

Microencapsulação do Óleo Essencial de Aroeira no Controle de Pragas: um estudo prospectivo

Microencapsulation of Aroeira Essential Oil in Pest Control: a prospective study

Regina da Silva Acácio¹

Antônio Euzébio Goulart Santana¹

Henrique Fonseca Goulart¹

¹Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, Brasil

Resumo

O óleo essencial de aroeira é extraído das folhas e dos frutos da árvore de aroeira, nativa do Brasil, e tem sido tradicionalmente utilizado na medicina popular devido às suas propriedades antimicrobianas, anti-inflamatórias e analgésicas. Estudos apontam o uso do óleo essencial no controle de insetos e pragas. Assim, o objetivo deste trabalho foi prospectar o uso do produto microencapsulado por *spray drying* no controle do besouro-do-fumo *Lasioderma serricorne* e do cascudinho da cama dos aviários *Alphitobius diaperinus*. O método de pesquisa utilizado foi investigativo de busca nas principais bases de dados científicos e patentários. Os resultados obtidos mostraram que, conforme se especializassem os termos de busca, reduziu-se a quantidade de produções encontradas, e poucas produções tinham como foco o controle de pragas. Além disso, a maior parte das produções patentárias foram realizadas por empresas como Bayer Cropscience, Dow, Gilead, Procter & Gamble, Corteva e Fujifilme, demonstrando que há interesse de empresas na tecnologia de microencapsulação de produtos naturais para o manejo de pragas com o intuito de criar uma agricultura mais sustentável.

Palavras-chave: Agricultura sustentável; *Lasioderma serricorne*; *Alphitobius diaperinus*.

Abstract

The essential oil of aroeira is extracted from the leaves and fruits of the aroeira tree, native to Brazil. It has traditionally been used in folk medicine due to its antimicrobial, anti-inflammatory, and analgesic properties. Studies indicate the use of essential oils in controlling insects and pests. Therefore, this work aims to explore the use of microencapsulated products by spray drying to prevent the tobacco beetle *Lasioderma serricorne* and the lesser mealworm *Alphitobius diaperinus*. The research method used was an investigative search in major scientific and patent databases. The results showed that as the search terms were specialized, the number of productions found decreased, and few focused on pest control. Moreover, most patent productions were carried out by companies such as Bayer CropScience, Dow, Gilead, Procter & Gamble, Corteva, and Fujifilm, demonstrating that there is corporate interest in the microencapsulation technology of natural products for pest management, aiming for more sustainable agriculture.

Keywords: Sustainable Agriculture; *Lasioderma serricorne*; *Alphitobius diaperinus*.

Área Tecnológica: Prospecção Tecnológica de Assuntos Específicos.



1 Introdução

Os óleos essenciais são substâncias altamente concentradas, voláteis e aromáticas extraídas de plantas e podem ser encontradas nas flores, folhas, cascas, raízes e sementes. Eles são chamados de “essenciais” porque contêm a “essência” da planta da qual são extraídos, capturando seus aromas, sabores e propriedades terapêuticas (Asbahani *et al.*, 2015; Schimitberger *et al.*, 2018).

Os óleos essenciais são líquidos aromáticos, constituintes do metabolismo secundário das plantas e podem ser obtidos de diferentes partes das plantas, como flores (jasmim, rosa, violeta e lavanda), botões (cravo), folhas (tomilho, eucalipto, sálvia), frutos (pimenta-rosa, anis estrelado), galhos, casca (canela), raspas de casca de frutas (cítricos), sementes (cardamomo), madeira (sândalo) e rizoma e raízes (gengibre) (Asbahani *et al.*, 2015; Pavela; Benelli, 2016). Por serem oriundos do metabolismo secundário das plantas, esses óleos podem desempenhar diversas atividades biológicas como as fitoterápicas e as ações antifúngica, inseticida, repelente, etc. Devido a essas propriedades, os óleos essenciais são citados como potenciais agentes para o controle de pragas na agricultura, como o óleo essencial do alho (*Allium sativum*) que apresenta toxicidade para lavas, pupas e insetos adultos de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) (Plata-Rueda *et al.*, 2017).

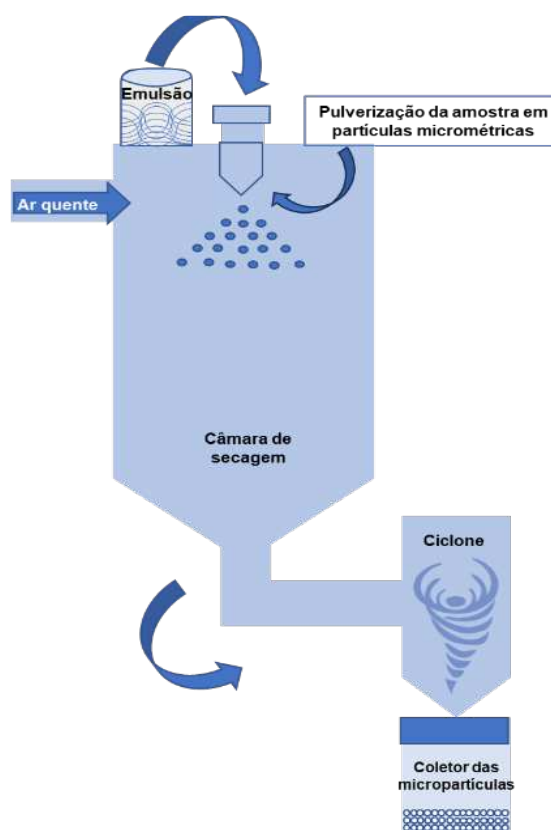
No entanto, a eficácia desses óleos essenciais pode ser limitada pela rápida volatilização e degradação quando eles são aplicados diretamente no campo, visando à proteção das culturas. Para a proteção necessária da ação biológica dessas moléculas, para melhorar sua dispersão em meio aquoso e para proteção contra agentes ambientais, além de exercer uma liberação controlada no campo, pode-se fazer o uso de técnicas de microencapsulação, utilizando-se de materiais biodegradáveis e inertes (Aguiar *et al.*, 2020).

A técnica de microencapsulação é citada devido a sua capacidade de preservar as propriedades dos produtos, facilitar o manuseio e melhorar a estabilidade quanto à oxidação, protegendo os compostos bioativos e por prover liberação controlada dos agentes bioativos, é aplicada extensivamente em diferentes áreas, incluindo as indústrias farmacêutica, cosmética e alimentícia. As aplicações na indústria alimentícia proporcionam a liberação controlada e a proteção dos compostos nutracêuticos bioativos, por exemplo, as vitaminas e minerais, os pré- e probióticos, de ingredientes para fortificação de alimentos, para aumentar ou controlar a liberação de moléculas e para transportar compostos responsáveis pelo sabor e aroma. Como portadores de sabores, os óleos essenciais são encapsulados para preservar ou realçar os atributos sensoriais e a palatabilidade dos alimentos, bem como realçam as atividades biológicas do composto encapsulado.

