

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Carolina Xavier de Andrade Pinto

**Extração lipídica da biomassa de *Tenebrio molitor* por fluido supercrítico:
Índices de peróxido e acidez**

Florianópolis

2022

Carolina Xavier de Andrade Pinto

**Extração lipídica da biomassa de *Tenebrio molitor* por fluido supercrítico:
Índices de peróxido e acidez**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano José de Andrade

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Pinto, Carolina Xavier de Andrade

Extração lipídica da biomassa de tenebrio molitor por
fluido supercrítico : Índices de peróxido e acidez / Carolina
Xavier de Andrade Pinto ; orientador, Cristiano José de
Andrade, 2022.

73 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia de Alimentos. 2. Engenharia de Alimentos.
3. Extração Supercrítica. 4. Óleo de inseto. 5. Análise
Experimental. I. José de Andrade, Cristiano. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia de Alimentos. III. Título.

Carolina Xavier de Andrade Pinto

**Extração lipídica da biomassa de *Tenebrio molitor* por fluido supercrítico:
Índices de peróxido e acidez**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia de Alimentos.

Florianópolis, 22 DE MARÇO DE 2022



Documento assinado digitalmente
Joao Borges Laurindo
Data: 01/04/2022 12:11:10-0300
CPF: 052.167.828-50
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. João Borges Laurindo

Coordenador do Curso

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
Cristiano Jose de Andrade
Data: 01/04/2022 09:25:48-0300
CPF: 311.875.168-13
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Cristiano José de Andrade

Orientador



Documento assinado digitalmente
Acacio Antonio Ferreira Zielinski
Data: 01/04/2022 10:02:09-0300
CPF: 064.852.709-30
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Acácio Ferreira Zielinski

Avaliador UFSC



Documento assinado digitalmente
Luiz Gustavo Goncalves Rodrigues
Data: 01/04/2022 09:32:08-0300
CPF: 000.970.570-88
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Dr. Luiz Gustavo Rodrigues

Pós-Doutorando UFSC

Este trabalho é dedicado aos meus pais,
Claudia e Roberto, meus irmãos, Gabriel e
Gustavo, e ao departamento de Eng. Química
e Eng. de Alimentos da UFSC.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Claudia e Roberto, por todo o apoio, amor e incentivo incondicional. Aos meus irmãos, Gabriel e Gustavo, que além do suporte, serviram como válvula de escape, proporcionando momentos de descontração e incontáveis risadas.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Cristiano José de Andrade, pela oportunidade de executar este trabalho, por compartilhar seu conhecimento e por toda a sua dedicação demonstrada com muita paciência e gentileza.

Ao meus amigos, que ao segurarem minha mão nessa correria, me deram a força que faltava.

À Karina Cesca e Ana Claudia Rocha, por todo o conhecimento compartilhado, auxílio na realização dos experimentos assim como no ensinamento de que é possível estar com outras demandas e trabalhos no laboratório e ajudar outra pessoa com bom humor, paciência e dedicação.

À banca, Prof. Dr. Acácio Ferreira Zielinski e DSc. Luiz Gustavo Gonçalves Rodrigues pelas enriquecedoras contribuições.

A todos os professores do curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina que contribuíram para a minha formação.

Aos Laboratório Integrado de Engenharia Bioquímica (LIEB) e Laboratório de Termodinâmica e Tecnologia Supercrítica (LATESC) pelo espaço cedido para a realização dos experimentos.

A Universidade Federal de Santa Catarina pela estrutura física e qualidade de ensino.

“The secret, dear Alice, is to surround yourself with people who make your heart smile. It is then, only then, that you’ll find Wonderland.” – Lewis Carroll, *Alice in Wonderland*

RESUMO

Em virtude do crescimento populacional mundial é fundamental desenvolver fontes alternativas de alimentos como os insetos. Dentro dos insetos catalogados como comestíveis, *Tenebrio molitor* é um dos candidatos mais promissores, por apresentar elevado teor de proteínas e gorduras. O *T. molitor* é uma espécie de inseto pertencente à família dos Tenebrionidae, nativos da Europa e atualmente cultivado no mundo inteiro. Assim, a caracterização de ingredientes à base de insetos é extremamente relevante. Dentre os diferentes métodos de extração de óleos, pode-se destacar a extração supercrítica, um processo de separação a alta pressão, livre de resíduos tóxicos, que não provoca degradação térmica e que conserva as características organolépticas. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os parâmetros físico-químicos dos óleos de *T. molitor* extraídos via fluido supercrítico. Na extração supercrítica utilizou-se pressões de 200 e 300 bar, variando com temperaturas de 45 e 70 °C, durante 74 minutos. Os índices de acidez (IA) e peróxido (IP) foram avaliados experimentalmente com o objetivo de correlacionar a extração com a qualidade do óleo obtido. Foram obtidos valores de IA entre 63,823 a 99,248 mg KOH/g e IP entre 0,24 e 0,87 meq/kg. Logo, apesar dos altos valores de IA encontrados, devido aos altos valores de AGL presentes nos óleos, a biomassa de *T. molitor* pode ser efetivamente desengordurada usando scCO₂ a pressão entre 300 e 200 bar e temperatura de 45 a 70 °C.

Palavras-chave: *Tenebrio molitor*, óleo, extração supercrítica, índice de acidez, índice de peróxido, inseto comestível

ABSTRACT

Due to the world population growth it is essential to develop alternative food sources such as insects. Among the insects cataloged as edible, *Tenebrio molitor* is one of the most promising candidates, for its high content of protein and fat. *T. molitor* is a species of insect belonging to the Tenebrionidae family, native to Europe and currently cultivated worldwide. Thus, the characterization of insect-based ingredients is extremely relevant. Among the different methods of oil extraction, one can highlight supercritical extraction, a separation process at high pressure, free of toxic residues, which does not cause thermal degradation and preserves the organoleptic characteristics. Therefore, the objective of this work was to evaluate the physicochemical parameters of *T. molitor* oils extracted via supercritical fluid. In the supercritical extraction, pressures of 200 and 300 bar were used, varying with temperatures of 45 and 70 °C, for 74 minutes. The acid value (AI) and peroxide value (PI) were experimentally evaluated aiming to correlate the extraction with the quality of the oil obtained. AI values were obtained between 63.823 and 99.248 mg KOH/g and PI between 0.24 and 0.87 meq/kg. Therefore, despite the high values of AI found, due to the high values of AGL present in the oils, the biomass of *T. molitor* can be effectively defatted using scCO₂ at pressure between 300 and 200 bar and temperature of 45 to 70 °C.

Keywords: mealworm, oil, supercritical extraction, acid value, peroxide value, edible insect

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Ciclo de vida do <i>T. molitor</i>	21
FIGURA 2: Estágios de coloração da fase de pupa de <i>T. molitor</i>	22
FIGURA 3: Estágios de coloração da fase de besouro de <i>T. molitor</i>	22
FIGURA 4: Reação de esterificação entre glicerol e ácidos graxos formando uma molécula de Triglicerídeo.....	26
FIGURA 5: Isomeria geométrica de ácidos graxos.	28
FIGURA 6: Estrutura química dos ácidos linoleico (ω -6) e linolênico (ω -3).....	28
FIGURA 7: Diagrama pressão/temperatura e os equilíbrios entre os estados sólido, líquido e gasoso.	32
FIGURA 8: Diagrama de fases de CO ₂	33
FIGURA 9: Reação de determinação de ácidos graxos livres.	37
FIGURA 10: Esquema geral de oxidação lipídica.....	40
FIGURA 11: . Configurações da pesquisa em todas as bases de dados <i>Web of Science</i> . .	43
FIGURA 12: . Configurações da pesquisa na Coleção Principal da <i>Web of Science</i>	43
FIGURA 13: Caixa de texto para refinar os resultados com palavras-chave nas formas de busca (i) e (ii) na base <i>Scopus</i>	44
FIGURA 14: Caixa de texto para refinar os resultados com palavras-chave nas formas de busca (i) e (ii) na base <i>Web of Science</i>	44
FIGURA 15: Fluxograma da metodologia para o cálculo de IA.....	46
FIGURA 16: Fluxograma da metodologia para o cálculo de IP	48
FIGURA 17: Dados referentes a busca (i), quanto ao tipo, quantidade por ano e território de publicações entre os anos de 2010 e 2021.	50
FIGURA 18: Dados referentes a busca (ii), quanto ao tipo, quantidade por ano e território de publicações entre os anos de 2010 e 2021.	52
FIGURA 19: Dados referentes a busca (iii), quanto ao tipo, quantidade por ano e território de publicações entre os anos de 2010 e 2021.	53

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: Índice de acidez de cada duplicata de amostra..... 58

GRÁFICO 2: Índice de peróxido de cada duplicata de amostra. 62

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: Vantagens e desvantagens de fontes alternativas de proteína.....24

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Composição centesimal das diferentes fases do ciclo de vida de <i>T. molitor</i> em base seca (g/100g).....	23
TABELA 2: Conteúdo de aminoácidos essenciais (g /kg) de <i>T. molitor</i> em comparação com o necessário para um adulto	25
TABELA 3: Valores máximos de IA para diferentes tipos de óleos e gorduras vegetais.	38
TABELA 4: Valores máximos de IA para diferentes tipos de óleos e gorduras vegetais.	40
TABELA 5: Condições de extração para as quatro amostras de óleo de <i>T. molitor</i>.	45
TABELA 6: Número de documentos encontrados em todas as bases e na Coleção Principal da <i>Web of Service</i>, entre os anos de 2010 a 2021.....	56
TABELA 7: País/Região de publicação encontrados em todas as bases e na Coleção Principal da <i>Web of Service</i>, entre os anos de 2010 a 2021.	56
TABELA 8: Valores de IA encontrados para cada extração.	57
TABELA 9: Valores de IA do óleo de <i>T. molitor</i> de estudos anteriores.	59
TABELA 10: Teor de AGL dos óleos extraídos.	60
TABELA 11: Valores de IP encontrados para cada extração.....	61
TABELA 12: Valores de IP do óleo de <i>T. molitor</i> de estudos anteriores.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

T. molitor – *Tenebrio molitor*

FAO - Organização para Alimentação e Agricultura das Nações Unidas (*Food and Agriculture Organization*)

EFC – Extração Fluido Supercrítico

AGL - Ácidos Graxos Livres

CO₂ – Dióxido de Carbono

UR – Umidade Relativa

H₂O – Água

OMS – Organização Mundial da Saúde

EFA – Ácidos graxos essenciais

ω-3 – ômega – 3

ω-6 – ômega – 6

CG – Corpo gorduroso

T_c – Temperatura crítica

P_c – Pressão crítica

WEF – Fórum Econômico Mundial (*The World Economic Forum*)

scCO₂ – Dióxido de Carbono Supercrítico (*Supercritical Carbon Dioxide*)

EtOH – Etanol

IA – Índice de acidez

IP - Índice de peróxido

IAL – Instituto Adolfo Lutz

AOCS – *The American Oil Chemists' Society*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	18
1.1.1	Objetivo geral.....	18
1.1.2	Objetivo específico.....	18
1.2	METODOLOGIA DE PESQUISA	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	<i>TENEBRIO molitor</i>	20
2.1.1	<i>Tenebrio molitor</i> como fonte alternativa de proteína.....	23
2.2	LIPÍDIOS.....	25
2.2.1	Ácidos graxos	27
2.2.2	Lipídios de insetos.....	29
2.2.3	Lipídios de <i>Tenebrio molitor</i>	30
2.2.4	Extração com fluido supercrítico	31
2.2.5	Aplicação de lipídios de <i>Tenebrio molitor</i> em alimentos	35
2.3	CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DE <i>TENEBRIO molitor</i>	36
2.3.1	Índice de acidez e ácidos graxos livres.....	37
2.3.2	Índice de peróxido	39
2.4	FERRAMENTAS BIBLIOMÉTRICAS	41
3	MATERIAL E MÉTODOS	42
3.1	SELEÇÃO E PREPARO DA MATÉRIA – PRIMA	42
3.2	BASES DE DADOS E FORMATO DE PESQUISA	42
3.3	METODOLOGIA DE EXTRAÇÃO.....	45
3.4	CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DE <i>TENEBRIO molitor</i>	46
3.4.1	Índice de acidez e Ácidos graxos livres.....	46
3.4.2	Índice de peróxido	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49

4.1	ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA.....	49
4.1.1	Base Scopus	49
4.1.2	Base Web of Science	54
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DE <i>TENEBRIO molitor</i>	57
4.1.1	Índice de acidez e Ácidos graxos livres.....	57
4.1.2	Índice de peróxido	61
5	CONCLUSÃO.....	65
	REFERÊNCIAS	66

1. INTRODUÇÃO

Projeções da Organização para Alimentação e Agricultura das Nações Unidas (FAO em inglês) indicam que a população mundial pode atingir 9,15 bilhões em 2050, 34% a mais do que hoje, crescimento este que está localizado principalmente nos países em desenvolvimento. Para alimentar essa população maior, cada vez mais urbana, a produção de alimentos deve aumentar no mínimo 70%. A produção anual de cereais precisará aumentar para cerca de 3 bilhões de toneladas (atualmente são 2,1 bilhões), e a produção anual de carne terá de aumentar em mais de 200 milhões de toneladas para atingir as 470 milhões de toneladas necessárias (FAO, 2009).

Em termos globais, cerca de 2 bilhões de pessoas vivem principalmente em uma dieta à base de carne bovina, enquanto que 4 bilhões vivem de uma dieta baseada em vegetais (RIDOUTT et al., 2012). A produção agrícola, incluindo a pecuária, é atualmente responsável por 85% do consumo global de água doce. A água necessária para produzir culturas forrageiras varia entre 500 a 2,000 L de água potável por quilograma de safra produzida, enquanto que para cultivar 1 kg de cereal, são estimadas 1 a 3 toneladas de água (PFISTER et al., 2011). Neste sentido, a produção de 1 kg de proteína animal, requer aproximadamente 100 vezes mais água do que a produção de 1 kg de proteína vegetal. O gado utiliza, diretamente, apenas 1,3% da água total usada na agricultura, mas aumenta-se essa necessidade ao incluir a água necessária para a produção de forragem e grãos. A FAO estima que são necessários entre 2,000 e 5,000 litros de água para produzir a comida diária de uma pessoa (FAO, 2017). Dessa forma, os limitados e valiosos recursos hídricos, bem como o uso ineficiente da água, combinados com o rápido crescimento da população mundial, poderão gerar frequentes crises hídricas.

Além da água doce, a pecuária corresponde por 70% de todas as terras agrícolas (STEINFELD et al., 2006). Assim, é necessário desenvolver novas estratégias para a produção de alimentos, a partir de fontes alternativas que sejam sustentáveis e eficientes (VAN HUIS, 2013; FAO, 2013b).

Desta forma, estimular o consumo de insetos comestíveis pode amenizar os danos ao meio ambiente, pois, além de fonte de proteína alternativa, os insetos são ambientalmente essenciais, por exemplo, com a polinização e o controle de pragas. Os insetos comestíveis são

tradicionalmente consumidos (entomofagia) por aproximadamente dois bilhões de pessoas em todo o mundo, principalmente na Ásia, África e América do Sul (VAN HUIS, 2013).

O desenvolvimento de insetos em formulações de ração animal e alimentos é considerado uma estratégia viável que pode contribuir potencialmente para a segurança alimentar global. Os insetos têm sido estudados principalmente como uma fonte alternativa de proteína e podem ser consumidos como ovos, larvas, pupas e insetos adultos. Além do alto teor de proteína, os insetos possuem vitaminas, minerais e quantidades apreciáveis de lipídios, principalmente ácidos graxos de importância nutricional (RUMPOLD e SCHLÜTER, 2013). Neste sentido, aproximadamente 2,000 espécies de insetos foram categorizadas como comestíveis (VAN HUIS, 2013).

A partir de 2018, insetos e derivados foram incluídos no regulamento de novos alimentos da UE (UE 2015/2283; EC, 2015). Assim, é esperado um expressivo aumento do número de empresas operando com insetos e derivados, especialmente empresas alimentícias (TZOMPA-SOSA et al., 2019).

O valor nutricional dos insetos comestíveis varia de acordo com diversos fatores, como a variabilidade das espécies, estágio de desenvolvimento do inseto, alimentação, habitat, etc (VAN HUIS, 2013). A larva-da-farinha, também conhecida como *Tenebrio molitor* (*T. molitor*) e *Yellow mealworm*, é uma espécie de inseto que pertence à família dos Tenebrionidae (escaravelho escuro). De acordo com Costa et al. (2020), o estágio larval de *T. molitor* apresenta valores nutricionais semelhantes às fontes convencionais de carne, equivalentes a 10,4% de gordura e 13,7% de proteína. Além disso, há valores aproximadamente de 41%, 35,1% e 23% para ácidos graxos monoinsaturados, poli-insaturados e saturados, respectivamente, tendo como principais os ácidos graxos oleico (37,8%) e linoleico (33,2%). Em relação aos aminoácidos, os autores mostraram que essas larvas atendem aos requisitos necessários de aminoácidos essenciais para um adulto humano (277 mg / g de proteína bruta), sendo que apenas a lisina não atinge os requisitos diários, por apresentar um total de 26,2 mg/g de proteína bruta, sendo o ideal, de acordo com a FAO, equivalente a 45 mg/g de proteína bruta.

Os lipídios são fundamentais em termos nutricionais, visto que podem ser usados no combate à desnutrição, fornecendo ácidos graxos essenciais, como o ômega 6 (ácido linoleico) e ômega 3 (ácido linolênico), e aumentando a ingestão energética. Nos aspectos tecnológicos, os lipídios são responsáveis pela formação das características físicas, químicas e sensoriais dos

alimentos (AGUILAR, 2021). Os lipídios da dieta são nutrientes essenciais para aumentar a ingestão de energia a níveis adequados, portanto, os lipídios dos insetos representam uma fonte alternativa de calorias para melhorar a nutrição e a segurança alimentar. Os triglicerídeos são armazenados principalmente na forma de gotículas de lipídios. Essas gotículas são a base do corpo gorduroso, distribuídas por todo o inseto, preferencialmente sob o tegumento (ARRESE et al., 2010).

Há diversas etapas e métodos de extração lipídica de insetos, incluindo a moagem, homogeneização, prensagem mecânica, extração enzimática, extração assistida por ultrassom, extração com solvente e extração com fluido supercrítico (HALIM et al., 2013). Na década de 90, muitos estudos sobre extração por fluido supercrítico (EFC) foram publicados na área de análise de lipídios, incluindo óleos, ceras, gorduras, vitaminas lipossolúveis, óleos essenciais, bifenilo e policlorados, em alimentos e aplicações ambientais (TUNER, 2015).

