, K. **Exploring Strategy: Text and Cases**. 12. ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2020. ISBN 978-1-292-28245-9.

XIE, B. et al. Research Progress and Production Status of Edible Insects as Food in China. **Foods**, v. 13, n. 13, p. 1986, 2024.

YI, C. et al. The utilization of insect-resources in Chinese rural area. **Journal of Agricultural Science**, v. 2, n. 3, p. 146–154, 2010.

ZEZZA, A.; TASCIOTTI, L. Urban agriculture, poverty, and food security: empirical evidence from a sample of developing countries. **Food Policy**, v. 35, n. 4, p. 265–273, 2010.

ZHAO, R. **A History of Food Culture in China**. Singapore: World Scientific, 2015.

ZHU, F. X. et al. Rapid Production of Maggots as Feed Supplement and Organic Fertilizer by the Two-Stage Composting of Pig Manure. **Bioresource Technology**, v. 116, p. 485–491, 2012.

ZOU, X. et al. Applications of insect nutrition resources in animal production. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 15, p. 100966, 2024.