A técnica de *spray drying* produz pós-secos a partir de líquidos ou emulsões por meio da secagem rápida com ar quente e tem sido amplamente aplicada para a produção de alimentos funcionais e produtos farmacêuticos especialmente devido às vantagens econômicas em comparação com outros métodos de encapsulamento e à versatilidade para escalonamento dos parâmetros para uso industrial (Mohammed *et al.*, 2020). Primeiro, o composto deve estar solúvel, em solução homogênea, ou em suspensão contendo um agente facilitador do processo de homogeneização da suspensão que chamamos de coadjuvante. Em seguida, essa mistura é bombeada para o atomizador, dispersando o líquido ou a pasta em um *spray* controlado de tamanho de gota na câmara de secagem, contendo uma corrente de ar quente. Em contato com minúsculas gotas de *spray*, o ar quente evapora o solvente e, conseqüentemente, ocorre a formação das micropartículas em um ambiente de forte pressão proporcionando um movimento das partículas como um ciclone (Figura 1). As partículas coletadas são ocas e constituídas

pela matriz. O composto ativo é distribuído por todo o volume da partícula, na parede interna do invólucro formado, ou mesmo na sua superfície. A técnica de *spray drying* apresenta boa eficiência de encapsulamento e resulta em pós com alta dispersabilidade em água. As técnicas de *spray drying* e *spay-chilling* ou a combinação dessas técnicas podem proporcionar diferentes níveis de proteção durante o armazenamento da liberação da molécula encapsulada e de suas características, o que aumenta as possíveis aplicações de forma ampla como o uso em condições mais adversas de temperatura e de umidade, possibilitando o uso em óleos essenciais para aplicação nos alimentos, nos cosméticos, nos medicamentos e para o controle de pragas na agricultura e nos locais de armazenamento de grãos (Gomes Sá *et al.*, 2023).

Figura 1 – Esquema de microencapsulação por *spray-drying*



Fonte: Elaborada pelo autor deste artigo (2024)

A aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) é uma planta nativa da América do Sul conhecida por suas propriedades medicinais e inseticidas. O óleo essencial do fruto de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae), conhecido popularmente como pimenta rosa, tem sido utilizado na medicina para combater infecções (Maia *et al.*, 2021), e estudos recentes também apontam para o seu potencial antimicrobiano (Dannenberg *et al.*, 2019), atividade inseticida, larvicida e fungicida (Adjalian *et al.*, 2015). Sua composição química é composta principalmente de monoterpenos, como limoneno, mirceno e pineno, proporcionando sua bioatividade, aromatização e volatilidade (Acácio *et al.*, 2023; De Oliveira *et al.*, 2020; Patočka; De Almeida, 2018; Ren *et al.*, 2022).

A agricultura é uma das atividades mais importantes para a sustentabilidade alimentar e econômica global. A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2018) projetou que a população mundial chegará a mais de 9 bilhões de habitantes em 2050, o que significará ser necessário um aumento da produtividade agrícola em mais de 60% e reduzir

perdas da produção devido ao ataque de pragas. Embora eficazes, os pesticidas podem ter impactos adversos no meio ambiente, na saúde humana e na biodiversidade, e há um clamor por uma agricultura mais sustentável e livre de resíduos de pesticidas.

Com o objetivo de minimizar o uso de inseticidas e de melhorar a qualidade dos alimentos que são produzidos, busca-se novas alternativas e métodos mais seguros e sustentáveis para o controle de pragas desde a cultura no campo, durante o período de armazenamento e distribuição, até chegar ao consumidor final. Os óleos essenciais extraídos de plantas têm sido estudados, fornecendo uma excelente resposta ao controle de pragas, constituindo em uma alternativa aos pesticidas químicos sintéticos devido às suas propriedades inseticidas e repelentes, além disso, por serem naturais, acredita-se que não provoquem o desenvolvimento de resistência nos insetos. O óleo essencial de aroeira possui compostos ativos com potencial inseticida, tornando-o atraente para o controle de pragas agrícolas. O *Lasioderma serricornes* (Fabricius, 1792) (Coleoptera: Anobiidae), comumente conhecido como besouro do fumo, é uma praga cosmopolita e polífaga, ou seja, que ataca uma grande variedade de produtos agrícolas armazenados. O método mais utilizado para controle de *L. serricornes* é a fumigação com fosfina; entretanto, o uso sistemático desse pesticida resultou em indivíduos resistentes. Além disso, as restrições ao uso de pesticidas por alguns mercados exigem a adoção de metodologias de controle mais sustentáveis (Silva *et al.*, 2018). Ren *et al.* (2022) realizaram um estudo da ação sobre o comportamento de insetos com 22 óleos essenciais vegetais de laranja, hortelã-pimenta, zimbro, eucalipto, mirra, capim-limão, gerânio, árvore do chá, cipreste, citronela, patchouli, benjoim, alecrim, canela, sálvia, bergamota, aroeira, gengibre, hidrossol de rosa, cedro, tomilho e manjeriço, respectivamente, contra adultos de *L. serricornes* usando um olfatômetro de tubo em Y de vidro, e, entre esses óleos, alecrim, eucalipto, manjeriço citronela e gerânio apresentaram atividade fumigante indicando que óleos essenciais podem ser úteis como agentes de controle de insetos de grãos armazenados

Alphitobius diaperinus Panzer 1797 (Coleoptera: Tenebrionidae) conhecido vulgarmente como cascudinho da cama de aviários, é um inseto-praga que afeta a produção nas granjas de aves. As instalações modernas de frangos de corte oferecem condições ambientais adequadas para a proliferação de *A. diaperinus*, incluindo altas temperaturas, ambientes escuros, umidade e disponibilidade de alimentos. Como consequência, os galpões de criação das aves contêm altas densidades de larvas e insetos adultos, os quais são suscetíveis à infecção por bactérias, vírus e fungos, caracterizando-os como vetores de patógenos de aves. O controle de *A. diaperinus* em aviários é atualmente realizado usando aplicação intensiva de inseticida, o que pode causar uma potencial contaminação de aves e comprometer a entrega de alimentos seguros, além de ser pouco eficaz devido ao comportamento dessa praga (Hassemer *et al.*, 2019).

Neste estudo, investigou-se a microencapsulação do óleo essencial de aroeira como uma estratégia promissora para melhorar sua eficácia no controle de pragas, especificamente das pragas de grãos armazenados *Lasioderma serricornes* e *Alphitobius diaperinus*.