A EFC tem sido intensamente estudada como uma alternativa à extração convencional por solvente de matérias naturais. As principais vantagens são: (i) redução da oxidação de solutos; (ii) extração de componentes termicamente sensíveis devido à baixa temperatura crítica; (iii) modulação da seletividade do solvente pelas condições operacionais; (iv) resíduos livres de solvente e (v) propriedades de solvente adequadas (inerte químico, não tóxico e não explosivo). Por ser ambientalmente correta quando se utiliza o dióxido de carbono (CO₂) como molécula – solvente, a EFC pode ser uma alternativa viável para os métodos de extração convencionais como o Soxhlet com solventes orgânicos (hexano). Por esses motivos, a EFC vem ganhando destaque quando comparada as técnicas convencionais de extração de produtos naturais (ARRESE et al., 2010; FILIPPIS, 2001).

Os óleos que podem ser utilizados como produtos alimentícios, cosméticos, matéria-prima para tinta, vernizes e lubrificantes, entre outras aplicações, são conhecidos desde a antiguidade. Porém o uso desses óleos depende, muitas vezes, da sua qualidade e rendimento extrativo. Neste contexto, vários parâmetros, como índice de peróxido (IP - formação de produtos de oxidação primária), e índice de acidez (IA - formação de ácidos graxos livres) são parâmetros-chave, pois determinam a qualidade de vida de prateleira e, portanto, o valor econômico dos óleos. O ranço de óleos pode representar riscos à saúde, incluindo câncer e inflamação, devido à formação de produtos de oxidação tóxicos e reativos.

O IP é o método químico mais comum para medir a deterioração oxidativa de óleos. A quantidade de peróxido de gorduras indica o grau de oxidação primária e, portanto, sua probabilidade de se tornar rançosa. Um menor valor de peróxido indica uma boa qualidade do óleo e um bom estado de conservação (GORDON, 2001). Os ácidos graxos livres insaturados reagem com o oxigênio e formam o valor de peróxido, que determina uma série de reações em cadeia que geram a produção de substâncias voláteis olfativas. Essas reações são aceleradas pela alta temperatura e pela exposição à luz e ao oxigênio (FOODLAB, 2015). Por outro lado, o IA é definido como a massa de hidróxido de potássio (KOH) em mg necessária para neutralizar os ácidos orgânicos presentes em 1 g de gordura, ou seja, é uma determinação indireta dos ácidos graxos livres (AGL) presentes na gordura ou óleo. Um incremento na quantidade de AGL em uma amostra de óleo ou gordura indica hidrólise de triglicerídeos. Essa reação ocorre pela ação da enzima lipase e é um indicador de condições inadequadas de processamento e armazenamento (ou seja, alta temperatura e umidade relativa), aumentando a quantidade de ácidos graxos livres, mono e diacilgliceróis e gliceróis em óleos (DUNFORD, 2016; VITZ et al., 2020).

Portanto, a farinha de *T. molitor* pode ser desengordurada (proteína desengordurada), no qual o subproduto (óleo extraído) pode ser usado na formulação de alimentos (SIOW et al., 2021). No entanto, o valor industrial dos lipídeos de *T. molitor* deve apresentar determinadas propriedades físico – químicas como baixos IP e IA (FOGLIANO et al., 2017).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar parâmetros físico – químicos dos lipídeos de *T. molitor* obtidos via extração com fluido supercrítico.

1.1.2 Objetivo específico

Os objetivos específicos são:

- Determinar o índice de acidez dos óleos de *T. molitor* obtidos a partir da EFC;

- Avaliar o conteúdo de ácido graxos livres do óleo de *T. molitor*;
- Determinar o índice de peróxido dos óleos de *T. molitor* obtidos por extração supercrítica.

1.2 METODOLOGIA DE PESQUISA

O presente trabalho pretende analisar os parâmetros físico – químicos dos lipídeos do óleo de *T. molitor* extraídos via scCO₂, além de realizar uma revisão de literatura.

A extração do óleo do inseto foi realizada no LATESC (Laboratório de Termodinâmica e Tecnologia Supercrítica/EQA – UFSC), enquanto que os experimentos dos índices de acidez e peróxido foram feitos no LIEB (Laboratório de Engenharia Biológica/EQA – UFSC).

A pesquisa de literatura englobou o período de 2010 a 2021, baseadas na busca de palavras – chave em duas diferentes plataformas: *Scopus (Elsevier)* e *Web of Science (Clarivate Analytics)*. As palavras – chave utilizadas foram as seguintes: *Tenebrio molitor*, *yellow mealworm*, *mealworm*, *lipids*, *Insect Lipid Extraction*, *Supercritical Fluid Extraction*, *Supercritical Carbon Dioxide Extraction*.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 *TENEBRIO MOLITOR*

O *Tenebrio molitor* é uma espécie de inseto pertencente à família dos Tenebrionidae, uma família cosmopolita com mais de 20.000 espécies de besouros (ordem Coleoptera), são nativos da Europa e atualmente distribuídos em todo o mundo. São holometábolos, ou seja, sofrem metamorfose completa passando por todos os quatro estágios de desenvolvimento: ovo, larva, pupa e besouro. É um dos insetos comestíveis mais pesquisados para uso na alimentação animal, de distribuição mundial e um candidato conveniente para produção em escala industrial (VAN HUIS, 2013; VAN HUIS, 2020). Algumas espécies de tenebrionídeos são consideradas pragas agrícolas, devido sua preferência por habitarem locais secos (MORALES – RAMOS et al., 2012).

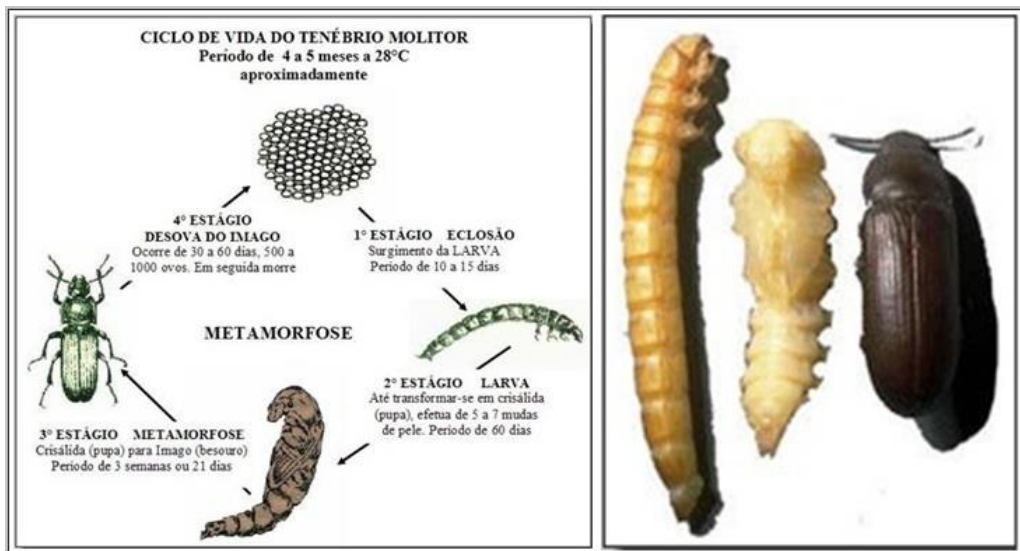
As larvas de farinha apresentam um elevado teor proteico e lipídico e são uma fonte de aminoácidos essenciais, apresentando, de acordo com Finke (2013), um conteúdo (g/kg) de 5,59 de histidina, 8,35 de isoleucina, 14,0 de leucina, 10,7 de lisina, 2,55 de metionina, 6,54 de fenilalanina, 7,57 de treonina, 2,16 de triptofano e 12,8 de valina. Por estas razões, são produzidas industrialmente como alimento para répteis, pássaros, anfíbios e peixes.

A larva da farinha amarela (*Yellow mealworm*) tornou-se um dos insetos mais comumente criados na Europa para fins alimentares, graças ao seu alto valor nutricional e fáceis condições de criação e manutenção, visto que utiliza substratos simples e possui um ciclo de vida relativamente curto (GARINO et al., 2020; HAN et al., 2016; TURCK et al., 2021). Para o seu cultivo, utilizam-se principalmente cereais, como farinha ou farelo de trigo, como fonte nutricional, enquanto que vegetais (cenoura e batata) e frutas (maçãs e bananas) são usadas como fonte de umidade (KRÖNCKE et al., 2018).

O ciclo de vida deste inseto (Figura 1) varia de acordo com as condições ambientais, tendo seu desenvolvimento e sobrevivência afetados pela interação da temperatura e umidade. Comumente, o *T. molitor* completa o ciclo reprodutivo em seis meses, no entanto estes tempos podem variar de 280 a 630 dias, dependendo das condições climáticas, como a temperatura e umidade do ambiente. Em temperaturas adequadas (entre 25 e 30 °C, com limites entre 10 e 35 °C) pode chegar a durar 80 dias. A taxa de crescimento é altamente dependente da umidade, com maiores taxas de crescimento a 90 – 100% UR (Umidade Relativa) e até mesmo a 70%

UR, mas a taxa desacelera a 30% UR e dificilmente ocorre aos 13% (RIBEIRO et al., 2018). Na época de desova desses insetos, as fêmeas do besouro depositam cerca de 500 a 1.000 ovos, que eclodem entre 10 a 15 dias, em uma temperatura de 18 – 20 °C, tornando-se visíveis a olho nu apenas pelo movimento que transmitem ao substrato no centro da desova. (MORALES – RAMOS et al., 2012).

FIGURA 1: Ciclo de vida do *T. molitor*.



Fonte: Ferreira (2012).

De acordo com Morales et al. (2012), este inseto poderá representar uma importante fonte proteica para ambos ração animal e alimentação humana. A camada protetora da larva, denominada exoesqueleto, é quitinosa e não acompanha o desenvolvimento da larva, sendo substituída por até quinze vezes antes que essa se torne uma pupa. O crescimento das larvas se dá em aproximadamente 60 dias, quando atingirão o seu tamanho máximo cerca de 18 a 24 mm, e pesando 130 – 160 mg, para em seguida puparem.

A pupa demora entre 2 a 3 semanas para se tornar besouro (escaravelho). Ao longo de 15 a 21 dias há alteração de uma cor mais clara para uma cor mais amarelada à medida que se vão aproximando da fase de besouro (Figura 2). Nos últimos dias, as pupas adquirem uma cor acastanhada nas patas, olhos e boca. São inativas, não se alimentando nem se movendo. Ao terminar o estágio de pupa, o besouro é de cor creme, o que, logo após 1 a 2 dias, muda e passa

a apresentar uma cor mais escura, semelhante ao marrom (Figura 3). Por fim, dentro de 5 dias, torna-se definitivamente da cor preta (FERNANDES, 2017).

FIGURA 2: Estágios de coloração da fase de pupa de *T. molitor*.



Fonte: Fernandes (2017).

FIGURA 3: Estágios de coloração da fase de besouro de *T. molitor*.



Fonte: Fernandes (2017).

A Tabela 1 apresenta uma análise de composição centesimal das diferentes fases do ciclo de vida do inseto *T. molitor*, realizada por Limoeiro (2021). Constatou-se que a principal diferença entre os estágios do ciclo de vida deste inseto, é a maior quantidade de proteína presente na fase adulta e o maior teor de lipídios nas fases larva e pupa.

Considerando-se somente a matéria seca, o maior teor é o de proteínas seguido por lipídios, ou seja, pode-se julgar essa biomassa como uma fonte nutricionalmente valiosa (PINHEIRO, 2018).

Outra contribuição importante das larvas de *T. molitor* são as fibras. O consumo de alimentos ricos em fibras está relacionado à redução do risco cardiovascular e à redução dos níveis de glicose e lipídios relacionados à diminuição da hiperinsulinemia (ALVES et al., 2016).

TABELA 1: Composição centesimal das diferentes fases do ciclo de vida de *T. molitor* em base seca (g/100g)

Nutriente	Larvas	Pupas	Adultos
Proteína	49,1 – 52,0	51,0 – 53,1	65,3 – 65,6
Lipídios	31,0 – 35,4	32,0 – 36,7	7,9 – 14,9
Carboidratos	5,5 – 6,9	0,0 – 1,9	0,0 – 2,0
Fibras	13,0 – 28,2	5,1 – 12,0	20,1 – 40,0

Fonte: Adaptada de Limoeiro (2021).

2.1.1 *Tenebrio molitor* como fonte alternativa de proteína

Recentemente, devido a mudança no regime alimentar da população, potenciou o desenvolvimento dos regimes intensivos de produção que resultou em efeitos negativos sobre o meio ambiente levando à necessidade de se encontrarem fontes alternativas de proteína para sustentar a população humana no futuro. Com isso, os insetos foram propostos como uma das mais promissoras fontes alternativas de proteínas, uma vez que a sua produção é sustentável, de baixos custos ambiental de produção e com menor impacto negativo sobre o meio ambiente (COSTA, 2017; FOGLIANO et al., 2017).

O Quadro 1, apresentado por Fogliano et al. (2017), fornece um resumo das principais vantagens e desvantagens relacionadas ao uso de proteínas de inseto em comparação a outras proteínas alternativas. Em particular, é importante salientar que os aspectos da sustentabilidade estão ganhando cada vez mais relevância e já estão modificando os sistemas de produção em muitas cadeias alimentares. Logo, insetos e microalgas têm a vantagem competitiva de ser produzida usando uma infraestrutura tecnológica não sofisticada.

Hong et al (2020) realizou uma análise mais profunda do valor nutricional das larvas de *T. molitor*, indicando que o seu conteúdo de proteína bruta representa, em média, 52,4%, variando de 47,0% a 60,2%. Kim et al (2019) e Vilella (2018) estudaram a composição nutricional de diferentes insetos comestíveis com base em sua matéria seca, relatando que as larvas de *T. molitor* apresentam um teor de 46,44% e 52,8% de proteína, respectivamente.

QUADRO 1: Vantagens e desvantagens de fontes alternativas de proteína

Organismo	Vantagens	Desvantagens
Insetos	- Exploração de espécies pouco investigadas; - Alta taxa de conversão de ração em biomassa comestível.	- Baixa aceitação do consumidor;
Fungos	- Fácil de manejo; - Boa aceitabilidade do consumidor.	- Baixa taxa de crescimento; - Baixo teor de proteína.
Microalgas	- Versatilidade metabólica; - Ambientalmente amigável; - Proteínas e lipídios de alta qualidade.	- Alto teor de fibra que constitui a parede celular, resultando na redução da digestibilidade da proteína (Bleakley et al., 2017).
Levedura	- Alta aceitabilidade do consumidor.	- Taxa de crescimento lento; - Baixo teor de proteína.

Fonte: Adaptado de Fogliano et al. 2017.

A digestibilidade da proteína dos insetos é altamente variável, pois uma parte dos aminoácidos na proteína cuticular está ligada à quitina, um polissacarídeo e componente do exoesqueleto dos insetos. A Tabela 2 apresenta dados encontrados por Igor et al. 2020 e Ravzanaadii et al. 2012 para aminoácidos essenciais em larvas de *T. molitor*, comparados ao requisito necessário para um adulto humano. Nenhum dos dois estudos expressaram valor para o aminoácido essencial Triptofano, enquanto que somente o estudo de Igor et al. 2020 não apresentou valor para Histidina.

De acordo com a Tabela 2, para o primeiro estudo, todas as quantidades de aminoácidos analisados apresentaram-se superiores ao requisito necessário para um humano adulto, com exceção da Valina (1,17 g/100g de proteína). Enquanto que para o segundo estudo, os aminoácidos Histidina (1,527 g/100g de proteína) e Metionina (1,189 g/100g de proteína), apresentaram valores menores que o necessário para um adulto humano. Uma das possíveis

diferenças de valores entre os estudos pode ser a consequência de diferentes substratos usados para a criação dos insetos.

TABELA 2: Conteúdo de aminoácidos essenciais (g /kg) de *T. molitor* em comparação com o necessário para um adulto

Aminoácidos	g/100 g de proteína (Igor et al., 2020)	g/100 g de proteína (Ravzanaadii et al., 2012)	Adulto
Fenilalanina + Tirosina	7,7	5,219	1,9
Isoleucina	7,38	3,556	1,3
Histidina	-	1,527	1,6
Leucina	5,31	3,405	1,9
Lisina	4,79	2,906	1,6
Metionina	3,16	1,189	1,7
Treonina	2,63	1,807	0,9
Valina	1,17	2,439	1,3

Fonte: Adaptada de Igor et al. (2020) e Ravzanaadii et al. (2012).

Rumpold e Schlüter (2013) relataram que os insetos comestíveis, em geral, atendem aos requisitos da Organização Mundial da Saúde (OMS) para aminoácidos com valores elevados para fenilalanina + tirosina e às vezes sendo ricos em lisina e treonina.

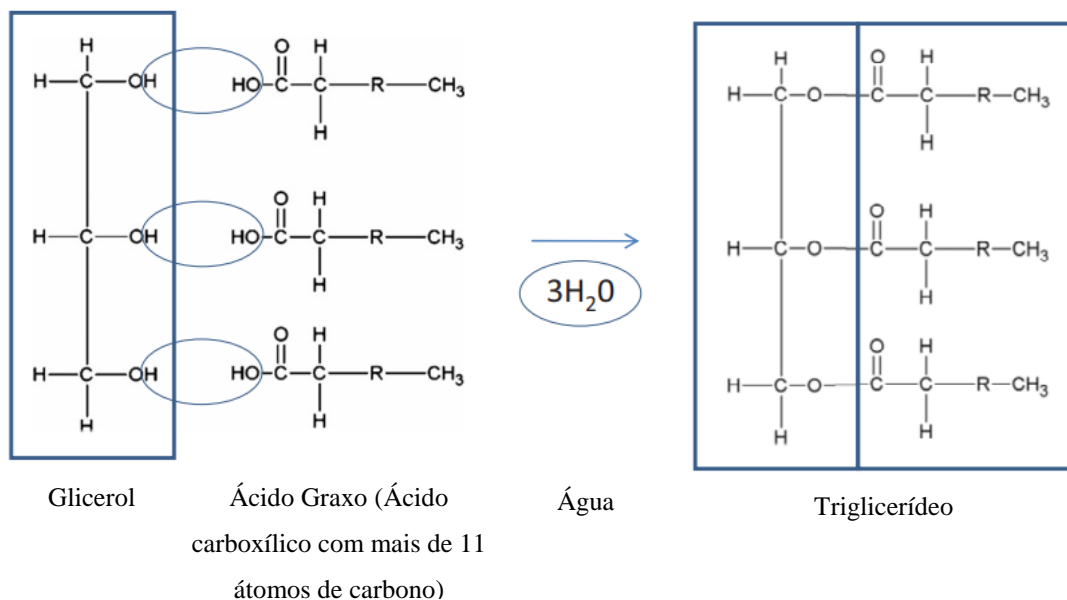
2.2 LIPÍDIOS

Os lipídios são moléculas orgânicas formadas por longas cadeias carbônicas que compõem o grupo de compostos dos óleos, gorduras e ceras. Abrangem uma classe de compostos orgânicos caracterizados pela alta solubilidade em solventes orgânicos não polares. Possuem características apolares, ou seja, são insolúveis em água (LEHNINGER, 2002).