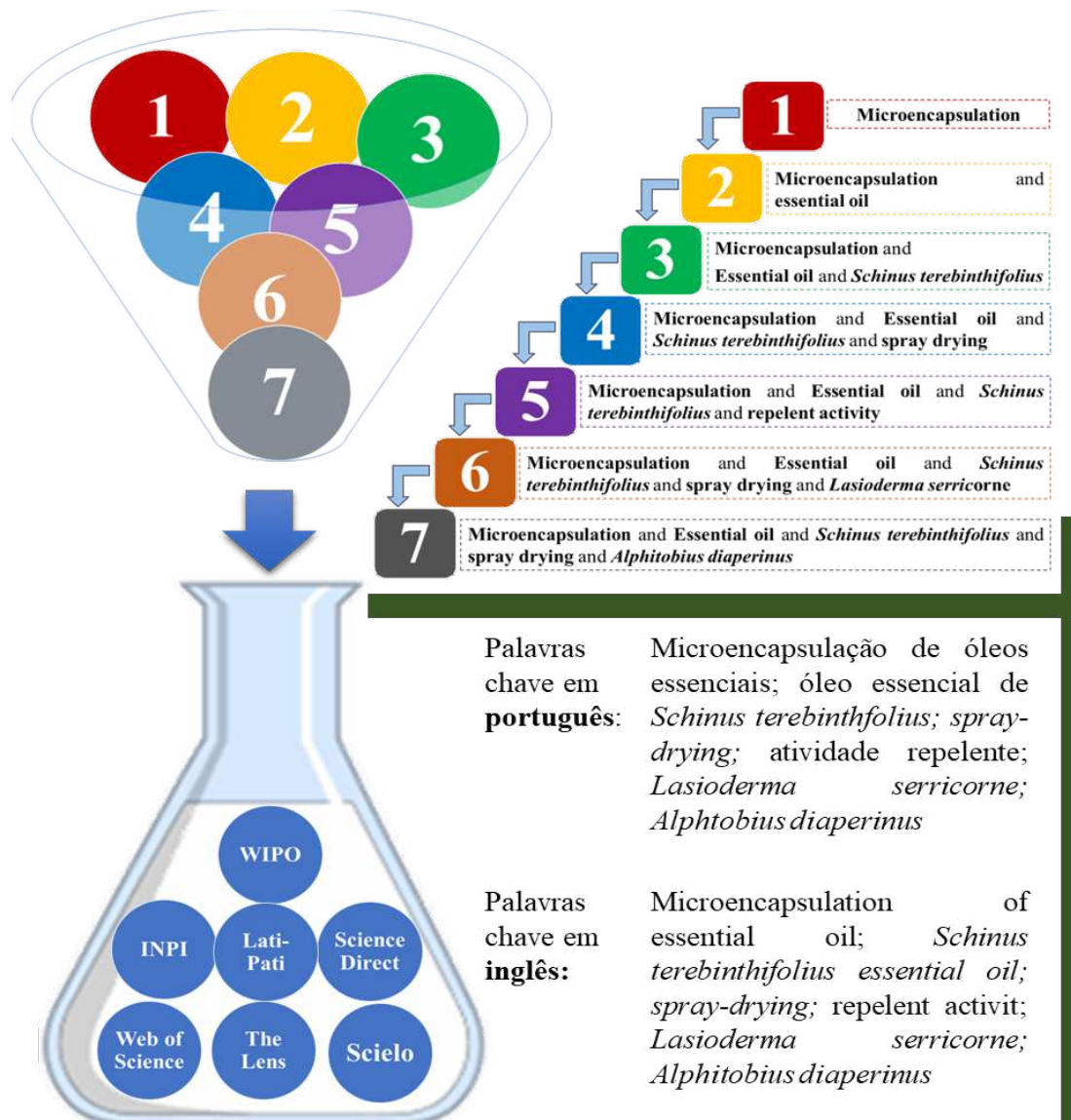
2 Metodologia

Foram realizadas buscas em bases de natureza tecnológica de patentes e em bases de dados de periódicos científicos com o propósito de mapear o avanço tecnológico do uso da técnica de microencapsulação de óleos essenciais, com foco na sua utilização para o controle da praga de grãos armazenados, *L. serricornes* e da praga que afeta aviários *A. diaperinus*.

As buscas foram realizadas no mês de janeiro de 2024. As bases de natureza tecnológica utilizadas foram o Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), o Portal de Patentes da América Latina (Latipat), o The Lens e a base da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI). Para realizar o mapeamento na especificação científica, pesquisou-se artigos relacionados ao tema nas bases dos periódicos Science Direct, Web of Science e Scielo. Todos os acessos foram realizados por meio do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior (Capes) pelo canal de Acesso da Comunidade Acadêmica Federada (CAFe).

Os critérios das buscas nas diversas bases concentraram-se na Pesquisa Avançada com foco no filtro Resumo, considerando todos os documentos encontrados. As palavras-chave (Figura 2) foram pesquisadas nos idiomas inglês e português, respeitando-se as particularidades de cada base de busca, utilizando os operadores booleanos “and” e “or”, os quais direcionaram o sistema de buscas de acordo com a combinação dos termos. No momento em que se alcançava o zero na quantidade de artigos científicos ou patentes ao adicionar as palavras-chave utilizando o operador booleano “and”, parava-se a busca na respectiva base de dados.

Figura 2 – Palavras-chave nas pesquisas executadas nas bases investigadas



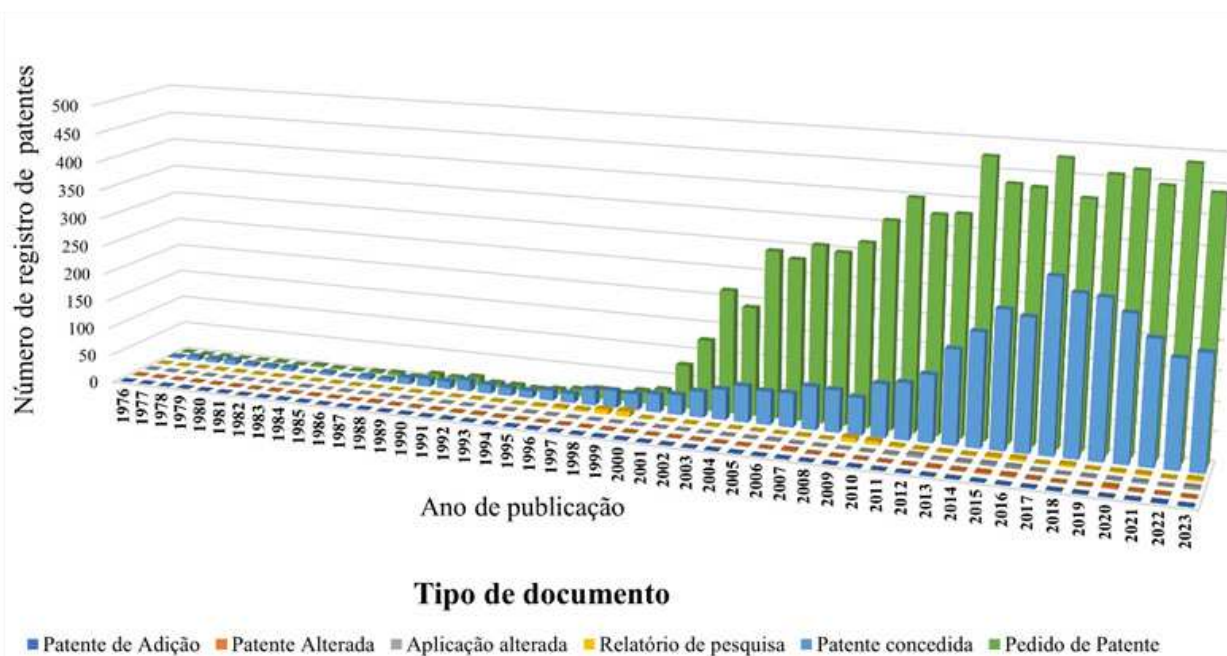
Fonte: Elaborada pelo autor deste artigo (2024)

Os documentos consultados possibilitaram mensurar o avanço da produção tecnológica e científica ao longo dos anos relacionadas ao tema tratado. Os dados obtidos serão detalhados no tópico a seguir.

3 Resultados e Discussão

A prospecção tecnológica possibilitou mapear o progresso científico acerca da microencapsulação de óleos essenciais, pela técnica de *spray drying*, especificamente para o óleo essencial da pimenta rosa (*S. terebinthifolius*) e seus usos. Notou-se um aumento de 233% no número de pedidos de depósitos de patentes e de 313% no número de registro de patentes concedidos no período de 2004 a 2023, nessas duas últimas décadas, usando como palavras-chave “*microencapsulation and essential oil and spray drying*”. Isso provavelmente deve-se ao reconhecimento do potencial e da popularização da técnica e ao interesse despertado na utilização dos óleos essenciais nos diferentes setores industriais, especialmente o farmacêutico e o alimentício. No ano 2000, foram solicitados 28 pedidos de registros de patentes e concedidos 32 registros. Em 2023, foram 440 pedidos de registros de patentes e 198 registros de patentes concedidas (Gráfico 1). Esses dados indicam que, apesar de ter aumentado o número de registros de depósitos, a concessão desses registros de patentes não acompanhou o mesmo ritmo e vale ressaltar que a maioria das patentes foi realizada no exterior, com pouca participação nacional. Com a primeira palavra-chave (Microencapsulation) observa-se somente 16 registros de patentes brasileiras.

Gráfico 1 – Registros de patentes depositados no The Lens com os termos de busca “*microencapsulation and essential oil and spray drying and Schinus terebinthifolius*”



Fonte: Adaptada da base de dados The Lens (2024)

No Brasil, o Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) é uma autarquia federal vinculada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), que tem por finalidade principal executar, no âmbito nacional, as normas que regulam a propriedade

industrial, tendo em vista a sua função social, econômica, jurídica e técnica, e, portanto, é o responsável pelos registros de marcas, desenhos industriais, indicações geográficas, programas de computador e topografias de circuitos, pelas concessões de patentes e pelas averbações de contratos de franquia e das distintas modalidades de transferência de tecnologia (Brasil, 2024). Atualmente, o INPI possui um *backlog* (“fila de espera” entre o depósito e a concessão da patente) com mais de 115 mil pedidos de solicitações de registro de patentes pendentes de análise, indicando que a quantidade de examinadores não é suficiente para atender à demanda, prolongando o tempo de espera do resultado por períodos de em média três a sete anos para a concessão de um registro de patente em primeira instância. E esse cenário é desestimulante para os pesquisadores e as indústrias solicitarem as patentes dos seus inventos, passando elas a optarem pela divulgação científica em artigos publicados em periódicos e em eventos científicos (Dias, 2023).

O quantitativo de solicitações de depósito de patentes, patentes concedidas via Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes (PCT) e de artigos científicos recuperados por meio de combinações das palavras-chave descritas na metodologia está exposto na Tabela 1. Para subsidiar a construção das ilustrações dos dados obtidos, foram utilizados os resultados das bases de dados The Lens para patentes e Science Direct para os artigos, uma vez que foram as bases de dados com maior quantitativo de documentos encontrados.

Tabela 1 – Quantitativo de patentes e artigos em cada base de dados, para cada termo pesquisado

TERMOS-CHAVE	BASE DE DADOS						
	INPI	LATIPAT	WIPO	THE LENS	SCIENCE DIRECT	WEB OF SCIENCE	SCIELO
Microencapsulation	20	2.423	153.445	60.368	17.194	16.436	199
Microencapsulation and essential oil	1	41	83.429	18.844	4.579	983	11
Microencapsulation and essential oil and spray drying	0	5	57.678	12.727	2.546	302	6
Microencapsulation and essential oil and spray drying and <i>Schinus terebinthifolius</i>	0	0	13	12	7	3	0
Microencapsulation and essential oil and spray drying and <i>Schinus terebinthifolius</i> and repellent activity	0	0	4	7	1	1	0
Microencapsulation and essential oil and <i>Schinus terebinthifolius</i> and spray drying and repellent activity and <i>Lasioderma serricorne</i>	0	0	0	0	0	0	0
Microencapsulation and essential oil and <i>Schinus terebinthifolius</i> and spray drying and repellent activity and <i>Alphitobius diaperinus</i>	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2024)

A quantidade de artigos e de patentes registrada acerca da microencapsulação de materiais é relativamente alta, com mais de 153 mil patentes relacionadas na base de dados da WIPO e com mais de 16 mil artigos na base de dados da Science Direct. Esses valores indicam que essa é uma área em ascensão na pesquisa e no desenvolvimento de produtos, despertando a atenção de pesquisadores e de empresas. Entre as técnicas de microencapsulação, pode-se destacar a coacervação complexa, extrusão, *spray drying*, *spray freezing*, revestimento por leite fluidizado e emulsificação (Choudhury; Meghwal; Das, 2021). Especialmente nos artigos científicos, as técnicas mais comuns para microencapsulação de óleos essenciais foram coacervação complexa, *spray drying* e *spray freezing*.