As macromoléculas lipídicas podem ser formadas inteiramente por carbonos e hidrogênios ou conter grupos funcionais, os quais definirão o tipo de lipídio, por exemplo, o conjunto de lipídios que apresentam em sua molécula grupos funcionais como ácidos carboxílicos e compõem os óleos e gorduras. (RAMALHO et al., 2013).

Os óleos e gorduras são constituídos principalmente por triglicerídeos (triacilgliceróis), molécula formada a partir da reação de esterificação de ácidos graxos com três grupos hidroxila de glicerol (Figura 4). A principal diferença entre esses grupos está em seu estado físico à temperatura ambiente. As gorduras animais são sólidas ou semissólidas à temperatura ambiente porque são formadas por ácidos graxos saturados ou com uma insaturação, que confere pontos de fusão elevados. Por outro lado, os óleos são produzidos a partir de ácidos graxos poli-insaturados, assim são líquidos à temperatura ambiente devido ao aumento no número de insaturações que diminui a força de interação entre as moléculas de ácidos graxos que os compõem, acarretando em pontos de ebulição baixos resultando na sua forma líquida (LEHNINGER, 2002).

FIGURA 4: Reação de esterificação entre glicerol e ácidos graxos formando uma molécula de Triglicerídeo.



Fonte: Hazell (2010).

Os lipídios são importantes nas dietas, pois são vitais para as funções biológicas e estruturais das células, além de auxiliar no transporte de vitaminas lipossolúveis essenciais para a nutrição corporal. Eles também aumentam a palatabilidade dos alimentos pela absorção e retenção dos sabores e influenciam a textura dos alimentos, dada a suavidade e crocância, desempenhando um papel significativo na formação das características dos alimentos (ALVES et al., 2016; LEHNINGER, 2002; MARZZOCO et al., 2015). Na dieta humana, os lipídios são ingeridos na forma de triacilgliceróis, sendo importantes por incluírem ácidos graxos essenciais.

2.2.1 Ácidos graxos

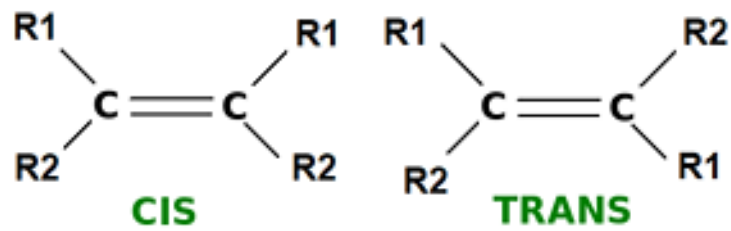
Os ácidos graxos são ácidos carboxílicos com longas cadeias hidrocarbônicas que podem ser divididas em saturadas e insaturadas. Ácidos graxos saturados contêm apenas ligações simples ao passo que os insaturados apresentam uma ou mais ligações duplas, normalmente em geometria CIS (MARZZOCO et al., 2015).

A isomeria geométrica ocorre especialmente em compostos de cadeia aberta que possuem ligação dupla entre pelo menos dois átomos de carbono, sendo que cada átomo de carbono da dupla possui os seus grupos ligantes diferentes entre si. Dessa forma, a geometria cis refere-se aos grupos ligantes iguais que se apresentam do mesmo lado do plano espacial (Figura 5).

O termo ácidos graxos essenciais (EFA) se refere aos ácidos graxos poli-insaturados que devem ser fornecidos pelos alimentos, uma vez que não são sintetizados no corpo, mas são necessários para a saúde. Existem duas famílias de EFA, ômega-3 (ω -3) e ômega-6 (ω -6).

Estes ácidos graxos apresentam uma cadeia carbônica que contém de 4 a 36 átomos de carbonos, um grupo carboxila e ligações duplas carbono – carbono em sua estrutura química, razão pela qual são chamados de insaturados. As diferenças no tamanho da cadeia, grau e posição da insaturação lhes confere diferentes propriedades físicas, químicas e nutricionais. (CANÃS et al., 2019).

FIGURA 5: Isomeria geométrica de ácidos graxos.

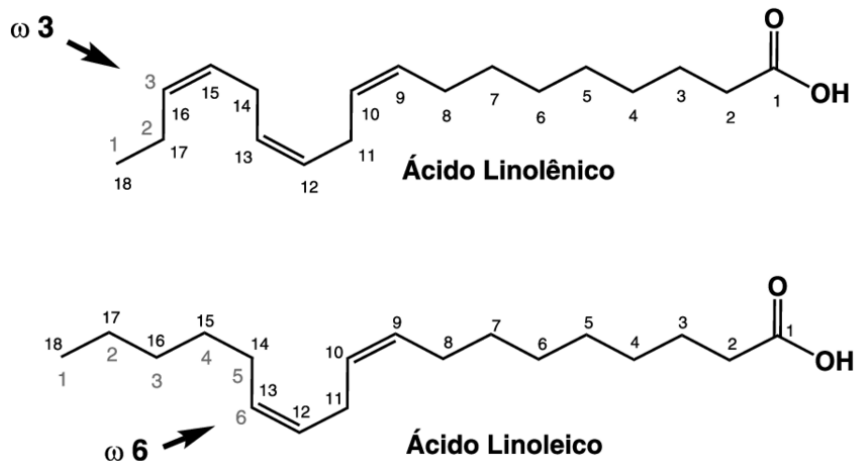


Onde, $R1 \neq R2$

Fonte: Retirada do Proenem.¹

O termo ômega é usado para indicar a posição da ligação dupla mais distante do grupo carboxílico. Os ácidos graxos ômega – 3 têm em comum uma dupla ligação carbono – carbono final na posição $\omega - 3$, ou seja, a terceira ligação da extremidade metil do ácido graxo, enquanto os ácidos graxos ômega – 6 têm na posição $\omega - 6$, ou seja, a sexta ligação da extremidade metil do ácido graxo (Figura 6) (CANÃS et al., 2019; KAUR et al., 2014).

FIGURA 6: Estrutura química dos ácidos linoleico (ω -6) e linolênico (ω -3).



Fonte: Canãs et al. (2019).

¹ Disponível em: <[Isomeria Espacial - Geométrica e Óptica](#)> Acessado em 07/11/2021.

2.2.2 Lipídios de insetos

Os insetos começaram a ser estudados como fonte de alimento principalmente pelas suas proteínas. Porém, recentemente, os lipídios de insetos começaram a ganhar destaque. Por um lado, sua composição de ácidos graxos e características físico – químicas se assemelham a certos óleos vegetais, sendo uma comparação comum o óleo de *T. molitor* com óleo de soja (TSOMPA-SOZA et al., 2019).

Os insetos, na maioria dos casos, conseguem produzir um grande número de ovos em cada ciclo de postura. Para que se ocorra crescimento dos ovócitos é preciso que haja o acúmulo de uma grande quantidade de reservas de proteínas, carboidratos e lipídios, que serão necessárias durante o desenvolvimento do embrião. Os lipídios, presentes nos insetos, atendem a diversas funções como composição de membrana plasmática, geração de energia e secreção de substâncias, se aglomerando principalmente em uma estrutura chamada corpo gorduroso (CG), sendo o órgão central para o metabolismo (ATELLA et al., 2012).

O CG é um tecido presente por todo o corpo do inseto, estruturalmente heterogêneo, se acumulando principalmente em torno de seus órgãos internos. Composto majoritariamente por adipócitos (células que armazenam gorduras e regulam a temperatura corporal), o CG acumula diferentes compostos lipídicos, sendo mais de 90% na forma de triglicerídeos. (ATELLA et al., 2012; TOPRAK et al., 2020).

A função de armazenamento do corpo adiposo é fundamental na vida dos insetos holometábolos. Durante as fases de alimentação das larvas, as reservas de energia são acumuladas para serem usadas durante a metamorfose, bem como para fornecer reservas para o novo adulto. Os insetos precisam acumular pelo menos uma quantidade mínima de armazenamento de nutrientes para sobreviver à metamorfose, dessa forma, o corpo adiposo coordena o crescimento do inseto com a metamorfose ou reprodução, armazenando ou liberando componentes centrais para esses eventos (ARRESE et al., 2010).

Os lipídios de insetos são chamados na literatura de óleo de inseto ou gordura de inseto. Devido ao fato de a ampla maioria desses lipídios serem líquidos à temperatura ambiente, o termo mais aceito é óleo (LUCAS et al., 2020). Apresentam, em sua maioria, uma coloração amarela avermelhada (devido a presença de carotenoides) e podem apresentar odor agradável.

2.2.3 Lipídios de *Tenebrio molitor*

Constatou-se que uma vasta gama de biomassa, incluindo plantas, animais e microrganismos, oferecem alto teores de lipídios alimentares. Entre todas estas fontes, os insetos ocupam uma posição especial porque alguns insetos (tais como *Phasus triangularis* Edwards e *Rhynchophorus phoenicis* Fabricius larvae) alegadamente contêm até 75% de lipídios com base no peso seco (PAUL et al., 2017).

O alto teor de ácidos graxos nas dietas afeta sua atividade antioxidante, um fator altamente desejável nas dietas humanas. Estudos descobriram que insetos comestíveis continham ácido graxo de boa qualidade, especialmente ácidos graxos de cadeia longa ômega-3 e que diferentes tipos de insetos possuíam diferentes perfis de ácidos graxos (IGOR et al., 2020).

Alves et al. (2016), ao estudar o perfil de lipídios e ácidos graxos em larvas de *T. molitor*, relatou um teor de 39,05% de lipídios e 11,45%, 0,18% e 52,78% para ácido linoleico (ω -6), ácido linolênico (ω -3) e ácido oleico, respectivamente. Outros estudos, como o de Igor et al. (2020), encontrou teor de ácido graxo insaturado muito alto, ou seja, o ácido oleico formou o principal componente lipídico em 40,83%, seguido pelo ácido linoleico com 29,8% e ácido linolênico com 1,08%. Ambos os estudos relataram valores altos para ácido palmítico, variando de 16,2% a 21,07%. Finke et al., (2013) encontraram que cerca de 75% do total dos ácidos graxos de *T. molitor* são insaturados, sendo o ácido oleico (44%) o mais abundante. Dessa forma, pode-se inferir que larvas de *T. molitor* contêm altas quantidades de ácidos graxos insaturados, principalmente ácido linoleico e ácido oleico, e ácido palmítico como ácido graxo saturado.

Devido à crescente popularidade (e produção) para consumo humano na Europa, as larvas de *T. molitor* estão sendo vistas, atualmente, como uma nova fonte de lipídios alimentares, contendo maiores quantidades de lipídios mesmo quando comparadas com a soja (uma fonte comercial de lipídios) que contém aproximadamente 20% de lipídios sobre o peso seco, podendo armazenar quantidade maiores de lipídios durante as fases iniciais da vida. (PAUL et al., 2017). Segundo Rumpold e Schlüter (2013) alguns insetos armazenam quantidades maiores de lipídios durante as fases iniciais da vida.

2.2.4 Extração com fluido supercrítico

Idealmente, um método de separação analítica deve ser rápido, simples e barato; deve dar recuperação quantitativa de analitos sem perda ou degradação; deve produzir uma solução do analito que seja suficientemente concentrada para permitir que a medição final seja feita sem a necessidade de concentração; deve gerar pouco ou nenhum resíduo de laboratório que deve ser descartado (SALLET, 2017).

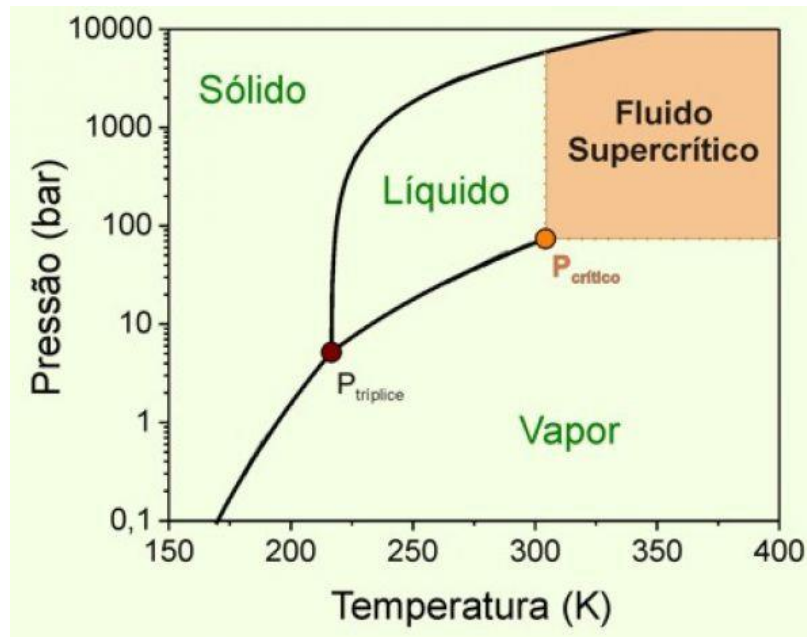
Quando um composto é confinado em um espaço determinado, gás e líquido estão em equilíbrio entre si. Aquecendo o sistema, as propriedades intrínsecas de ambos convergem para um mesmo ponto até serem idênticas (por exemplo, densidade, viscosidade, índice de refração, condutividade térmica, etc.). Este ponto é denominado ponto crítico, e nele acaba-se a interface gás/líquido, pois a partir deste ponto encontra-se uma única fase supercrítica (CARRILHO et al., 2001).

A temperatura T_c é denominada temperatura crítica. Em temperaturas acima de T_c , não é possível liquefazer o gás, independente da pressão aplicada. A pressão crítica P_c , pode ser definida como a pressão requerida para liquefazer o gás na T_c da substância. Desse modo, o ponto crítico representa o limite em que uma substância pura pode se apresentar no equilíbrio líquido-vapor (PAVIANI, 2004).

Assim, um fluido supercrítico é qualquer substância a uma temperatura e pressão acima de seu ponto crítico, como mostra a Figura 7. Os fluidos supercríticos podem se difundir através de sólidos como um gás e dissolver materiais como um líquido. Além disso, perto do ponto crítico, pequenas mudanças na pressão ou temperatura geram grandes alterações na densidade, permitindo que muitas propriedades de um fluido supercrítico sejam "ajustadas". Estes fluidos são adequados como substitutos de solventes orgânicos em uma variedade de processos industriais e de laboratório (SAPKALE et al., 2010).

A extração com fluido supercrítico (EFC) é o processo de separar um componente (o extrator) de outro (a matriz) usando fluidos supercríticos como solvente de extração. A extração é geralmente de uma matriz sólida, mas também pode ser de líquidos. EFC pode ser usado como uma etapa de preparação de amostra para fins analíticos ou em uma escala maior para retirar o material indesejado de um produto (por exemplo, descafeinação) ou coletar um produto desejado (por exemplo, óleos essenciais) (BJÖRKLUND et al., 2005; WANG et al., 2016).

FIGURA 7: Diagrama pressão/temperatura e os equilíbrios entre os estados sólido, líquido e gasoso.



Fonte: Carrilho et al. (2001).

A extração é muito facilitada devido às propriedades dos fluidos no estado supercrítico, tais como: compressibilidade semelhante a um gás, os fluidos supercríticos têm gases altamente comprimidos, que combinam propriedades de gases e líquidos de uma maneira intrigante; densidade semelhante à de um líquido; capacidade de dissolução de solutos como um líquido; viscosidade semelhante à dos gases; difusividade intermediária entre gás e líquido, variando com a densidade; poder solvente semelhante aos hidrocarbonetos leves, no entanto, os compostos fluorados são frequentemente mais solúveis em CO_2 supercrítico do que em hidrocarbonetos; capacidade de levar a reações que são difíceis ou mesmo impossíveis de alcançar em solventes convencionais (FILIPPIS, 2001; CARRILHO et al., 2001)

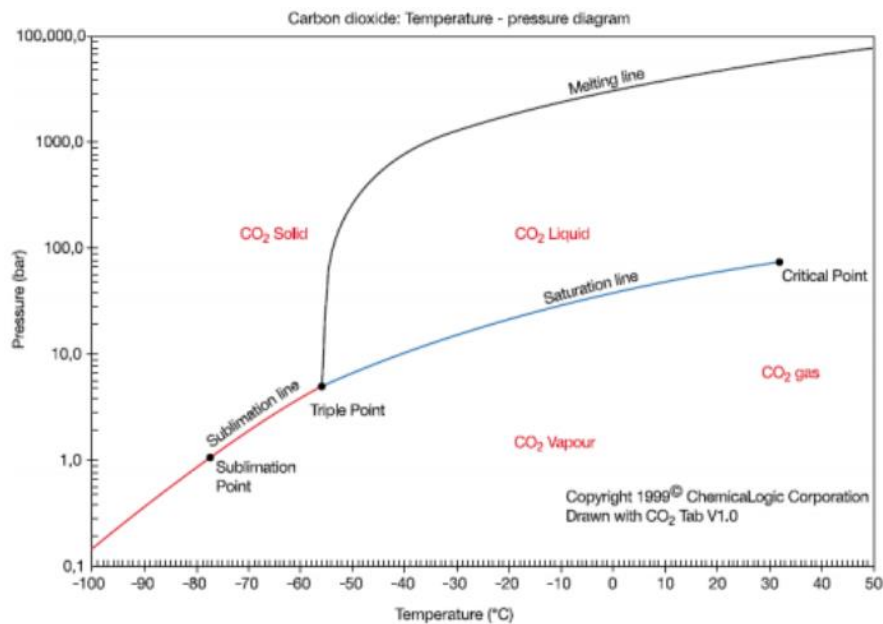
2.2.4.1 CO_2 supercrítico

Dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O) são os fluidos supercríticos mais comumente usados. Entre as razões que CO_2 supercrítico é indicado ao processo de extração com fluido supercrítico, pode-se citar a sua baixa temperatura crítica, $T_c = 31^\circ\text{C}$, o que permite que as extrações sejam realizadas a uma temperatura que não prejudique as propriedades

organolépticas e químicas dos extratos, assim como sua pressão crítica, $P_c = 74 \text{ bar}$ (PIES, 2017).

O diagrama de fases do CO_2 é apresentado na Figura 8.

FIGURA 8: Diagrama de fases de CO_2 .



Fonte: Atkins (2003).