De acordo com os dados coletados, 54,4% das patentes relacionadas à microencapsulação na base de dados da WIPO foram com óleos essenciais devido ao fato de esses materiais serem de importância biológica e econômica e pela sua alta volatilidade que limita sua aplicação nas áreas alimentícia, farmacêutica e agrícola. Entre as patentes relacionadas à microencapsulação de óleos essenciais, 69% utilizaram a técnica de *spray drying* por esta ser uma técnica escalonável, de relativo baixo custo de processamento, boa compatibilidade com diferentes agentes encapsulantes, boa retenção dos voláteis protegendo-os da degradação por agentes externos, já que proporciona a liberação controlada e possui boa padronização do tamanho das micropartículas formadas (Pascoal *et al.*, 2021; Yaman *et al.*, 2023). De forma análoga, ocorreu com a publicação de artigos científicos indexados à Science Direct, na qual 55,6% dos artigos publicados relacionados à microencapsulação de óleos essenciais utilizaram a técnica de *spray drying*.
















As publicações científicas e registros patentários com esse tema estão em sua maioria relacionados às áreas alimentícias e farmacêuticas. Há poucos registros na área agrícola, e nenhum deles foi direcionado ao controle dos insetos-praga de grãos armazenados, com os filtros utilizados na pesquisa, *L. serricornis* e *A. diaperinus*, indicando que se faz necessário desenvolver pesquisas e produtos que possam ser aplicados.

Por outro lado, ao pesquisar patentes no The Lens apenas com o termo “*Lasioderma serricornis*”, foram encontrados 2.887 registros, em sua maioria por empresas que atuam no controle de pragas como a Dow Agrosiences, Bayer Cropscience e a Sumitomo Chemical, e, ao realizar a pesquisa na base de dados da WIPO, foram encontrados apenas 78 resultados, todos eles relacionados ao controle desse inseto. Ao realizar a mesma pesquisa utilizando como termo de busca “*Alphitobius diaperinus*”, foram encontrados 1.276 registros na base de dados The Lens e 1.658 registros na base de dados WIPO. De modo análogo ao *L. serricornis*, todos os registros estavam relacionados ao controle desses insetos-praga. Em relação aos artigos científicos, as pesquisas relacionadas foram de 845 para *L. serricornis* e 616 para *A. diaperinus* na base do Science Direct. Na base de dados da Web of Science, foram encontrados 478 resultados para o inseto *L. serricornis* e 501 resultados para o inseto *A. diaperinus*. Esse número de pesquisas relacionadas indica a importância desses dois insetos para a agricultura mundial e reforça a necessidade de continuidade das pesquisas envolvendo-os.

Na Figura 3 apresenta-se especialmente as empresas de maior expressão em número de patentes depositadas de acordo com o levantamento realizado na base de dados The Lens. A Bayer, empresa alemã, está entre as maiores detentoras de patentes, dividindo-se em Bayer Cropscience Ag, Bayer Intellectual Property GmbH, Bayer Cropscience Aktiengesellschaft e Bayer Aktiengesellschaft. Gilead, empresa americana, é a terceira empresa com maior registro de patentes, é uma empresa do ramo farmacêutico, que possui a missão de descobrir, desenvolver

e fornecer soluções terapêuticas inovadoras para pessoas com doenças potencialmente fatais. Para isso, investe em pesquisa e desenvolvimento de fármacos (Gilead, 2004). Assim como a Gilead, a estadunidense Genentech, membro do grupo Roche, é líder no ramo de biotecnologia dedicada a buscar ciência inovadora para descobrir e desenvolver medicamentos, e é a terceira maior detentora de registros de patentes. A empresa americana Procter & Gamble (P&G) reúne um enorme conglomerado de subempresas, produzindo alimentos, produtos de higiene e limpeza, entre outros produtos, e suas patentes sob essas temáticas estão relacionadas às áreas cosméticas e alimentícias. A Fujifilm, por sua vez, ocupa a quinta posição entre empresas com maiores registros. É uma empresa japonesa com sede em Tóquio que investe em tecnologia em seus três segmentos de negócios: saúde, materiais e imagens. A empresa americana Corteva Agriscience™, oriunda da divisão agrícola da Dow-DuPont, é a única grande empresa de agrociências totalmente dedicada à agricultura, logo, suas patentes estavam todas relacionadas à aplicação agrícola. No agronegócio, vale destacar a participação da Dow AgroSciences que combina química, biologia e física para criar tecnologias inovadoras que contribuam para o progresso da humanidade com soluções agrícolas há um século. E, por fim, entre as empresas com maior destaque, consta a Pharmacyclics LLC, uma empresa biofarmacêutica americana dedicada principalmente ao desenvolvimento de terapias contra o câncer. Com esses resultados, observa-se o domínio dos Estados Unidos da América quanto à produção tecnológica na área de produtos microencapsulados.

Figura 3 – Empresas com maior índice de patentes depositadas e concedidas na área de microencapsulação

 Genentech Inc 3.502	 Bayer CropScience 1.201	 GILEAD Gilead Ciências Inc. 1.027	 Procter & Gamble 783	 Zymogenetics Inc 615
 Bayer Ag 588	 Dow Agrociências ... 520	 Universidade da C... 429	 Du Pont 373	 Inst Nat Saúde Re... 354
 Bayer IP GmbH 287	 Tecnologia do Inst... 283	 Fuji Photo Film Co... 264	 Basf Se 259	 Firmenich & Cia. 254

Fonte: The Lens (2024)

Das sete patentes encontradas no The Lens utilizando como termo de busca “*microencapsulation and essential oil and spray drying and Schinus terebinthifolius*”, todas foram depositadas nos EUA e, de forma geral, para a área da saúde, nenhuma delas compreendia o objetivo desta pesquisa, todas possuem o mesmo título, “*Compounds Useful as Modulators of Trpm8*”, e os

mesmos autores, porém, foram depositadas em anos distintos. Das três que foram depositadas em 2017, uma delas já foi concedida; houve um depósito em 2018; em 2019 houve mais uma patente concedida e uma patente com alteração. Quatro dessas patentes pertencem às empresas Senomyx Inc, que se destaca no desenvolvimento de pesquisa e inovação na descoberta de novos aromas, e a empresa suíça Firmenich Incorporated, que é a maior empresa privada do mundo no ramo de fragrâncias e aromas. Na WIPO constam quatro patentes ao pesquisar as palavras-chave “*microencapsulation and essential oil and spray drying and Schinus terebinthifolius and repellent activity*”, porém os quatro resultados consistem no mesmo material intitulado Compostos úteis como moduladores do canal 8 do potencial do receptor transiente de melastatina (TRPM8), porém todos foram depositados com diferentes códigos IPC (em português Classificação Internacional de Patentes) e CPC (em português Classificação de Cooperação de Patentes), com diferentes tipos e locais de depósito (Estados Unidos da América e European Patent Office).

Entre as cinco patentes disponíveis na Latipat com os termos-chave “*microencapsulation and essential and spray drying*”, apenas uma delas tinha aplicação na área agrícola com o título “Método de microencapsulação biodegradável de óleo essencial vegetal natural e formulação microencapsulada biodegradável”, esta utilizava a técnica de *spray drying* para obter uma formulação capaz de reduzir a perda de um produto químico por volatilização, mascarar um cheiro peculiar, melhorar a usabilidade, regular a liberação, reter a eficácia por um longo período, manter ações fungicidas e inseticidas e atuar simultaneamente também como fertilizante após biodegradação, aplicando um método de microencapsulação a um agroquímico biótico natural. Os demais resultados possuíam aplicação voltada para a área alimentícia.

A única patente encontrada na base de dados do INPI é intitulada “Sistema microencapsulado contendo óleo essencial de citrus e processo de obtenção”. Essa invenção propicia um sistema de microencapsulação de óleo essencial de citrus voltada principalmente para aplicações nas áreas de alimentos e farmacêutica, cujo principal intuito é proteger o óleo essencial de agentes ambientais (luz, umidade, oxigênio), melhorando a estabilidade, aumentando a vida de prateleira e facilitando o manuseio e a aplicação. Os sistemas microencapsulados são obtidos empregando a liofilização como técnica de secagem e utilizando maltodextrina e gelatina como materiais poliméricos encapsulantes. Mais especificamente, o sistema microencapsulado contendo óleo essencial de citrus do presente invento pode ser utilizado como matéria-prima na área farmacêutica, em materiais de limpeza e na indústria de alimento.

A pesquisa realizada na base de dados da Science Direct resultou em 17.194 registros com a palavra-chave “microencapsulation”, três artigos (Acácio *et al.*, 2023; Laureanti *et al.*, 2023; Vincekovi *et al.*, 2017) com as palavras-chave “*microencapsulation and essential oil and and spray drying Schinus terebinthifolius*” e apenas um registro intitulado “*Dataset of Schinus terebinthifolius essential oil microencapsulated by spray-drying*” com as palavras-chave “*microencapsulation and essential oil and and spray drying Schinus terebinthifolius and repellent activity*”. Trata-se de um artigo brasileiro que apresenta uma formulação para a microencapsulação do óleo essencial de aroeira por *spray drying*, mas não mostra testes realizados aplicados à agricultura.

De forma análoga, na base de dados da Web of Science, foram encontrados 16.436 resultados com a palavra-chave “microencapsulation”, três artigos (Acácio *et al.*, 2023; Locali-Pereira *et al.*, 2020; Locali-Pereira; Gonçalves Cattelan; Nicoletti, 2019) com os termos de busca “*microencapsulation and essential oil and and spray drying Schinus terebinthifolius*”, e apenas

um registro, que foi o mesmo artigo encontrado na Science Direct, com as palavras-chave “*microencapsulation and essential oil and spray drying Schinus terebinthifolius and repellent activity*”. Nesses artigos, reforçou-se a importância da escolha do agente encapsulante na eficiência das micropartículas para proteção dos compostos voláteis que compõem os óleos essenciais. Os artigos de Locali-Pereira *et al.* (2020) e de Locali-Pereira, Gonçalves Cattelan e Nicoletti (2019) incluíram como agente tensoativo a proteína de soja, e quando adicionaram pectinas à proteína de soja no preparo da emulsão, as micropartículas apresentaram menor adsorção de água durante o armazenamento e melhoraram a atividade antimicrobiana em testes com leite integral e desnatado.

Na base de dados da Scielo, foram encontrados seis artigos com as palavras-chave “*microencapsulation, essential oil e spray drying*” e nenhum artigo foi encontrado ao acrescentar a palavra-chave “*Schinus terebinthifolius*”. Dos seis artigos encontrados, eles foram publicados nas línguas inglesa, espanhola e português, entre os anos 1998 e 2023, e relataram dados com os óleos essenciais de laranja e tomilho, óleos ricos em ácidos graxos como o óleo de oliva. O produto da microencapsulação foi caracterizado por métodos físico-químicos como Cromatografia gasosa/Espectrometria de Massas CG/EM), espectrometria na região da radiação do Infravermelho com transformada de Furrier (FTIR), termogravimetria e difração de raios-X, No entanto não realizaram testes para averiguar a estabilidade e eficiência na aplicação em produtos alimentícios, farmacêuticos e cosméticos Os agentes de encapsulação utilizados nestes estudos foram a maltodextrina, a goma arábica e goma guar, capsul junto com a maltodextrina e goma arábica, ou apenas goma arábica e maltodextrina. A goma arábica foi escolhida devido a sua baixa higroscopicidade e por sua propriedade emulsificante; a goma guar por formar ligações de hidrogênio com água, aumentando a solubilidade de compostos lipofílicos e reduzindo os custos; a maltodextrina por sua capacidade de formar filmes, proporcionar barreira à oxidação e sua baixa viscosidade (Da Silva *et al.*, 2023).

4 Considerações Finais

O presente estudo abordou a relevância dos óleos essenciais, especialmente o proveniente da aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi), na agricultura como alternativa aos pesticidas sintéticos, destacando seu potencial como inseticida, larvicida e fungicida. A rápida volatilização e a degradação dos óleos essenciais no campo motivaram a investigação da técnica de microencapsulação, com ênfase no *spray drying*, para melhorar a eficácia e o controle da liberação desses compostos.

A prospecção científica possibilitou mapear o progresso científico e a tecnológico acerca da microencapsulação de óleos essenciais, com destaque para a técnica de *spray drying*, e observar que seu campo de aplicação está concentrado às áreas alimentícia e farmacêutica, apontando para a necessidade de explorar mais profundamente o potencial dos óleos essenciais microencapsulados na agricultura, uma vez que a técnica de microencapsulação permite uma liberação controlada do óleo essencial, aumentando sua eficácia e reduzindo a necessidade de aplicações frequentes, caso este seja usado como inseticida por exemplo, especialmente para o controle de pragas de grãos armazenados, como *L. serricorne* e *A. diaperinus*.

A microencapsulação de óleos essenciais aplicados à agricultura é uma área em constante crescimento, com várias inovações patenteadas que visam a melhorar a eficácia, a sustentabilidade e a segurança dos produtos. O uso de técnicas de microencapsulação oferece vantagens significativas no controle de pragas e de doenças em culturas agrícolas, enquanto reduz o impacto ambiental e a necessidade de aplicações frequentes. Uma grande vantagem da microencapsulação é a possibilidade de uso de diferentes matérias biodegradáveis, como maltodextrina, goma arábica, quitosana, ciclodextrinas, entre outros, e de uso sustentável, bem como revesti-las com pectinas para melhorar características físico-químicas do material produzido. Essa possibilidade tem a vantagem de poder fazer um melhor controle da liberação.