Durante a década de 90, a extração usando dióxido de carbono supercrítico (scCO_2) como solvente tornou-se um tópico interessante em aplicações de lipídios. Muitos lipídios neutros de baixa polaridade apresentam excelente solubilidade em scCO_2 em alta densidade semelhante a um líquido. No entanto, os lipídios polares, como os fosfolipídios, requerem a adição de um cossolvente, como o etanol, para tornar o fluido supercrítico suficientemente polar e uma alternativa viável às misturas de solventes convencionais (TURNER, 2015; PIES, 2017). Isso ocorre porque o scCO_2 puro tem propriedades solubilizantes semelhantes às do hexano e do heptano, com momento de dipolo próximo a zero (CARRILHO et al., 2001). Devido a sua baixa temperatura crítica, CO_2 é conhecido por se adaptar perfeitamente às indústrias de alimentos, aromas e óleos essenciais (SAPKALE et al., 2010; FORNARI, 2016).

A extração supercrítica usa principalmente dióxido de carbono em alta pressão para extrair produtos de alto valor de materiais naturais. Ao contrário de outros processos, o processo

de extração não deixa nenhum resíduo de solvente. Além disso, o CO₂ é seguro, atóxico, não inflamável, inodoro, insípido; inerte, não oferecendo riscos de reações secundárias, como oxidações, reduções, hidrólises e degradações químicas; possui polaridade próxima a do pentano e hexano, solventes apolares comumente usados em extrações tradicionais por solventes (CARRILHO et al., 2001).

2.2.4.2 Fatores que influenciam à extração supercrítica

2.2.4.2.1 Temperatura e Pressão

Temperatura e pressão afetam à solvatação devido às alterações na densidade do solvente. Conseqüentemente, o poder de solvatação pode ser modificado manipulando-se a pressão e temperatura de operação (MARINHO, 2017). A seleção das condições de operação depende da classe dos compostos alvo. Por exemplo, os óleos essenciais podem ser extraídos entre 303 a 333 K e pressões entre 10 a 25 MPa. O aumento da temperatura e pressão implica a extração de compostos pesados, como ceras (PEREIRA et al., 2010).

O parâmetro de processo mais relevante é a pressão de extração que pode ser usada para modificar a seletividade da extração supercrítica. Dessa forma, pode-se dizer que quanto maior a pressão, maior o poder de solvatação e menor é a seletividade. A temperatura também é um parâmetro que afeta a extração supercrítica e seu impacto sobre a solubilidade é complexo e dependente de parâmetros competitivos – densidade e pressão de vapor do soluto. Considerando-se uma extração com o uso do scCO₂, a densidade de CO₂ diminui com a temperatura enquanto a pressão de vapor dos solutos aumenta, levando ao fenômeno bastante conhecido de “*cross-over*” para isotermas de solubilidade. Portanto, o impacto resultante da temperatura na solubilidade é ditado pelo parâmetro que tem efeito dominante a uma dada pressão (TEPELLI, 2009; PEREIRA et al., 2010).

2.2.4.2.2 Tempo de extração

O tempo de extração corresponde ao tempo total em que a extração é realizada e, é essencial para assegurar o contato entre o solvente supercrítico e a matriz sólida, levando à completa extração dos componentes desejados. O aumento do tempo de extração, geralmente leva a uma maior extração dos compostos da matriz. No entanto, períodos longos de extração

podem ocasionar efeitos adversos, como a degradação de determinadas substâncias devido à temperatura (MARINHO, 2017).

2.2.4.3 *Aplicação da Extração Supercrítica de CO₂ na Indústria de Alimentos*

A pesquisa em tecnologia de extração supercrítica começou há cerca de duas décadas. Durante esse período, centenas de plantas de extração supercrítica foram projetadas para operar em pressões extremamente altas (até 2,000 bar) em todo o mundo. As aplicações típicas, operadas por meio de fluidos supercríticos são a extração de constituintes do lúpulo, descafeinação de chá e café e separação de lecitina do óleo, todos processos de alta pressão, realizados em grandes indústrias. Várias unidades industriais menores também estão em operação para extração de especiarias para a indústria alimentícia e substâncias naturais para uso em cosméticos (HRNČIČ et al., 2018).

Raventós et al., (2002) realizaram um estudo sobre as diferentes aplicações e possibilidades do uso da extração com scCO₂ nas indústrias de alimentos. De acordo com a pesquisa, as aplicações de EFC variam em descafeinação do chá, extração de sabor de ervas aromáticas, extração de gorduras e óleos, extração de colesterol, fracionamento de gorduras e óleos e a alcoolização de bebidas alcoólicas. Em menor escala, a extração de aromas em sucos, refinamento de gorduras e óleos, extração de antioxidantes, desacidificação de óleo e inativação de pectinesterase de suco de laranja também apresentaram alguma importância. Em alguns casos, tais como a extração de cafeína do chá e do café ou aromas de especiarias e lúpulo, o EFC já está sendo utilizado na indústria. Em outros casos, percebe-se sua aplicação prática, particularmente no caso de corantes alimentares e no refino de óleos de sementes, devido a seu potencial econômico.

2.2.5 **Aplicação de lipídios de *Tenebrio molitor* em alimentos**

O uso de insetos como fonte lipídios pode contribuir para a segurança alimentar global por meio de rações ou como fonte de alimento direto. Os insetos comestíveis são tradicionalmente colhidos em florestas naturais ou no campo, fornecendo alimentos nas áreas rurais para autoconsumo ou nos mercados locais.

Apesar dos comprovados aspectos nutricionais dos insetos, no mundo ocidental, a aceitabilidade dos insetos como alimento é baixa devido à sua associação como pragas e transmissores de doenças. Uma das soluções propostas para aumentar a aceitação do consumidor é o isolamento de lipídeos de insetos para posterior, utilização em formulação de alimentos, por exemplo maionese, óleos de fritura, etc.

De acordo com Son et al., (2020), o óleo de *T. molitor* apresentou composição de ácido graxo semelhante à dos óleos vegetais, além de conter tocoferóis. Os autores concluíram que o óleo de *T. molitor* é nutricionalmente viável para formulação de alimentos. Similarmente, Tzompa-Sosa, et al., (2019) caracterizaram (físico-quimicamente) óleos de quatro diferentes insetos: Yellow mealworm (*T. molitor*), Lesser mealworm (*Alphitobius diaperinus*), house cricket (*Acheta domesticus*) e Dubia cockroach (*Blaptica dubia*).

Tzompa-Sosa, et al., (2019) relataram que os óleos de *T. molitor* continham 10 compostos aromáticos, incluindo ácido acético, 2-metil-1-propanol (isobutano), metil isocianato, 3-metil-3-buten1-ol (isoprenol), hexanal e 1-metoxi-2-propanol. Hexanal e ácido acético foram identificados no azeite de oliva e em óleos de semente de gergelim, semente de girassol, semente de abóbora. O aroma desses compostos pode ser relacionado a gramineo, doce, natural e semelhante a peixe. Além de apresentar uma ampla faixa de cristalização, fusão com vários picos de cristalização (separação entre os picos de cristalização indicou que o fracionamento do óleo é possível), e cor amarelo - avermelhada.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DE *TENÉBRIO molitor*

Durante os processos industriais, os lipídeos podem sofrer transformações químicas indesejadas, como reversão, rancidez hidrolítica e rancidez oxidativa.

- Reversão: os ácidos graxos livres são convertidos em aldeídos;
- Rancidez hidrolítica: hidrólise da ligação éster por lipases ou agente químico na presença de umidade;
- Rancidez oxidativa: oxidação dos ácidos graxos insaturados.

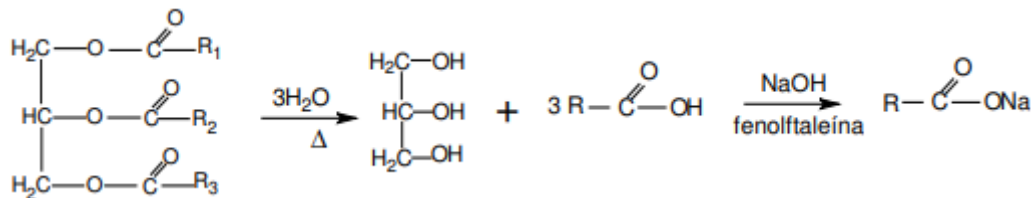
Assim, as transformações supracitadas podem afetar a qualidade organoléptica dos alimentos, além disso há efeitos tóxicos (consumo prolongado), a redução da digestibilidade e valor nutricional (BOBBIO e BOBBIO, 2001).

2.3.1 Índice de acidez e ácidos graxos livres

O IA (índice de acidez) indica o estado de conservação do óleo, visto que a decomposição dos glicerídeos é catalisada pelo aquecimento e pela luz. A rancidez hidrolítica é quase sempre acompanhada pela formação de ácido graxo livre (Figura 9), indicando a deterioração provenientes da hidrólise dos triacilgliceróis.

A rancidez hidrolítica pode ocorrer por meio de enzimas ou agentes químicos (ácidos e bases), levando a formação de ácidos graxos livres (acidez), saturados e insaturados. Essa alteração é importante, principalmente, para lipídeos que contêm ácidos graxos de baixo peso molecular, ou seja, voláteis (aromas) (BOBBIO e BOBBIO, 2001).

FIGURA 9: Reação de determinação de ácidos graxos livres.



Fonte: Tofanini (2004).

O IA pode ser definido como a massa em miligramas (mg) de hidróxido de potássio (KOH) necessária para neutralizar os ácidos livres de um grama (g) da amostra. É válido notar que altas concentrações de ácidos graxos livres podem induzir a lixiviação de metais (tubulações, equipamentos e recipientes). Dessa forma, o teor de acidez fornece um dado importante na avaliação do estado de conservação do óleo (SANTOS et al., 2017).

A Tabela 3 ilustra os valores máximos de IA para óleos e gorduras vegetais, de acordo com a RESOLUÇÃO DE DIRETORIA COLEGIADA – RDC Nº 270, DE 22 DE SETEMBRO

DE 2005, ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) e INSTRUÇÃO NORMATIVA - IN N° 87, DE 15 DE MARÇO DE 2021, ANVISA.

TABELA 3: Valores máximos de IA para diferentes tipos de óleos e gorduras vegetais.

Tipo de óleo	Máximo índice de acidez (mg KOH/g)
Óleos e gorduras refinados (exceto azeite de oliva refinado e óleo de bagaço de oliva refinado)	0,6
Óleos prensados a frio e não refinados	4,0
Óleo de palma virgem	10,0

Fonte: ANVISA (2005) e IN N°87 (2021)

Os AGL são produtos da hidrólise de triglicerídeos em óleos. Nos óleos comestíveis, sua formação ocorre principalmente durante os procedimentos de produção e armazenamento e, em geral, durante o manuseio da matéria-prima. Processos de deterioração em lipídios são fontes adicionais de AGL. Por exemplo, AGL de cadeia curta pode surgir da oxidação secundária de aldeídos insaturados, bem como da clivagem de hidroperóxidos lipídicos. A sua concentração em óleos depende de múltiplos fatores, nomeadamente a qualidade e variedade da matéria-prima, processamento, armazenamento, idade do óleo e estado de deterioração (DI PIETRO et al., 2020).

Um método estabelecido para medir o conteúdo de AGL é o chamado “valor ácido/índice de acidez” (IA). O IA é um parâmetro importante para avaliação da qualidade na determinação de AGL em lipídios. De fato, o teor de AGL em óleos vegetais afeta suas propriedades e tem implicações em muitos campos de aplicação. Em óleos comestíveis, os AGL são indesejáveis, pois o alto teor de AGL resulta em aumento das perdas durante o refino, baixa qualidade do sabor e estabilidade do óleo comestível acabado e rancidez do óleo (MAHESAR et al., 2014).

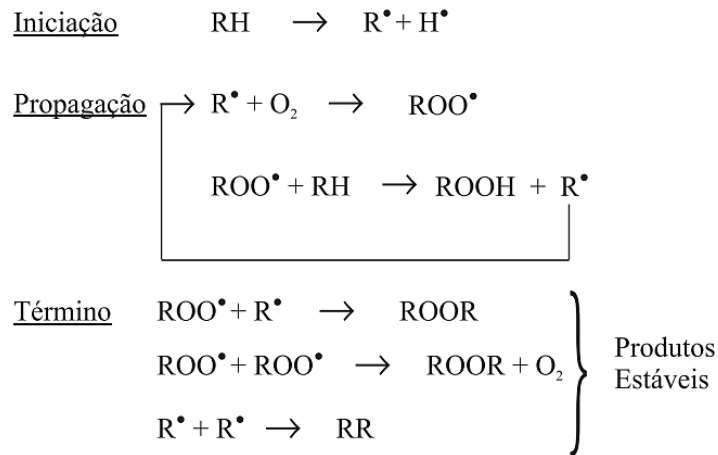
No entanto, o método IA clássico apresenta algumas desvantagens. Geralmente depende de um ponto final visual, de modo que sua precisão pode ser comprometida, por exemplo, no caso de uma amostra de cor forte. Embora a introdução de tecnologias como a determinação potenciométrica de *endpoints* tenha aperfeiçoado significativamente o método, há outras desvantagens: demorado, requer um grande tamanho de amostra e grandes quantidades de reagentes químicos, incluindo solventes orgânicos (SANTOS et al., 2017).

2.3.2 Índice de peróxido

O IP caracteriza a rancidez oxidativa que é a autooxidação dos acilgliceróis com ácidos graxos insaturados por oxigênio atmosférico. O IP é um método clássico que detecta a presença de hidroperóxidos, produtos primários da oxidação. A presença destes compostos é um indício do início da deterioração das amostras de óleos e gorduras (AOCS 2004). Quando sua concentração atinge um certo nível, mudanças complexas ocorrem, formando compostos de baixo peso moleculares oriundos de sua degradação (TOFANINI, 2004).

A oxidação é um processo autocatalítico e desenvolve-se em aceleração crescente, uma vez iniciada. Fatores como temperatura, enzimas, luz e íons metálicos podem influenciar a formação de radicais livres. O radical livre em contato com oxigênio molecular forma um peróxido que, em reação com outra molécula oxidável, induz a formação de hidroperóxido e outro radical livre. Os hidroperóxidos dão origem a dois radicais livres, capazes de atacar outras moléculas e formar mais radicais livres, dando assim uma progressão geométrica (**Figura 10**). As moléculas formadas, contendo o radical livre, ao se romperem formam produtos de peso molecular mais baixo (aldeídos, cetonas, álcoois e ésteres), os quais são voláteis e responsáveis pelos odores da rancificação (BELLAVÉR et al., 2004; HOCHSCHEIDT et al., 2020).

O índice de peróxido determina, em moles por 1000 g de amostra, todas as substâncias que oxidam o iodeto de potássio (KI), devido sua ação fortemente oxidante (STORCH et al., 2008). Definido como o conteúdo de oxigênio reativo expresso em termo de miliequivalentes (meq) de iodo livre por quilograma de gordura.

FIGURA 10: Esquema geral de oxidação lipídica.

onde: RH - Ácido graxo insaturado; R^\bullet - Radical livre;
 ROO^\bullet - Radical peróxido e ROOH - Hidroperóxido

Fonte: Ramalho et al. (2005); Reis et al.(2019).

A Tabela 4 apresenta os valores máximos de IP para óleos e gorduras vegetais de acordo com a RDC N° 270, DE 22 DE SETEMBRO DE 2005 e INSTRUÇÃO NORMATIVA - IN N° 87, DE 15 DE MARÇO DE 2021, ANVISA.

TABELA 4: Valores máximos de IA para diferentes tipos de óleos e gorduras vegetais.

Tipo de óleo	Máximo índice de peróxido (meq/kg)
Óleos e gorduras refinados (exceto azeite de oliva refinado e óleo de bagaço de oliva refinado)	10,0
Óleos prensados a frio e não refinados	15,0
Óleo de bagaço de oliva refinado	5,0

Fonte: ANVISA (2005) e IN N°87 (2021)

2.4 FERRAMENTAS BIBLIOMÉTRICAS

O termo “bibliometria” foi criado por Paul Orlet, em 1934. O termo consiste de um estudo quantitativo que fornece informação com a aplicação de análises estatísticas e matemáticas. O objetivo é a produção de um novo conhecimento, com vistas a futuras pesquisas ou intervenções (SANTOS et al., 2020). Dessa forma, é importante para mensurar a relevância de determinado assunto, baseada em dados como número de documentos publicados (teses, dissertações, artigos, revistas e livros), número de citações, número de autores, entre outros.

Atualmente existem diversas bases de dados disponíveis no ambiente acadêmico para realizar consultas científicas. Alguns exemplos são: Google Scholar, Science Direct (Elsevier), Web of Science (Clarivate Analytics) e Scopus (Elsevier). De maneira geral, ao realizar uma pesquisa em uma base de dados, utilizam-se palavras-chave relacionadas ao tema de interesse. O uso de aspas (“ ”) tem como objetivo procurar termos juntos, na sequência inserida, enquanto que o truncamento de uma palavra (*) serve para procurar palavras que iniciam ou terminam com parte da palavra-chave. Além disso, os buscadores das bases de pesquisa permitem a utilização de operadores que atuam como palavras que informam ao sistema de busca como combinar os termos de sua pesquisa como AND, OR, NOT, a fim de facilitar a visualização da busca (sendo importante ressaltar que estes devem ser escritos em letras maiúsculas).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 SELEÇÃO E PREPARO DA MATÉRIA – PRIMA

Os insetos *T. molitor* foram adquiridos vivos. . Depois da compra, submeteram-se as larvas a uma avaliação de tamanho e, ao apresentarem tamanho inferior ao desejado, foram depositadas em caixas de plástico para serem alimentadas com uma fonte nutricional (farelo de trigo) e fontes de água (batatas, maçãs e bananas), até atingirem o aspecto adequado.

Após a inativação dos insetos por congelamento a 30°C por 24 h, eles foram moídos em um moedor de facas e liofilizados

3.2 BASES DE DADOS E FORMATO DE PESQUISA

Considerando as bases de dados disponíveis, a título de comparação, foram escolhidas a *Scopus (Elsevier)* e o *Web of Science (Clarivate Analytics)* para a realização do estudo bibliométrico. A pesquisa na base *Scopus (Elsevier)* foi feita em configuração única, com palavras-chaves diretamente no buscador, selecionando o tipo de pesquisa como avançada.

Na base do *Web of Science (Clarivate Analytics)*, a pesquisa foi realizada em duas configurações: (1) Todas as bases de dados e (2) *Web of Science Core Collection* (Coleção principal da *Web of Science*). Ambas as configurações são mostradas nas Figuras 11 e 12.

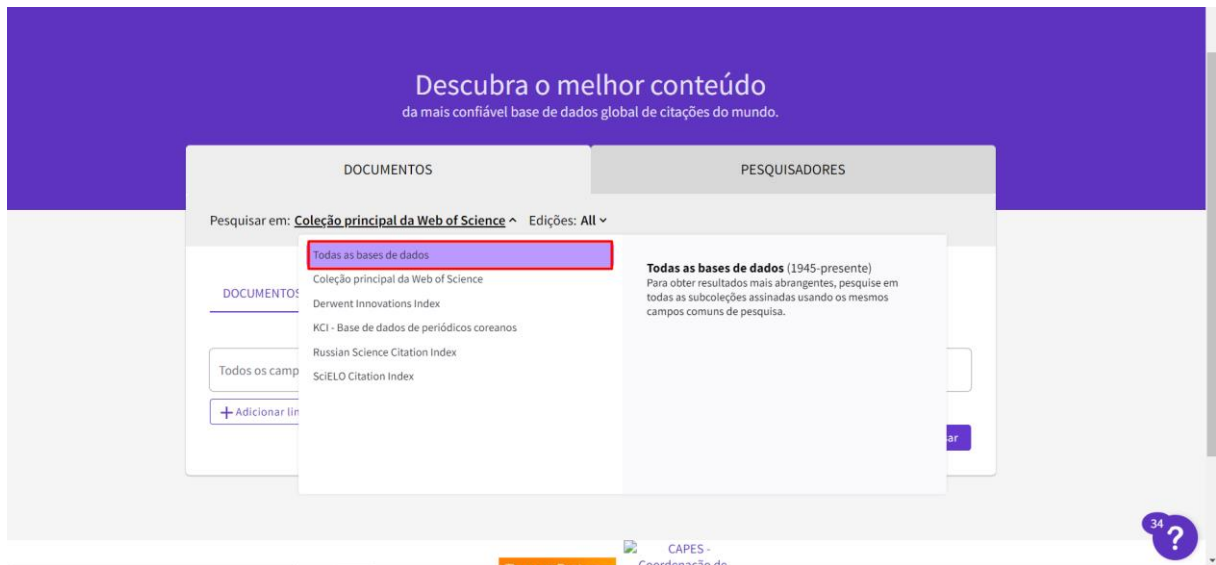
Uma investigação preliminar foi realizada para verificar a forma de busca mais adequada, para ambas as bases. Três formas de busca foram testadas:

i → “*Tenebrio molitor*” OR “*yellow mealworm*” OR “*mealworm*” + Refinar resultados por técnica;

ii → “*Tenebrio molitor*” OR “*yellow mealworm*” OR “*mealworm*” AND “*Lipids*” + Refinar resultados por técnica;

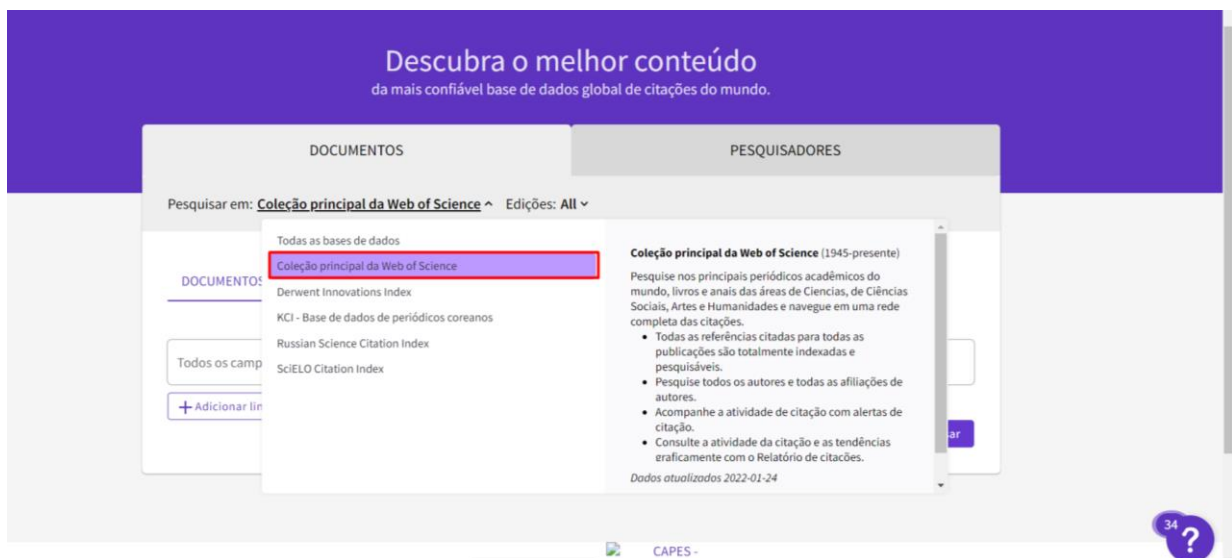
iii → “*Tenebrio molitor*” OR “*yellow mealworm*” OR “*mealworm*” AND “*Lipids*” AND “*Insect Lipid Extraction*” OR “*Supercritical Fluid Extraction*” OR “*Supercritical Carbon Dioxide Extraction*”

FIGURA 11: . Configurações da pesquisa em todas as bases de dados *Web of Science*.



Fonte: Elaborado pelo(a) autor(a) (2022).

FIGURA 12: . Configurações da pesquisa na Coleção Principal da *Web of Science*.



Fonte: Elaborado pelo(a) autor(a) (2022).

É importante ressaltar que todas as pesquisas foram feitas no modo avançado com foco somente no resumo dos documentos. O refinamento dos resultados, realizado nas investigações (i) e (ii), foi feito através da funcionalidade “Refinar resultados” das bases de dados apresentadas nas Figuras 13 e 14.

FIGURA 13: Caixa de texto para refinar os resultados com palavras-chave nas formas de busca (i) e (ii) na base Scopus.

Scopus

Search Sources Lists SciVal > ? 🔔 🏠

A test version of the search results page is available. We are working on a new results page. Give it a try and share your feedback. [Try the test version](#)

1,779 document results (a)

TITLE-ABS-KEY("Tenebrio molitor" OR "yellow mealworm" OR "mealworm") AND PUBYEAR > 2009 AND PUBYEAR < 2022

Edit Save Set alert

Search within results... 🔍

Refine results

Limit to Exclude

Open Access

All Open Access (816) >

Gold (485) >

Hybrid Gold (75) >

Documents Secondary documents Patents View Mendeley Data (235)

Analyze search results Show all abstracts Sort on: Date (newest) ▾

All ▾ Export Download View citation overview View cited by Save to list ... 🖨️ 📧 📄

	Document title	Authors	Year	Source	Cited by
1	Critical Roles of Spätzle5 in Antimicrobial Peptide Production Against <i>Escherichia coli</i> in <i>Tenebrio molitor</i> Malpighian Tubules <i>Open Access</i>	Ali Mohammad Kojour, M., Edosa, T.T., Jang, H.A., (...), Jo, Y.H., Han, Y.S.	2021	Frontiers in Immunology 12,760475	0

Fonte: Elaborado pelo(a) autor(a) (2022).

FIGURA 14: Caixa de texto para refinar os resultados com palavras-chave nas formas de busca (i) e (ii) na base Web of Science.

Clarivate

Português 🏠 Produtos

Web of Science™ Pesquisar Lista de itens marcados Histórico Alertas Carolina Xavier ▾

Pesquisar > Resultados (b)

4,381 resultados de Todas as bases de dados para:

"Tenebrio molitor" OR "yellow mealworm" OR "mealworm" (Tópico) Analisar resultados Relatório de citações Criar alerta

Copiar link dos resultados da busca | Tempo estipulado: 2020-01-01 to 2021-12-31 (Data de publicação)

Publicações Você também pode gostar de...

Refinar resultados

Procurar nos resultados... 🔍

Filtros rápidos

Artigos de revisão 191

Acesso Aberto 1,159

Anos da publicação ▾

2022 3

0/4,381 Adicionar à Lista de itens marcados Exportar ▾ Classificar por: Relevância < 1 de 88 >

1 Feed useful for **Tenebrio molitor**, comprises distilled grains, **yellow mealworm** pupa powder and **yellow mealworm** adult powder
AU2020103377-A4
Inventor(es) : ZHOU Y; ZHOU Z (-); LONG X
Depositante(s) : UNIV SICHUAN AGRIC
Número de acesso primário no Derwent : 2021-12731E

34 ?

Fonte: Elaborado pelo(a) autor(a) (2022).

3.3 METODOLOGIA DE EXTRAÇÃO

Um sistema de extração supercrítica consiste nos seguintes componentes: uma fonte de CO₂, um compressor ou bomba de alta pressão, um vaso extrator, uma válvula de descompressão (ou válvula de expansão) e uma câmara de separação, além dos controladores de temperatura e pressão. O CO₂ pressurizado, em seu estado líquido, é fornecido ao sistema através do compressor, passando então por um pré-aquecedor, onde sua temperatura é elevada, ocorrendo assim sua passagem do estado líquido ao supercrítico. A medida que flui no sistema, o scCO₂ passa pela matriz sólida localizada na câmara de extração. Em seguida, a mistura soluto-solvente é submetida à expansão ao passar pela válvula de expansão. A pressão e temperatura reduzidas, o extrato precipita no frasco coletor (LIVIA, 2010; DOS SANTOS, 2011).

Os processos de extração supercrítica podem ser divididos em três escalas: laboratorial/analítica, piloto e industrial. Os equipamentos em escala laboratorial, usados para esse estudo, são empregados diretamente na preparação de amostras de análise química, incluindo a maioria dos utilizados em pesquisas científicas.

O experimento de extração supercrítica foi realizado no LATESC (Laboratório de Termodinâmica e Tecnologia Supercrítica/EQA – UFSC), em uma unidade de extração que opera até a pressão máxima de 300 bar.

O sistema fluido supercrítico de CO₂ foi usado para extrair os lipídeos da biomassa de *T. molitor*. As temperaturas e pressões dos vasos de extração e liberação são apresentadas na Tabela 5.

TABELA 5: Condições de extração para as quatro amostras de óleo de *T. molitor*.

Extração	Temperatura [°C]	Pressão [bar]	Vazão	Tempo [minutos]
SC-03	45	300	0,8	74
SC-07	70	300	0,8	74
SC-08	45	200	0,8	74
SC-10	70	200	0,8	74

Fonte: Elaborado pelo(a) autor(a) (2022).

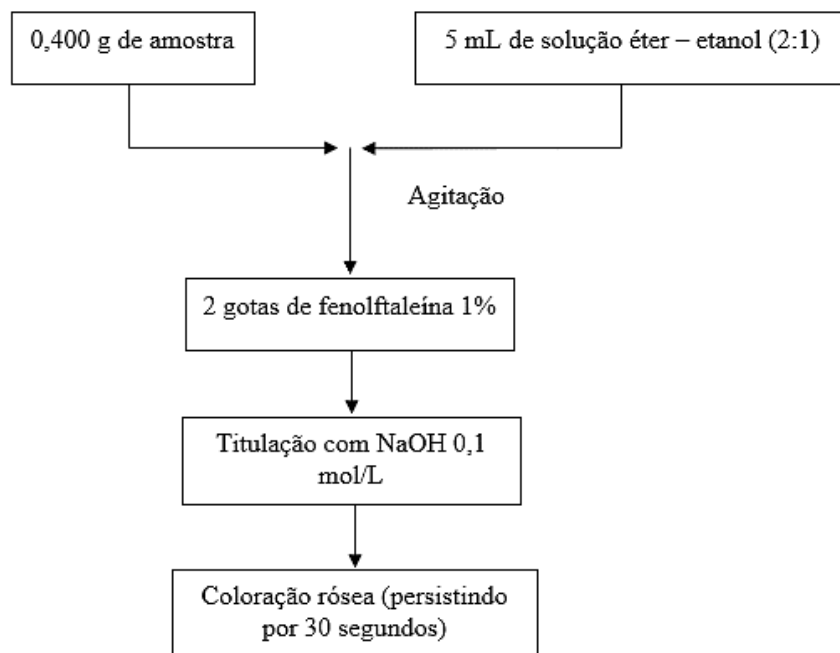
3.4 CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DE *TENEBRIO molitor*

3.4.1 Índice de acidez e Ácidos graxos livres

O IA foi determinado de acordo com a metodologia proposta pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL 2008), a quantidade de amostra e reagentes foram reduzidos proporcionalmente, conforme apresenta a Figura 15. Os experimentos foram realizados em duplicata.

Cerca de 0,400 g de óleo de *T. molitor* e 5 mL de solução éter-álcool (2:1) foram adicionado em Erlenmeyer (50 mL). Acrescentou-se 2 gotas de fenolftaleína ao sistema (amostra + solução éter-álcool) e titulou-se com solução padronizada (0,1 mol/L) de hidróxido de sódio (NaOH) até o surgimento da coloração rósea (persistindo por, no mínimo, 30 segundos, para que seja considerado o fim da titulação).

FIGURA 15: Fluxograma da metodologia para o cálculo de IA



Fonte: Elaborado pelo(a) autor(a) (2022).

Os valores de índice de acidez foram calculados segundo a Equação 1, em miligramas de KOH por grama de óleo extraído (mg KOH/g):

$$IA \left(\frac{mg \text{ KOH}}{g \text{ óleo}} \right) = \frac{V \text{ (mL)} * C \text{ (mol/L)} * 56,1}{m_{\text{óleo}} \text{ (g)}} \quad (1)$$

Onde o V representa o volume da solução padrão de NaOH gasto na titulação; C a concentração da solução NaOH; 56,1 o fator de conversão molar para KOH; $m_{\text{óleo}}$ o peso da amostra.

O conteúdo de AGL foi calculado usando a equação 2 onde IA é o valor ácido, M_{KOH} a massa molar do hidróxido de potássio, e M_{AG} a massa molar do ácido oleico sendo o ácido graxo (AG) principal do óleo.

$$AGL (\%) = \frac{IA * M_{AG} * 100}{M_{KOH} * 1000} \quad (2)$$

3.4.2 Índice de peróxido

O índice de peróxido (IP) foi determinado usando a metodologia proposta pela *American Oil Chemists' Society* (AOCS 2004). A quantidade de amostra e reagentes foram reduzidos proporcionalmente, conforme apresenta a Figura 16. Os experimentos foram realizados em duplicata.

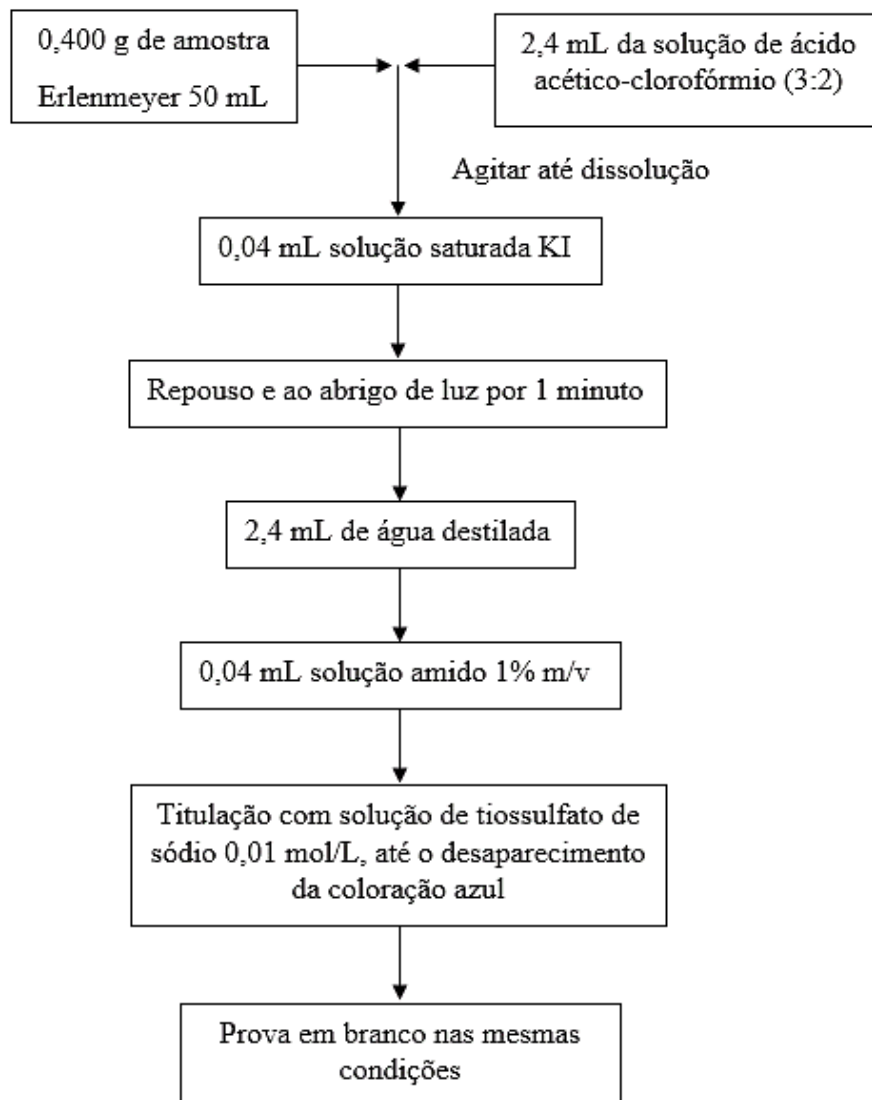
Cerca de 0,400 g de óleo de *T. molitor* foi adicionado em Erlenmeyer (50 mL) e adicionou-se 2,4 mL de solução de ácido acético-clorofórmio (3:2) sob agitação até a completa dissolução da amostra. Adicionou-se 0,04 mL de solução saturada de iodeto de potássio (KI), deixando a amostra em repouso e protegida em relação a exposição a luz por 1 minuto. Acrescentou-se 2,4 mL de água destilada e 0,04 mL de solução indicadora de amido 1% m/v e titulou-se a mistura com solução de tiosulfato de sódio 0,01 mol/L, até o desaparecimento da coloração azul. O mesmo procedimento foi feito para uma prova em branco, utilizando água destilada deionizada no lugar da amostra.

O índice de peróxido (miliequivalentes peróxido/kg óleo) foi calculado usando a equação 3:

$$IP \left(\frac{meq}{kg} \right) = \frac{(A - B) * C (mol/L) * F * 1000}{m_{\text{óleo}} (g)} \quad (3)$$

Onde: [A - volume (mL) gasto na titulação da amostra; B - volume (mL) gasto na titulação do branco; C - concentração (mol/L); F - fator de correção] todos referentes à solução de tiosulfato de sódio 0,01 mol/L; $m_{\text{óleo}}$ - massa da amostra do óleo investigado.