Houve um aumento significativo no número de patentes e artigos científicos nas últimas duas décadas, indicando o crescente interesse e reconhecimento da importância desses métodos. Observou-se que os trabalhos científicos publicados como artigos estão em número inferior aos registros de patentes e que o perfil que mais deposita patentes é o das empresas. A escolha das bases de dados para consulta deve ser criteriosa, com os termos bem definidos e para garantir uma ampla cobertura da literatura.

5 Perspectivas Futuras

O desenvolvimento de produtos específicos para a agricultura, como formulações microencapsuladas direcionadas ao controle de pragas em grãos armazenados, pode ser explorado. Essa abordagem visa a preencher a lacuna identificada nas pesquisas. Investigações adicionais podem se concentrar no aprimoramento da técnica de microencapsulação, otimizando parâmetros como composição da matriz, tamanho de partícula e liberação controlada para garantir a máxima eficácia e durabilidade dos óleos essenciais.

É crucial continuar investindo em pesquisa e desenvolvimento para aprimorar formulações, avaliar a toxicidade e explorar novas estratégias, como a combinação de diferentes técnicas de microencapsulação ou o uso de múltiplos agentes encapsulação que podem resultar em formulações mais eficazes e adaptáveis a diferentes cenários agrícolas, e, assim, contribuir para a agricultura sustentável, reduzindo a dependência de pesticidas químicos prejudiciais ao meio ambiente.

Promover colaborações entre pesquisadores, empresas agrícolas e especialistas em microencapsulação pode acelerar a aplicação prática dessas inovações, garantindo uma abordagem holística e bem fundamentada, e a proteção dessas inovações por meio de patentes desempenha um papel fundamental no estímulo à pesquisa e na promoção de soluções cada vez mais eficazes e ambientalmente responsáveis para os desafios enfrentados pela agricultura moderna como é preconizado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) em seu documento para a agricultura do século XXI.

As perspectivas futuras incluem o desenvolvimento de formulações sustentáveis a partir de polímeros biodegradáveis e de fontes renováveis para reduzir o impacto ambiental das formulações, a integração da microencapsulação com outras abordagens, como a nanotecnologia, que promete avanços significativos na eficácia e seletividade dos produtos, e, por fim, a avaliação de toxicidade, a qual é fundamental para se continuar pesquisando e gerando formulações que sejam seguras para organismos não alvos e para o meio ambiente.

Referências

- ABOUT US. **Gilead**. [2024]. Disponível em: <https://www.gilead.com/our-company/about-us>. Acesso em: 29 jan. 2024.
- ACÁCIO, Regina da Silva *et al.* Dataset of Schinus terebinthifolius essential oil microencapsulated by spray-drying. **Data in Brief**, [s.l.], v. 47, p. 1-9, 2023. ISSN: 23523409. DOI: 10.1016/j.dib.2023.108927.
- ADJALIAN, Elvis *et al.* Chemical Composition and Insecticidal and Repellent Effect of Essential Oils of Two Premna Species against Sitotroga cerealella. **Journal of Insects**, [s.l.], v. 2.015, p. 1-6, 2015. ISSN: 2356-7465. DOI: 10.1155/2015/319045.
- AGUIAR, Maria Clara Santana *et al.* Evaluation of the microencapsulation of orange essential oil in biopolymers by using a spray-drying process. **Scientific Reports 2020 10:1**, [s.l.], v. 10, n. 1, p. 1-11, 2020. ISSN: 2045-2322. DOI: 10.1038/S41598-020-68823-4. Disponível em: <https://www-nature.ez9.periodicos.capes.gov.br/articles/s41598-020-68823-4>. Acesso em: 16 jul. 2021.
- ASBAHANI, A. E. *et al.* Essential oils: From extraction to encapsulation. **International Journal of Pharmaceutics**, [s.l.], v. 483, n. 1-2, p. 220-243, 2015. ISSN: 1873-3476. Disponível em: <http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L602311078%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.ijpharm.2014.12.069>. Acesso em: 26 jan. 2024.
- BRASIL. Instituto Nacional da Propriedade Industrial. **Identidade Institucional**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/central-de-conteudo/identidade-institucional>. Acessado em 23 jan. 2024.
- CHOUDHURY, Nitamani; MEGHWAL, Murlidhar; DAS, Kalyan. Microencapsulation: An overview on concepts, methods, properties and applications in foods. **Food Frontiers**, [s.l.], v. 2, n. 4, p. 426-442, 2021. ISSN: 2643-8429. DOI: 10.1002/FFT2.94. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fft2.94>. Acesso em: 26 jan. 2024.
- DA SILVA, Thais Leticia Moreira *et al.* Lemongrass Essential Oil (*Cymbopogon citratus* (DC) Stapf.) Seasonal Evaluation and Microencapsulation by Spray-Drying. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, [s.l.], v. 66, n. spe, p. e23230016, 2023. ISSN: 16784324. DOI: 10.1590/1678-4324-sbfar-2023230016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/babt/a/66rGxgPQnpJ3dkmYCrT9Qsm/?lang=en>. Acesso em: 1º fev. 2024.
- DANNENBERG, Guilherme da Silva *et al.* Essential oil from pink pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi): Chemical composition, antibacterial activity and mechanism of action. **Food Control**, [s.l.], v. 95, n. 2018, p. 115-120, April, 2019. ISSN: 09567135. DOI: 10.1016/j.foodcont.2018.07.034.
- DE OLIVEIRA, Vanessa Sales *et al.* Aroeira fruit (*Schinus terebinthifolius* Raddi) as a natural antioxidant: Chemical constituents, bioactive compounds and in vitro and in vivo antioxidant capacity. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 315, 2020. DOI: 10.1016/J.FOODCHEM.2020.126274.
- DIAS, Fabio Albergaria. **O backlog de patentes e o plano de ação do INPI – Guerra IP**. [2023]. Disponível em: <https://guerraip.com/2023/12/21/o-backlog-de-patentes-e-o-plano-de-acao-do-inpi/>. Acesso em: 1º fev. 2024.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050**. 2018. 224p. ISBN: 9789251301586. Disponível em: <http://www.fao.org/3/I8429EN/i8429en.pdf>. Acesso em: 1º fev. 2024.