FIGURA 16: Fluxograma da metodologia para o cálculo de IP



Fonte: Elaborado pelo(a) autor(a) (2022).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ANALÍSE BIBLIOMÉTRICA

O levantamento da análise bibliométrica, entre os anos de 2010 a 2021, realizado nas duas bases de dados selecionadas e seguindo a metodologia descrita, é apresentado a seguir.

4.1.1 Base Scopus

4.1.1.1 Busca (i)

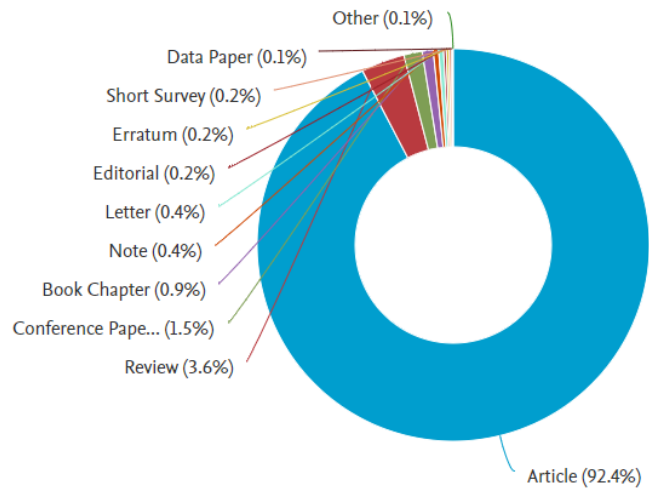
A primeira busca (Figura 17) resultou em 1.779 documentos, sendo aproximadamente 92,4% (1643) artigos de pesquisa, enquanto que 3,6% (64) são artigos de revisão, 1,5% (27) são documentos/resumos de conferências e 0,9% (16) capítulos de livros. O restante dos documentos está distribuído entre observações, carta, notas, editorial, pesquisa curta e documento de dados.

Em relação ao ano de publicação, não houve uma extrema variação na quantidade de publicações entre os anos de 2010 a 2017, estando entre a margem de 63 a 143, porém a partir de 2017, percebeu-se um crescimento exponencial, onde o número de publicações atingiu, em 2021, um valor de 279 publicações.

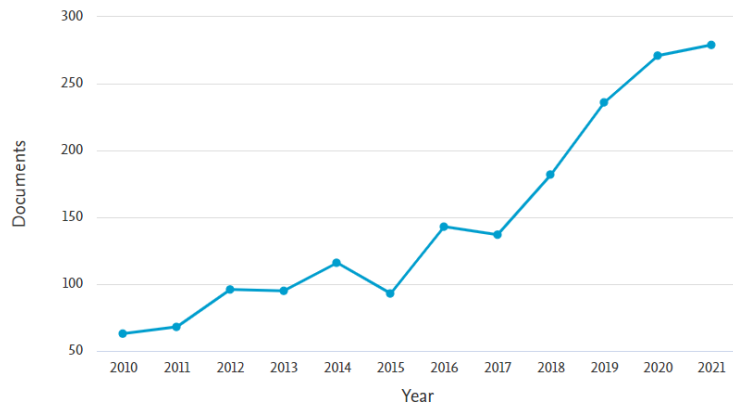
No que se refere ao país/território de publicação, os Estados Unidos apresentaram-se em primeiro com 221 publicações, enquanto que a China e a Coreia do Sul estão logo atrás com 194 e 182 publicações respectivamente. O Brasil apresentou um total de 174 publicações entre os anos de 2010 e 2021.

FIGURA 17: Dados referentes a busca (i), quanto ao tipo, quantidade por ano e território de publicações entre os anos de 2010 e 2021.

Documents by type

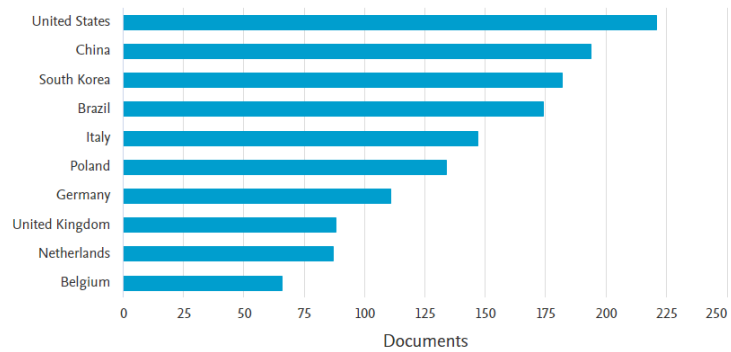


Documents by year



Documents by country or territory

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.



Fonte: Scopus (2022)

4.1.1.2 Busca (ii)

Na busca ii (Figura 18), encontraram-se 124 documentos, com 89,5% (111) sendo artigos de pesquisa, 7,3% (9) artigo de revisão e 3,2% (4) documentos de conferência.

Referente ao ano de publicação, de 2010 a 2013 houve uma quantidade mínima de documentos publicados, variando entre zero a dois artigos de pesquisa. Enquanto que nos anos de 2014 – 2016 e 2017 – 2018 houve publicação constante de documentos, de 7 e 11, respectivamente.

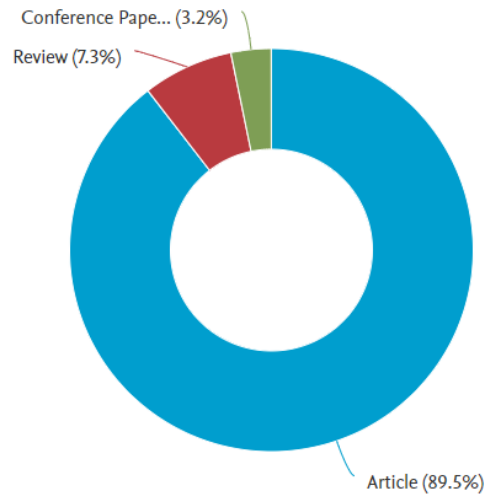
Pode-se perceber um maior número de publicações no ano de 2019, atingindo um valor de 29 documentos, isso porque, nesse ano, o Fórum Econômico Mundial (WEF) divulgou um relatório, intitulado “Meat: the Future series - Alternative Proteins” em que examina os benefícios de substitutos da alimentação tradicional à base de animais, sugerindo que é preciso “integrar mais alternativas de proteína à base de plantas na dieta mundial, a fim de melhorar significativamente a saúde humana e a sustentabilidade ambiental”². Esse foi considerado um ponto de partida para uma análise mais aprofundada tanto para proteínas quanto para outros compostos químicos orgânicos em insetos.

Ao analisar o país de publicação, a Itália apresentou-se em primeiro com 24 publicações, enquanto que a Coreia do Sul e a China, ocupam a segunda e terceira colocação, respectivamente. O Brasil encontra-se em quinto colocado, com um total de 10 publicações, igualando-se a Bélgica.

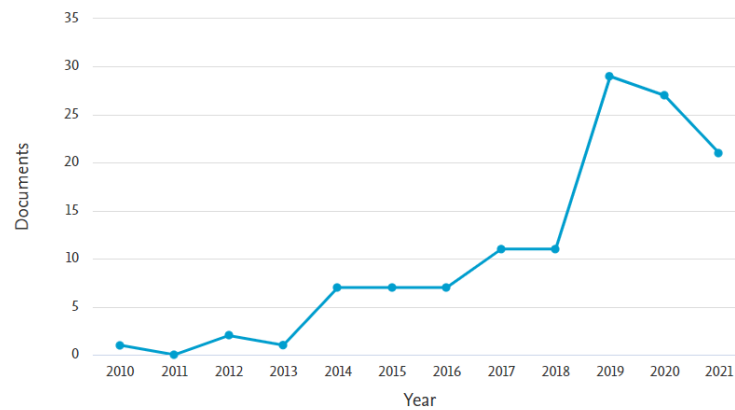
² Disponível em: < <https://vegpedia.com/2019/02/04/forum-economico-mundial-lanca-relatorio-sobre-a-necessidade-da-mudanca-no-sistema-alimentar/>>. Acessado em 20/01/2022.

FIGURA 18: Dados referentes a busca (ii), quanto ao tipo, quantidade por ano e território de publicações entre os anos de 2010 e 2021.

Documents by type

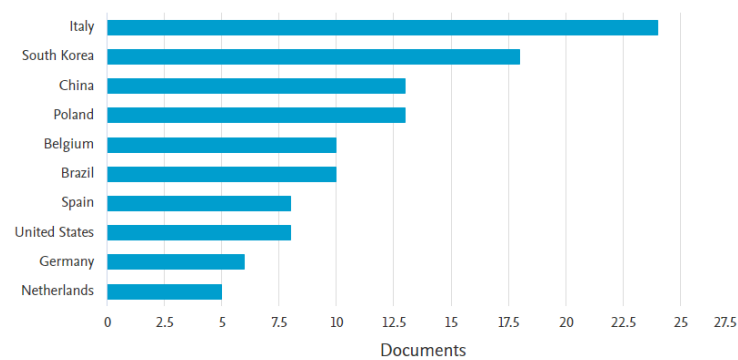


Documents by year



Documents by country or territory

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.



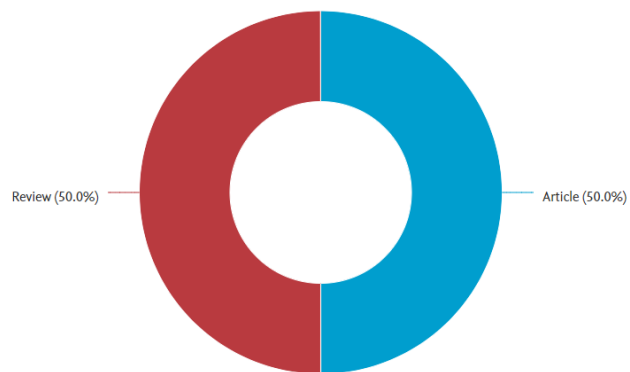
Fonte: Scopus (2022)

4.1.1.3 Busca (iii)

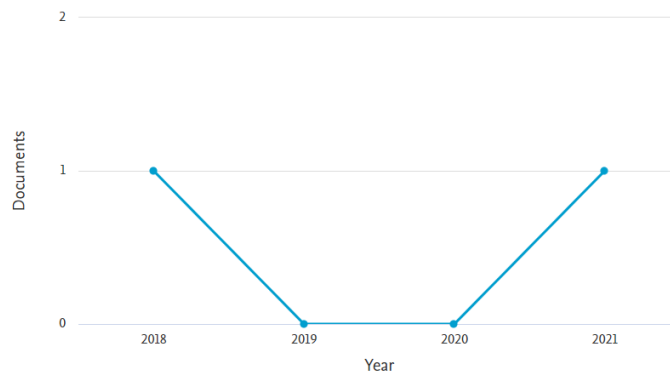
Na busca iii (Figura 19), foram encontrados somente 2 documentos. Sendo 1 (50%) artigo de pesquisa, publicado no ano de 2018, na Finlândia e 1 (50%) artigo de revisão, publicado em 2021, no Brasil.

FIGURA 19: Dados referentes a busca (iii), quanto ao tipo, quantidade por ano e território de publicações entre os anos de 2010 e 2021.

Documents by type

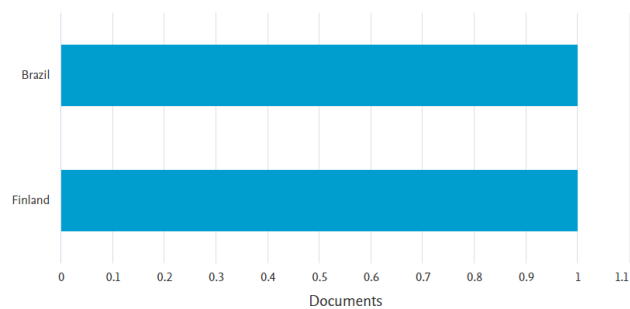


Documents by year



Documents by country or territory

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.



Fonte: Scopus (2022)

4.1.2 Base *Web of Science*

4.1.2.1 *Todas as bases de dados*

Na primeira busca, encontraram-se um total de 4.381 documentos, sendo aproximadamente 57% (2.483) artigos de pesquisa, 40,9% (1.788) patentes, 14,4% (631) outros e 4,4% (191) artigos de revisão. O restante dos documentos está distribuído entre resumos, notas, capítulos de livros, materiais editoriais, entre outros.

Analisando os anos de publicação, a partir de 2015, todos os anos apresentaram um valor expressivo de documentos, chegando a um maior número de publicações em 2019, com 554 publicações.

Em relação ao país/região, destaca-se os Estados Unidos com 366 documentos publicados, e a seguir a China e o Brasil com 263 e 246 documentos, respectivamente. A Itália enquadrou-se em quarto com 224 e a Coreia do Sul, em quinto com 178 publicações.

A busca (ii) resultou em 3.631 documentos, com 58% (2.106) artigos de pesquisa, 39,7% (1.443) patentes, 14,9% (541) outros e 4,7% (172) artigos de revisão. Outros tipos de documentos encontrados nessa pesquisa foram resumos de reuniões, resumos, materiais editoriais, correções, capítulos de livros a artigo de dados.

Referente ao ano de publicação, houve um aumento considerável entre os anos de 2014 e 2015, atingindo um valor de 459 publicações no ano de 2019, o maior encontrado entre os anos analisados.

Analisando a origem das publicações, os Estados Unidos apresentaram uma quantidade de 294 publicações, em seguida tem-se a China e Itália com 245 e 212 respectivamente. O Brasil encontra-se em quarto com 192 e a Coreia do Sul em quinto com 164 documentos.

Na busca (iii) foram encontrados somente dois documentos, ambos classificados como artigos de pesquisa. Um publicado em 2017 na Áustria e Alemanha, e o outro em 2021, no Brasil.

4.1.2.2 *Coleção Principal da Web of Science*

As Tabelas 6 e 7 apresentam os dados para as três buscas de acordo com o tipo de documentos e o país de origem, respectivamente.

De acordo com as análises, a busca (i) apresentou um total de 1.929 documentos entre os anos de 2010 a 2021. Dentre esses documentos, aproximadamente 89% (1.716) foram artigos de pesquisa, 7,4% (144) de artigos de revisão, 2,5% (47) de documentos/resumos de conferências. Outros tipos enquadraram-se nas categorias de resumos de reuniões, cartas, materiais editoriais, correções e artigo de dados.

Analisando os anos de publicação, não houve grande mudança nos valores entre os anos de 2010 a 2015, variando entre 77 a 102, e a partir de 2016 observa-se um crescimento expressivo de 131 a 305, esta última publicada no ano de 2021.

Com relação ao país de publicação, os Estados Unidos publicaram 242 documentos, enquanto que a China e a Itália, 207 e 206 respectivamente. O Brasil publicou 182 e a Coreia do Sul, 153 documentos.

A busca (ii), mostrou um total de 71 documentos, entre os anos de 2010 a 2021. Com 84,5% (60) sendo artigos de pesquisa, 14% (10) artigo de revisão e 2,8% (2) artigos/documentos de conferência.

Observando os anos de publicação, houve um baixo registro de publicações entre os anos de 2010 a 2018, e somente a partir de 2019 que essas quantidades aumentaram, atingindo um valor de 21 no ano de 2021.

Referente a origem de publicação, a Itália publicou um total de 29 documentos, enquanto que a Bélgica e Espanha, 9. Brasil, França, Alemanha, Holanda e China publicaram 5 documentos cada.

Na última busca (iii), somente dois documentos foram encontrados, com uma totalidade de 100% sendo artigos de pesquisa, publicados nos anos de 2017 e 2021, na Áustria e Alemanha e Brasil, respectivamente.

TABELA 6: Número de documentos encontrados em todas as bases e na Coleção Principal da *Web of Service*, entre os anos de 2010 a 2021.

Forma de Pesquisa	i¹	ii¹	iii¹	i²	ii²	iii²
Artigo de Conferência	-	-	-	47	2	-
Artigos de Pesquisa	2.483	2.106	2	1.716	60	2
Artigo de Revisão	191	172	-	144	10	-
Patente	1.788	1.443	-	-	-	-
Outros	631	541	-	-	2	-
Total	4.381	3.631	2	1.929	71	2

Legenda: ¹Todas as bases de dados; ² Coleção Principal de Dados da *Web of Science*

Fonte: Elaborado pelo(a) autor(a) (2022).

TABELA 7: País/Região de publicação encontrados em todas as bases e na Coleção Principal da *Web of Service*, entre os anos de 2010 a 2021.

Forma de Pesquisa	i¹	ii¹	iii¹	i²	ii²	iii²
Alemanha	174	150	1	123	5	1
Áustria	-	-	1	-	-	1
Brasil	246	192	1	182	5	1
China	263	245	-	207	5	-
Coreia do Sul	178	164	-	153	-	-
Estados Unidos	366	294	-	242	-	-
Itália	224	212	-	206	21	-

Legenda: ¹Todas as bases de dados; ² Coleção Principal de Dados da *Web of Science*

Fonte: Elaborado pelo(a) autor(a) (2022).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DE *TENEBRIO MOLITOR*

4.2.1 Índice de acidez e Ácidos graxos livres

O IA indica o estado de conservação dos óleos e gorduras, uma vez que, com o tempo, pode ocorrer a hidrólise com o aparecimento de ácidos graxos livres. A neutralização desses ácidos livres com soluções alcalinas é geralmente utilizada para a maioria dos óleos após a extração.

A acidez livre de uma gordura não é uma constante ou característica, mas é uma variável relacionada com a natureza, qualidade da matéria-prima, grau de pureza da gordura, com o processamento e, principalmente, com as condições de conservação do óleo (TOFANINI, 2004; FUENTES, 2011). Assim, elevados índices de acidez representam baixa qualidade do óleo (IAL 2008).

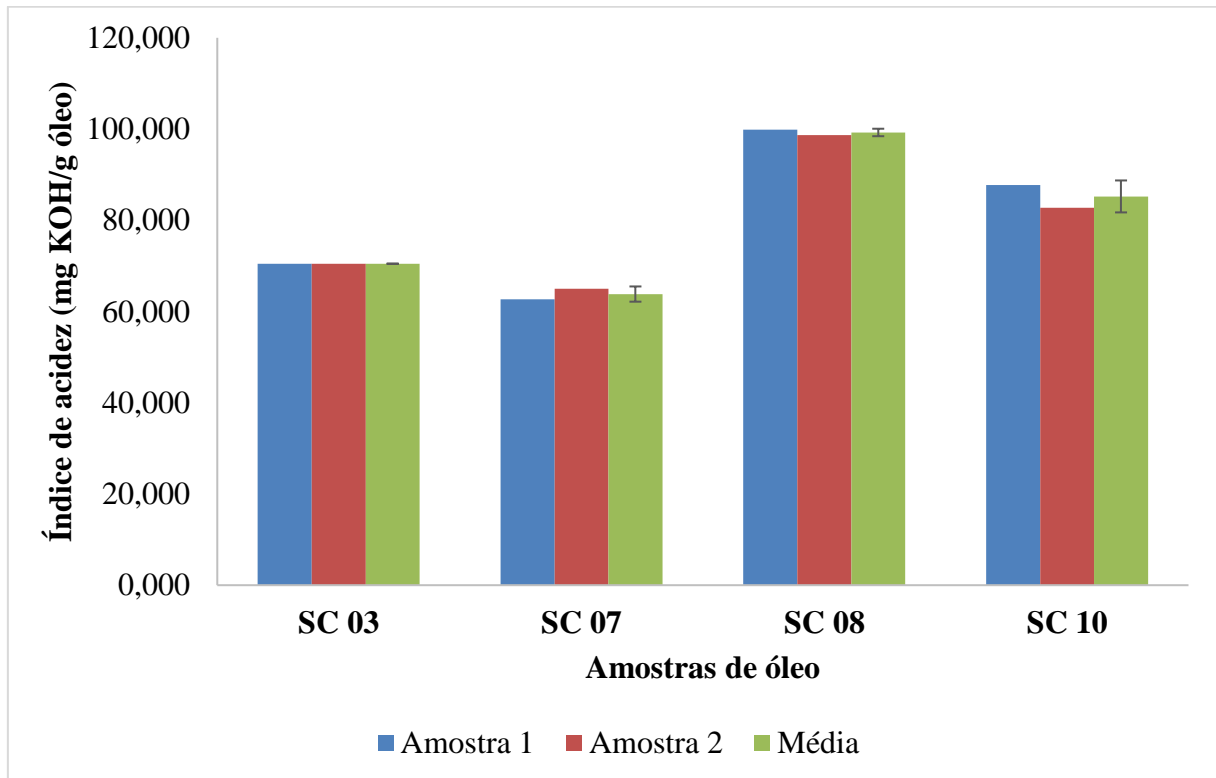
A Tabela 8 e Gráfico 1 mostra os valores do índice de acidez obtida para cada extração de óleo de *T. molitor*.

TABELA 8: Valores de IA encontrados para cada extração.

Amostra		Extração		IA (mg KOH/ g óleo)
		T (°C)	P (bar)	Média ± DP
1	SC – 03	45	300	70,474 ± 0,005
2	SC – 07	70	300	63,823 ± 1,669
3	SC – 08	45	200	99,248 ± 0,819
4	SC – 10	70	200	85,224 ± 3,502

Fonte: Elaborado pelo(a) autor(a) (2022). Resultado em duplicata.

GRÁFICO 1: Índice de acidez de cada duplicata de amostra.



Fonte: Elaborado pelo(a) autor(a) (2022).

Pode-se observar que um aumento na pressão ocasiona um aumento na eficiência do scCO_2 , pois com o aumento da pressão há um aumento da densidade do CO_2 , passando a ter poder de solvatação de um solvente líquido. A partir disso, e de acordo com os valores da Tabela 8, percebe-se que as amostras extraídas a 300 bar, 1 e 2, apresentaram IA iguais a $70,474 \pm 0,005$ e $63,823 \pm 1,669$, respectivamente, enquanto que as amostras extraídas a 200 bar, 3 e 4, $99,248 \pm 0,819$ e $85,224 \pm 3,502$, respectivamente. O aumento da temperatura aumenta a pressão de vapor do soluto, fato este observado pelos dados calculados. O IA encontrado nas extrações realizadas a 70°C apresentaram-se menores do que das extrações a 45°C , indicando um aumento na eficiência da desacidificação, sendo esta influência menos expressiva que a pressão.

Esses valores foram considerados altos quando comparados a literatura (Tabela 9). Jeon et al., (2016), ao estudarem as propriedades físico-químicas e oxidativas dos óleos de *T. molitor* extraídos com n-hexano por Soxhlet, encontraram um valor de IA igual a $0,93 \text{ mg KOH/g}$. Son et al., (2020), ao utilizarem o mesmo método de extração, encontraram IA equivalente a $2,6 \pm 0,0 \text{ mg KOH/g}$ óleo. Zheng et al., (2013) e Siow et al., (2021) ao analisarem as características

físico-químicas do óleo extraído por Soxhlet com éter de petróleo, encontraram valores mais altos de IA, iguais a 7,6 e 21,57 mg KOH/g, respectivamente.

TABELA 9: Valores de IA do óleo de *T. molitor* de estudos anteriores.

Autores	Ano	IA (mg KOH/g óleo)	Método de Extração	
Jeon et al.	2016	0,93	Soxhlet – n hexano	3 horas a 170 rpm
Son et al.	2020	2,6 ± 0.0	Soxhlet – n hexano	6 horas a 170 rpm
Zheng et al.	2013	7,6	Soxhlet – éter de petróleo	8 horas em aquecimento
Siow et al.	2021	21,57 ± 0,01	Soxhlet – éter de petróleo	4 – 5 horas a 50 °C
Purschke et al.	2017	7,65 ± 0,13	Soxhlet – n hexano	24 horas a 25 °C
		7,79 ± 0,40	scCO ₂	325bar, 55 °C, 75min

Fonte: Elaborado pelo(a) autor(a) (2022).

Purschke et al., (2017) compararam as óleo de *T. molitor* extraído por scCO₂ (325 bar, 55°C, 75 minutos) e Soxhlet com hexano, e encontraram que o valor de IA das duas extrações não mostraram desvios significativos, sendo iguais a 7,79 ± 0,40 e 7,65 ± 0,13, respectivamente.

Portanto, não há uma tendência clara sobre a influência do solvente na acidez dos óleos extraídos a partir da biomassa de *T. molitor*.

O ácido graxo livre causa o aumento do valor ácido. À medida que as gorduras do óleo se tornam rançosas (podendo ser pelo aquecimento do óleo, por exemplo), os triglicerídeos são hidrolisados em ácidos graxos e glicerol, causando um aumento no número de acidez. Concomitantemente, o óleo possivelmente está sendo contaminado com constituintes ácidos, aumentando o IA correspondente. Os efeitos combinados de depleção de aditivos, contaminação ácida e outros eventos que afetam a acidez pode causar uma alteração no IA (COORPORATION, 2007).

O teor de AGL de óleos de *T. molitor* sob os diferentes regimes de scCO₂, aplicados nesse estudo, são apresentados na Tabela 10.

TABELA 10: Teor de AGL dos óleos extraídos.

		Extração		AGL (%)
Amostra		T (°C)	P (bar)	Média ± DP
1	SC – 03	45	300	35,481 ± 0,002
2	SC – 07	70	300	32,132 ± 0,840
3	SC – 08	45	200	49,967 ± 0,413
4	SC – 10	70	200	42,907 ± 1,763

Fonte: Elaborado pelo(a) autor(a) (2022).

A partir dos experimentos, e das diferentes condições operacionais utilizadas durante a extração, pode-se perceber que, com o aumento da pressão, menores valores de AGL foram encontrados, além de que pelo o aumento da temperatura de extração, de 45 °C para 70 °C, diminui-se ainda mais o AGL. Ainda sim esses valores são considerados altos, provavelmente devido à atividade hidrolítica durante a preparação dos insetos para produção de óleo.

De acordo com Siow et al., (2021), o óleo de *T. molitor* apresentou um alto teor de ácidos graxos livres (AGL) de $10,84 \pm 0,005$ %, enquanto que Purschke et al., (2017), ao realizarem uma análise de AGL de frações diferentes de óleo de *T. molitor*, coletadas em

intervalos de 15 minutos durante toda a extração scCO₂ a 250 bar e 65 °C, encontraram um conteúdo de AGL equivalente a $53,38 \pm 0,72 \%$ e $4,93 \pm 0,00 \%$ no primeiro e último intervalo, respectivamente.

Zheng et al., (2013) relataram que o óleo de *T. molitor* pode ser usada como matéria-prima para produzir biodiesel por meio de um processo de esterificação e transesterificação de duas etapas usando catalisador ácido e básico, respectivamente, devido ao alto teor de AGL no óleo do inseto.

4.2.2 Índice de peróxido

O IP é um indicador do grau de oxidação (Moura et al., 2019), tendo como consequência à destruição das vitaminas lipossolúveis e dos ácidos graxos essenciais, além da formação de subprodutos com sabor – odor forte e desagradável. Como os peróxidos são os primeiros compostos formados quando uma gordura deteriora, toda gordura oxidada dá resultado positivo nos testes de peróxidos (TOFANINI, 2004).

Os valores de peróxido encontrados no óleo de *T. molitor* para cada extração, são apresentados na Tabela 11 e Gráfico 2.

TABELA 11: Valores de IP encontrados para cada extração.

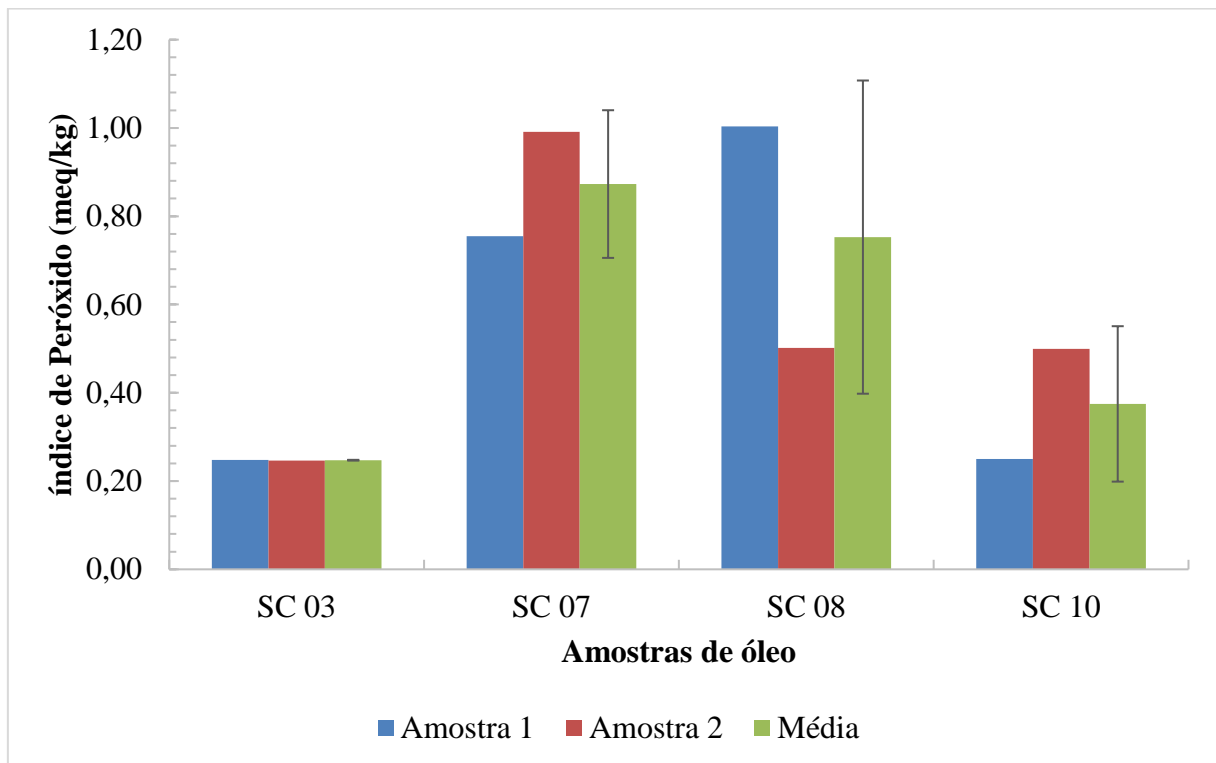
		Extração		IP (meq/kg) Média ± DP
Amostra		T (°C)	P (bar)	
1	SC – 03	45	300	0,247 ± 0,001
2	SC – 07	70	300	0,873 ± 0,167
3	SC – 08	45	200	0,753 ± 0,355
4	SC – 10	70	200	0,375 ± 0,176

Fonte: Elaborado pelo(a) autor(a) (2022). Resultado em duplicata.

Em geral, um aumento na pressão, à temperatura constante, causa um aumento na densidade do fluido supercrítico, elevando assim o seu poder solvente (DOS SANTOS, 2011). Dessa forma, ao comparar 1 e 3, que apresentam o mesmo valor de temperatura (45 °C), mas

pressão de 300 e 200 bar, respectivamente, resultou em um menor IP para a amostra 1. Porém, ao realizar a mesma comparação com as extrações 2 e 4, pode-se perceber que a amostra com menor pressão, apresentou um IP menor.

GRÁFICO 2: Índice de peróxido de cada duplicata de amostra.



Fonte: Elaborado pelo(a) autor(a) (2022).

Para a temperatura, de modo geral, pode-se afirmar que, a pressão constante, um aumento na temperatura, reduz a densidade do solvente. Esse efeito, no entanto, não é linear, pois, além de influenciar na densidade, mudanças na temperatura também influenciam na pressão de vapor e na energia cinética das moléculas do soluto. Assim, em temperaturas próximas do ponto crítico, o efeito da diminuição da densidade do solvente supercrítico é mais pronunciado (DOS SANTOS, 2011). Em vista disso, ao comparar as extrações 1 e 2, o índice de peróxido apresentou-se maior na amostra extraída com maior temperatura. Contudo, o contrário ocorre ao comparar as amostras 3 e 4.

Zheng et al. (2013) e Siow et al., (2021) realizaram uma análise do óleo de *T. molitor* extraído em um extrator Soxhlet com éter de petróleo, e encontraram valores de IP equivalentes à 0,27 e 0,156, respectivamente. Por outro lado, Jeon et al., (2016) e Son et al., (2020), ao utilizar uma extração em um extrator Soxhlet com n-hexano, encontraram valores maiores de IP, 19,01 e 3,5, respectivamente, sugerindo que o alto valor de peróxido do óleo extraído pode ser uma característica da própria larva de farinha (Tabela 12).

TABELA 12: Valores de IP do óleo de *T. molitor* de estudos anteriores.

Autores	Ano	IP (meq/kg)	Método de Extração	
Jeon et al.	2016	19,01	Soxhlet – n hexano	3 horas a 170 rpm
Son et al.	2020	3,5 ± 0.2	Soxhlet – n hexano	6 horas a 170 rpm
Zheng et al.	2013	0,27	Soxhlet – éter de petróleo	8 horas em aquecimento
Siow et al.	2021	0,156 ± 0,004	Soxhlet – éter de petróleo	4 – 5 horas a 50 °C

Fonte: Elaborado pelo(a) autor(a) (2022).

De acordo com o *Codex alimentarius* para gorduras e óleos comestíveis, o valor de IP pode ser de no máximo 10,00 meq/kg (CODEX, 1999). Portanto, a partir da análise de dados da Tabela 11, os óleos de *T. molitor* obtidos via extração supercrítica com CO₂ apresentaram qualidade satisfatória em relação ao ranço oxidativo.

Assim, a técnica supercrítica de extração, além de apresentar a vantagem de ajuste às variáveis do processo, a exemplo da temperatura e pressão, o que leva a alterações nas propriedades físico-químicas do solvente utilizado, é uma extração com *status* de tecnologia

limpa, visto que, o solvente mais utilizado (CO_2) não agride o ambiente e é geralmente considerado seguro (GRAS – *generally regarded as safe*), podendo preservar a oxidação lipídica, o que assume importância fundamental para manter a segurança e a qualidade dos produtos alimentícios.

CONCLUSÃO

A scCO₂ constitui uma técnica promissora para aplicação em processos de extração, uma vez que proporciona a obtenção de extratos de maior qualidade com um solvente não tóxico, a baixas temperaturas e sem resíduos de solventes orgânicos. De acordo com a revisão da literatura, percebeu-se que apesar de haver inúmeros estudos relacionados ao inseto *T. molitor*, uma baixa quantidade é relacionada aos seus lipídios e somente dois trabalhos são relacionados ao estudo via extração supercrítica. Logo, pode-se concluir que essa metodologia ainda é nova quando relacionada às convencionais. Cada vez mais pode-se dizer que, com o desenvolvimento tecnológico nas áreas de produção, extração e processamento de óleos comestíveis, é essencial o controle de identificação e determinação dos constituintes de interesse para avaliar a qualidade do produto. O óleo de *T. molitor* apresentou um valor baixo de peróxido, indicando sua estabilidade, permitindo que a qualidade do óleo seja preservada mesmo que o grau de insaturação seja relativamente alto. Porém, ao apresentar altos valores de índice de acidez e ácidos graxos livres, muito acima do estabelecido pelo *Codex*, o óleo não pode ser considerado satisfatório em relação a sua qualidade. Evidenciando que mais estudos são necessários para a obtenção de parâmetros de qualidade satisfatórios. As variáveis de temperatura e pressão podem, aparentemente, ser correlacionadas aos índices de acidez e peróxido. Ainda assim, a extração com scCO₂ constitui uma técnica promissora para aplicação em processos de extração, uma vez que proporciona a obtenção de extratos de qualidade com um solvente não tóxico, a baixas temperaturas e sem resíduos de solventes orgânicos.

REFERÊNCIAS

- AGUILAR, J. G. S. **An overview of lipids from insects**. 33 Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 101967. 2021.
- ALVES, A. V.; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; LINZMEIER, A. M.; CARDOSO, C. A. L.; MACEDO, M. L. R. **Food Value of Mealworm Grown on Acrocomia aculeata Pulp Flour**. Plos One, 11(3), 2016.
- ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). RESOLUÇÃO DE DIRETORIA COLEGIADA – RDC Nº 270, DE 22 DE SETEMBRO DE 2005. Disponível em: < [RDC Nº270, DE 22 DE SETEMBRO DE 2005](#) >. Acesso em 01/03/2022
- ARAUJO, M. N. **Extração de óleo de borra de café usando dióxido de carbono supercrítico e etanol (scCO₂+EtOH)**. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Setor de Tecnologia. 2019.
- ARRESE, E. L., SOULAGES, J. L., 55. **Insect fat body: Energy, metabolism, and regulation**. Annual Review of Entomology. 2010. pg. 207–225.
- ATELLA, G. C.; MAJEROWICZ, D.; GONDIM, K. **Metabolismo de Lipídeos**. Tópicos Avançados em Entomologia Molecular Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Entomologia Molecular. Instituto de Bioquímica Médica, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). 2012.
- ATKINS, P. K. **Físico-Química – Fundamentos**, 3. Ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2003.
- AMERICAN OIL CHEMISTS´ SOCIETY. **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists` Society**. Champaign, USA, AOCS, 2004. [AOCS Official method Cd 8-53].
- BELLAVER, C.; ZANOTTO, D. L. **Parâmetros de qualidade em gorduras e subprodutos proteicos de origem animal**. Palestra apresentada na Conferência APINCO 2004. Santos SP.
- BLEAKLEY, S; HAYES, M. **Algal Proteins: Extraction, Application and Challenges Concerning Production**. Foods. 6(5), 33. 2017.
- BJÖRKLUND, E.; SPARR-ESKILSSON, E. **Extraction – Supercritical Fluid Extraction**. 2. Encyclopedia of Analytical Science. 2005. pg. 597 – 604.
- BOBBIO, P.A.; BOBBIO, F.O. **Química do processamento de alimentos**. São Paulo: Varela, 2001. 143 p.
- CAÑAS, G.; BRAIBANTE, M. **A Química dos Alimentos Funcionais**. Química Nova na Escola. 2019.
- CARRILHO, E.; TAVARES, H. M. C.; LANÇAS, F. M. **Supercritical fluid in analytical chemistry. I. Supercritical fluid chromatography: thermodynamic definitions**. 4 Revista Química Nova. 2001.