- GOMES SÁ, Samuel Henrique *et al.* Evaluation of the release, stability and antioxidant activity of Brazilian red propolis extract encapsulated by spray-drying, spray-chilling and using the combination of both techniques. **Food Research International**, [s.l.], v. 164, p. 112423, 2023. ISBN: 2022.112423. DOI: 10.1016/j.foodres.2022.112423. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112423>. Acesso em: 26 dez. 2023.
- HASSEMER, Marla J. *et al.* Development of pull and push–pull systems for management of lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus*, in poultry houses using alarm and aggregation pheromones. **Pest Management Science**, [s.l.], v. 75, n. 4, p. 1.107-1.114, 2019. ISSN: 15264998. DOI: 10.1002/ps.5225.
- LAUREANTI, Emanuele Joana Gbur *et al.* Microencapsulation of bioactive compound extracts using maltodextrin and gum arabic by spray and freeze-drying techniques. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s.l.], v. 253, p. 126969, 2023. ISSN: 0141-8130. DOI: 10.1016/J.IJBIOMAC.2023.126969.
- LOCALI-PEREIRA, Adilson Roberto; GONÇALVES CATTELAN, Marília; NICOLETTI, Vânia Regina. Microencapsulation of pink pepper essential oil: Properties of spray-dried pectin/SPI double-layer versus SPI single-layer stabilized emulsions. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, [s.l.], v. 581, 2019. ISSN: 18734359. DOI: 10.1016/J.COLSURFA.2019.123806.
- LOCALI-PEREIRA, Adilson Roberto *et al.* Modulation of volatile release and antimicrobial properties of pink pepper essential oil by microencapsulation in single- and double-layer structured matrices. **International Journal of Food Microbiology**, [s.l.], v. 335, 2020. ISSN: 18793460. DOI: 10.1016/J.IJFOODMICRO.2020.108890.
- LOCALI-PEREIRA, Adilson Roberto; LOPES, Nathalie Almeida; NICOLETTI, Vânia Regina. Pink Pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi) from Extracts to application: Truths about a Fake Pepper. **Food Reviews International**, [s.l.], v. 00, n. 00, p. 1-30, 2022. ISSN: 15256103. DOI: 10.1080/87559129.2022.2062767.
- MAIA, Maria do Carmo Rodrigues *et al.* Propriedades terapêuticas da espécie *Schinus terebinthifolius* Raddi (aroeira-vermelha). **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, [s.l.], v. 13, n. 4, 2021. DOI: 10.25248/reas.e6791.2021.
- MOHAMMED, Nameer Khairullah *et al.* Spray Drying for the Encapsulation of Oils – A Review. **Molecules**, [s.l.], v. 25, n. 17, p. 1-16, 2020. ISSN: 14203049.
- PASCOAL, Karla L. L. *et al.* Physical-chemical characterization, controlled release, and toxicological potential of galactomannan-bixin microparticles. **Journal of Molecular Structure**, [s.l.], v. 1.239, p. 130499, 2021. ISSN: 0022-2860. DOI: 10.1016/J.MOLSTRUC.2021.130499.
- PATOČKA, Jiří; DE ALMEIDA, Joyce Diz. Brazilian Pepper Tree: Review of Pharmacology. **Military Medical Science Letters**, [S. l.], v. 86, n. 1, p. 32-41, 2018. ISSN: 03727025. DOI: 10.31482/mmsl.2017.005.
- PAVELA, Roman; BENELLI, Giovanni. Essential Oils as Ecofriendly Biopesticides? Challenges and Constraints. **Trends in Plant Science**, [s.l.], v. 21, n. 12, p. 1.000-1.007, 2016. ISSN: 1360-1385. DOI: 10.1016/J.TPLANTS.2016.10.005.
- PLATA-RUEDA, Angelica *et al.* Insecticidal activity of garlic essential oil and their constituents against the mealworm beetle, *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae). **Scientific Reports**, [s.l.], v. 7, n. April, p. 1-11, 2017. ISSN: 20452322. DOI: 10.1038/srep46406.

REN, Yanling *et al.* Behavioral Response, Fumigation Activity, and Contact Activity of Plant Essential Oils Against Tobacco Beetle (*Lasioderma serricorne* (F.)) Adults. **Frontiers in Chemistry**, [s.l.], v. 10, p. 880608, 2022. ISSN: 22962646. DOI: 10.3389/FCHEM.2022.880608/BIBTEX.

SCHIMITBERGER, Vanusa Maria Bonatto *et al.* Volatile compounds profile changes from unripe to ripe fruits of Brazilian pepper (*Schinus terebinthifolia* Raddi). **Industrial Crops and Products**, [s.l.], v. 119, p. 125-131, 2018. ISSN: 0926-6690. DOI: 10.1016/J.INDCROP.2018.04.011.

SILVA, Ana Paula Oliveira Da *et al.* **Pest Management in Stored Products**: The Case of the Cigarette Beetle, <Emphasis Type="Italic">*Lasioderma serricorne*</Emphasis> (Coleoptera: Anobiidae). 2018. p. 61-89. DOI: 10.1007/978-3-319-75190-0_3. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-75190-0_3. Acesso em: 6 ago. 2021.

THE LENS. **Página inicial**. 2024. Disponível em: <https://www.lens.org/>. Acesso em: 26 jan. 2024.

VINCEKOVI, Marko *et al.* **Innovative technologies for encapsulation of Mediterranean plants extracts**. 2017. DOI: 10.1016/j.tifs.2017.08.001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.001>. Acesso em: 3 jan. 2024.

YAMAN, Delal Meryem *et al.* Effect of Encapsulation Techniques on Aroma Retention of Pistacia terebinthus L. Fruit Oil: Spray Drying, Spray Freeze Drying, and Freeze Drying. **Foods 2023**, Vol. 12, Page 3244, [s.l.], v. 12, n. 17, p. 3.244, 2023. ISSN: 2304-8158. DOI: 10.3390/FOODS12173244. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/17/3244/htm>. Acesso em: 26 jan. 2024.

Sobre os Autores

Regina da Silva Acácio

E-mail: regina.acacio@iqb.ufal.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1224-6572>

Doutora em Biotecnologia pela Rede Nordeste de Biotecnologia, ponto focal Alagoas, em 2024.

Endereço profissional: Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro do Martins, Maceió, AL. CEP: 57072-970.

Antônio Euzébio Goulart Santana

E-mail: aegs@ceca.ufal.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3750-438X>

Doutor em Química pela Universidade Federal de Minas Gerais em 1984.

Endereço profissional: Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro do Martins, Maceió, AL. CEP: 57072-970.

Henrique Fonseca Goulart

E-mail: Henrique.goulart@ceca.ufal.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0532-6133>

Doutor em Biotecnologia pela Rede Nordeste de Biotecnologia, ponto focal Alagoas, em 2012.

Endereço profissional: Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro do Martins, Maceió, AL. CEP: 57072-970.