CODEX STAN. Norma Codex para gorduras e óleos comestíveis não abrangidos por normas individuais. Rev. 2, 1999.

COOPERATION, N. **Acid Number: A Comprehensive Guide.** Machinery Lubrication. 2007. Disponível em: < <https://www.machinerylubrication.com/Read/1052/acid-number-test#:~:text=A%20change%20in%20the%20acid,an%20increase%20in%20acid%20concentration> >. Acesso em: 03/03/2022.

COSTA, S. **Proteínas de larvas de *Tenebrio molitor*: Extração, caracterização e aplicação num produto alimentar.** Universidade Federal de Lisboa, 2017.

COSTA, S.; PEDRO, S.; LOURENÇO, H.; BATISTA, I.; TEIXEIRA, B.; BANDARRA, N. M.; MURTA, D.; NUNES, R.; PIRES, C. **Evaluation of *Tenebrio molitor* larvae as an alternative food source.** 21 NFS Journal. 2020. pg. 57 - 64.

DI PIETRO, M. E.; MANNU, A.; MELE, A. **NMR Determination of Free Fatty Acid in Vegetable Oils.** Process - Recycling of Waste Oils: Technology and Application. 2020.

DOS SANTOS, J. C. **Extração com fluido supercrítico e suas aplicações na obtenção de produtos naturais.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Farmácia. Trabalho de Conclusão de Curso de Farmácia. 2011.

DUNFORD, N. T. **Edible Oil Quality.** Robert M. Kerr Food & Agricultural Products Center - Food Technology Fact Sheet. Oklahoma State University. 2016.

FAO. **How to feed the world in 2050.** FAO Publ. Roma, Italy 2009.

FAO. **World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision.** FAO Publ., Roma, Italy. 2012.

FAO. **Edible insects: future prospects for food and feed security food and Agriculture Organization of the United Nations.** FAO Publ., Roma, Italy. 2013a

FAO. **Dietary protein quality evaluation in human nutrition report of an FAO expert consultation.** 92 FAO Food Nutr. 2013b.

FAO. **Water for Sustainable Food and Agriculture. A report produced for the G20 Presidency of Germany.** FAO Publ., Roma, Italy. 2017.

FERNANDES, L. **As fases do *Tenebrio molitor* e quanto tempo demora cada fase.** Expo Geckos. Disponível em: < <https://expogeckos.wordpress.com/2017/05/25/tenebrio/> >. Acesso em: 4/10/2021

FERREIRA, T. (2012) **Tenebrio o manjar dos Deuses.** Pássaros do Telmo. Disponível em: < <http://passarosdotelmo.blogspot.com/2012/04/tenebrio-o-manjar-dos-deuses.html> >. Acesso em: 29/09/2021.

FILIPPIS, F. M. **Extração com CO2 Supercrítico de Óleos Essenciais de Hon-sho e Ho-sho – Experimentos e Modelagem.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Departamento de Engenharia Química. 2001.

FINKE, M. D. **Complete nutrient content of four species of commercially available feeder insects fed enhanced diets during growth.** *Zoo Biology*, v. 32, 2013. pg. 27 – 36.

FOODLab – Quality control systems for foods and beverage. **Peroxide Value test in Fats and Oils.** 2015. Disponível em <<https://www.cdrfoodlab.com/foods-beverages-analysis/peroxide-value-oils-fats/>>. Acesso em 28/02/2022.

FOGLIANO, V.; TZOMPA-SOSA, D. A. **Potencial of Insect-Derived Ingredients for Food Applications.** *Insect Physiology and Ecology*. Chapter 9. Germany. 2017.

FORNARI, T. **Supercritical CO₂ Extraction: Relevance to Food Processing.** Reference Module in Food Science. 2016

FU, X.; LI, H.; DENG, G.; DAVID, A.; HUANG, L. **Extraction of oil from grape seeds (*Vitis vinifera L.*) using recyclable CO₂-expanded ethanol.** *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*. Volume 157, 2020.

FUENTES, P. H. A. **Avaliação da qualidade de óleos de soja, canola, milho e girassol durante o armazenamento.** Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciências dos Alimentos. 2011.

GARINO, C.; MIELKE, H.; KNUPPEL, S.; SELHORST, T.; BROLL, H.; BRAEUNING, A. **Quantitative allergenicity risk assessment of food products containing yellow mealworm (*Tenebrio molitor*).** 142. *Food and Chemical Toxicology*. 2020.

GORDON, M. H. **Measuring antioxidant activity,** *Antioxidants in Food*. 2001. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/peroxide-value>>. Acesso em 28/02/2022.

HALIN, R.; RUPASINGHE, T. W. T.; TULL, D. L.; WEBLEY, P. A. **Mechanical cell disruption for lipid extraction from microalgal biomass.** 140. *Bioresource Technology*. pg. 53 – 63. 2013.

HAN, S. R.; LEE, B. S.; JUNG, K. J.; YU, H. J.; YUN, E. Y.; HWANG, J. S.; MOON, K. S. **Safety assessment of freeze-dried powdered *Tenebrio molitor* larvae (yellow mealworm) as novel food source: evaluation of 90-day toxicity in Sprague-Dawley rats.** 77. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 2016. pg. 206 – 212.

HAZZEL, J. P. **The shock response of a rendered porcine fat.** *Journal of Applied Physics*. 2010.

HRNČIČ, M. K.; CÖR, D.; VERBOTEN, M. T.; KNEZ, Ž. **Application of supercritical and subcritical fluids in food processing.** *Food Quality and Safety*, (2). pg. 59–67. 2018.

HOCHSCHEIDT, B. D.; POSSAMAI, E. S.; SILVA, M. P. M.; DIETER, J.; SILVA, F. R.; SEQUINEL, R. **Neutralização ou Esterificação como Técnicas de Melhoria dos Insumos para Produção de Biodiesel.** *Rev. Virtual Quim.*, 2020, 12 (2), 325-334.

HONG, J. et al. **Mealworm (*Tenebrio molitor* Larvae) as an Alternative Protein Source for Monogastric Animal: A Review.** *Animals: An Open Access Journal from MDPI*. v. 10. 2020.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v.1.: **Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos**, 4. ed. São Paulo: IMESP, 2008. p. 595-596. Disponível em: <
http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf>. Acesso em: 25/02/2022.

INSTRUÇÃO NORMATIVA - IN N° 87, DE 15 DE MARÇO DE 2021. Disponível em: <
<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-87-de-15-de-marco-de-2021-309008143>>. Acesso em 01/03/2022.

IGOR, J. et al. **Fatty and amino acid profile of mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.)**. *Biotechnology in Animal Husbandry*. v.36. 2020. pgs. 167-180.

JEON, Y – H.; SON, Y – J.; KIM, S – H.; YUN, E – Y.; KANG, H – J.; HWANG, I – K. **Physicochemical Properties and Oxidative Stabilities of Mealworm (*Tenebrio molitor*) Oils Under Different Roasting Conditions**. *Food Sci. Biotechnol.* 25(1): 105-110. 2016.

JESSOP, P. G.; SUBRAMANIAM, B. **Gas-Expanded Liquids**. *Chemical Reviews*. 2007, v (107), pg. 2666 – 2694.

KAUR, N.; CHUGH, V.; GUPTA, A. K. **Essential fatty acids as functional components of foods- a review**. *Journal of Food Science and Technology*. v(51)10. 2014.

KIM, TAE-KYUNG et al. **Edible Insects as a Protein Source: A Review of Public Perception, Processing Technology, and Research Trends**. *Food science of animal resources*. 2019. Pg. 521 – 540.

KRÖNCKE, N.; BÖSCHEN, V.; WOYZICHOVSKI, J.; DEMTRÖDER, S.; BENNING, R. **Comparison of suitable drying processes for mealworms (*Tenebrio molitor*)**. 50. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2018. pg. 20 – 25.

LI, P – L.; LI, H – N.; JING, K – J.; DAVID, A.; LIN, J – R.; DENG, G. **Evaluation of lipid extraction from microalgae based on different phase regions of CO₂-expanded ethanol**. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*. Volume 138, 2019, pg. 1 – 6.

LIMOEIRO, R. **Uso de insetos e seus subprodutos na produção de alimentos**. Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). 2021.

LIVIA, M. A. **Avaliação do processo de extração com fluido supercrítico do óleo essencial de munha [*Minthostachys mollis* (Kunth)]**. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. 2010.

LEHNINGER, A. L. **Princípios de bioquímica**. Ribeirão Preto: Sarvier, 2002.

LUCAS, A. et al. **Edible insects: an alternative of nutritional, functional and bioactive compounds**. *Food Chemistry*, [S.l.], v. 311, p. 126022, maio 2020. Elsevier BV.

MAHESAR, S.A.; SHERAZI, S.T.H.; KHASKHELI, A.R.; KANDHRO, A.A.; UDDIN, S. **Analytical approaches for the assessment of free fatty acids in oils and fats**. 6. *Anal. Methods*. pg.4956–4963. 2014.

MARINHO, C. M. **Extração de óleo de gérmen de milho com o uso de co2 em condições supercríticas e cossolventes.** UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA - FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA. 2017.

MARZZOCO, A.; TORRES, B.B. **Bioquímica Básica.** 4.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2015. pg. 92-95.

MOURA, C. V. R.; SILVA, B. C.; CASTRO, A. G.; MOURA, E. M.; VELOSO, M. E. C.; SITTOLIN, I. M.; ARAUJO, E. C. E. **Caracterização Físico-Química de Óleos Vegetais de Oleaginosas Adaptáveis ao Nordeste Brasileiro com Potenciais para Produção de Biodiesel.** Rev. Virtual Quim., 2019, 11 (3), no prelo.

MORALES-RAMOS, J. A.; ROJAS, M. G.; KAY, S.; SHAPIRO-LIAN, D. I.; TEDDERS, W. L. **Impact of adult weight, density, and age on reproduction of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae).** 47. Journal of Entomological Science. 2012. pg. 208-220.

OLIVEIRA, D. A. **Aplicação das tecnologias supercrítica e convencionais para o reaproveitamento dos resíduos do processamento de maracujá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*).** Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Programa de pós-graduação em engenharia de alimentos. 2015.

PAUL, A. et al. **Insect fatty acids: A comparison of lipids from three Orthopterans and *Tenebrio molitor* L. larvae.** Journal of Asia-Pacific Entomology. v. 20. 2017. pg. 337 – 340.

PAVIANI, L. C. **Extração com CO2 a altas pressões e fracionamento do óleo essencial de capim-limão utilizando peneiras moleculares.** Departamento de ciências agrárias, URI – Campus Erechim - RS. Programa de mestrado em engenharia de alimentos. 2004.

PEREIRA, C. G.; MEIRELES, M. A. A. **Supercritical fluid extraction of bioactive compounds: fundamentals, applications and economic perspectives.** Food Bioprocess Technology, 3, pg. 340-372, 2010.

PIES, G. **Tecnologia supercrítica aplicada à obtenção de extratos ricos em compostos fenólicos a partir de casca de jabuticaba *Plinia trunciflora* (o. Berg) kausel.** Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC – SC. Departamento de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos. 2017.

PINHEIRO, C. R. **Aplicação e uso de insetos (*Tenébrio Molitor*) na alimentação humana visando os benefícios nutricionais que eles fornecem ao consumidor.** 2018.

PFISTER, S; HELLWEG, S.; KOEHLER, A.; BAYER, P. **Projected water consumption in future global agriculture: Scenarios and related impacts.** 15. Science of The Total Environment. 2011. pg. 4206 - 4216.

PROENEM. **Isometria especial – geométrica e óptica.** Disponível em <<https://www.proenem.com.br/enem/quimica/isomeria-espacial-geometrica-e-optica/>>. Acesso em 07/11/2021.

RAMALHO, V. C.; JORGE, N. **Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos.** Quim. Nova, Vol. 29, No. 4, 755-760, 2005.

- RAMALHO, H. F.; SUAREZ, P. A. Z. The Chemistry of Oils and Fats and their Extraction and Refining Processes. 5. **Sociedade Brasileira de Química (SBQ). Rev. Virt. de Quím.** 2013. pg. 2 - 15.
- Raventós, M.; Duarte, S.; Alarcón, R. **Application and Possibilities of Supercritical CO₂ Extraction in Food Processing Industry: An Overview.** Escola Universitaria d'Enginyeria Tècnica Agrícola de Barcelona, Urgell 187, 08036 Barcelona, Spain. 2002.
- REIS, P. K; CHAVES, E. S. **Determinação de Mg e Zn em óleos vegetais por f aas após diluição em isopropanol.** O Ensino de Química 3 - Atena Editora. 2019.
- RIBEIRO, N.; ABELHO, M.; COSTA, R. **A Review of the Scientific Literature for Optimal Conditions for Mass Rearing *Tenebrio molitor* (Coleoptera: tenebrionidae).** 54. Journal of Entomological Science. 2018. pg. 434-454.
- RIDOUTT, B. G.; SANGUANSRI, P.; NOLAN, M.; MARKS, N. **Meat consumption and water scarcity: beware of generalizations.** 28. Journal of Cleaner Productions. 2012. pg. 127 - 133.
- RUMPOLD, B. A.; SCHLÜTER, O. K. **Nutritional composition and safety aspects of edible insects.** 57. Molecular Nutrition Food Research. 2013. pg. 802-823.
- SALLET, D. **Extração de Ácidos Graxos produzidos por *Mortierella Isabellina* utilizando fluido supercrítico e ultrassom.** Universidade Federal de Santa Maria UFSM, RS, Departamento de Engenharia Química. 2017.
- SANTOS, A. V.; ROSA, C. T. W.; KILLIAN, P. **Análise bibliométrica da produção científica nas bases de dados Scopus e Web of Science sobre Aprendizagem Significativa.** 3. Revista Insignare Scientia (RIS). 2020.
- SANTOS, G. M.; BRITO, M. M.; SOUSA, P. V. L.; BARROS, N. V. A. **Determinação do índice de acidez em óleos de soja comercializados em supermercados varejistas.** Revista Ciência e Saúde On-line. 2017.
- SAPKALE, G. N.; PATIL, S. M.; SURWASE, U. S.; BHATBHAGE, P. K. **Supercritical fluid extraction – A review.** 8. Department of Pharmacognosy, ASPM, S K. T. Patil College of Pharmacy, India. 2010. pg. 729 – 743.
- SIOW, H – S.; SUDESH, K.; MURUGAN, P.; GANESAN, S. **Mealworm (*Tenebrio molitor*) oil characterization and optimization of the free fatty acid pretreatment via acid-catalyzed esterification.** Fuel. Volume 299, 1 September 2021, 120905.
- SON, Y – J.; CHOI, S. Y.; HWANG, I – K.; NHO, C. W.; KIM, S, H. **Could Defatted Mealworm (*Tenebrio molitor*) and Mealworm Oil Be Used as Food Ingredients?.** Foods, MDPI – Open Access Journals. 2020.
- STORCH, T.; CRUZ, J.; GETTENS, C.; OLIVEIRA, T.; SILVA, M.; ZAMBIAZI, R. **Avaliação do índice de peróxido e índice de refração do óleo de girassol obtido por prensagem, em comparação ao óleo disponível no comércio.** XVII CIC; X ENPOS. (XVII Congresso de Iniciação Científica, X Encontro de Pós-Graduação). 2008.

TEMELLI, F. **Perspectives on supercritical fluid processing of fats and oils.** Journal of Supercritical Fluids, 47, pg. 583-590. 2009.

TOFANINI, A. J. **Controle de Qualidade de Óleos Comestíveis.** Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Departamento de Química QMC 5510 – Estágio Supervisionado, 2004.

TOPRAK, U. et al. **A journey into the world of insect lipid metabolism.** Archives of Insect Biochemistry and Physiology, [S.l.], v. 104, n. 2, p. 1-67, 2020. Wiley.

TURCK, D. et al. **Safety of dried yellow mealworm (*Tenebrio molitor* larva) as a novel food pursuant to Regulation (EU).** 1. EFSA Journal. 2021.

TUNER, C. **From supercritical carbon dioxide to gas expanded liquids in extraction and chromatography of lipids.** Lipid Technology. 2015. Volume 27, Issue 12. pg. 275 – 277.

TZOMPA-SOSA, D. et al. **Four insect oils as food ingredient: physical and chemical characterization of insect oils obtained by an aqueous oil extraction.** Journal of Insects as Food and Feed, [S.l.], v. 5, n. 4, p. 279-292, 2019. Wageningen Academic Publishers

VAN HUIS, A. **Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security.** 58. Annu. Rev. Entomol. 2013. pg. 563 – 583.

VAN HUIS, A. **Insects as food and feed, a new emerging agricultural sector: a review.** 6. Journal of Insects as Food and Feed. Wageningen Academic Publishers. 2020. pg. 27-44.

VILELLA, M. L. **Produção de insetos para uso na alimentação animal.** Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2018.

VITZ, E.; MOORE, J. W.; SHORB, J.; PRAT-RESINA, X.; WENDORFF, T.; HAHN, A. **Foods – Acid Value and the Quality of Fats and Oils.** ChemPRIME at Chemical Education Digital Library (ChemEd DL). 2020

WANG, Q.; SHI, A.; LIU, H.; LIU, L.; ZHANG, Y.; LI, N.; GONG, K.; YU, M.; ZHENG, L. **Peanut By-Products Utilization Technology.** Peanuts: Processing Technology and Product Development. 2016. pg. 211 – 325.

WANG, H. C.; KLINTHONG, W.; YANG, Y. H.; TAN, C. S. **Continuous extraction of lipids from *Schizochytrium* sp. By CO₂-expanded ethanol.** Bioresour. Technol., 189 (2015), pg. 162 – 168.

ZHENG, L.; HOU, Y.; LI, W.; YANG, S.; LI, Q.; YU, Z. **Exploring the potential of grease from yellow mealworm beetle (*Tenebrio molitor*) as a novel biodiesel feedstock.** Applied Energy. Volume 101, January 2013, Pages 618-621.